

GLASNIK ZA ŠUMSKE POKUSE

*Annales
pro experimentis foresticis*

22



DIGITALNI REPOZITORIJ ŠUMARSKOG FAKULTETA

OŽUJAK, 2017.

SVEUČILISTE U ZAGREBU
SUMARSKI FAKULTET
1984

UNIVERSITATIS IN ZAGREB FACULTATIS FORESTALIS
INSTITUTUM PRO EXPERIMENTIS FORESTICIS ET
INSTITUTUM PRO EXPERIMENTIS LIGNARIIS

3 100 10000 10 0 10

ANNALES
PRO EXPERIMENTIS FORESTICIS

Volumen 22

ZAGREB IN JUGOSLAVIA 1984
UNIVERSITÄTIS IN ZAGREB FACULTATIS FORESTALIS
INSTITUTUM PRO EXPERIMENTIS FORESTICIS ET
INSTITUTUM PRO EXPERIMENTIS LIGNARIIS

UDK 630

YU ISSN 0352—3861

GLASNIK
ZA ŠUMSKE POKUSE

Knjiga 22

SVEUCILISTE U ZAGREBU
ŠUMARSKI FAKULTET

1984

Glavni urednik
Editor in chief

Prof. dr ĐURO RAUŠ
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Urednik za šumarstvo
Forestry Editor

Prof. dr BRANIMIR PRPIĆ
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Urednik za drvenu industriju
Timber Industry Editor

Prof. dr STANKO BAĐUN
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Tehnički urednik
Technical Editor

Mr ŽELIMIR BORZAN
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

IZDAVAC — PUBLISHED BY:

Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Faculty of Forestry, University of Zagreb
41000 Zagreb, Šimunska 25, Jugoslavija

Časopis je glasilo znanstvenih radnika Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Tiska se kao godišnjak.

Tiskanje ove publikacije omogućeno je dotacijama SIZ-a za znanstveni rad SR Hrvatske i Općeg udruženja šumarstva, prerade drva i prometa Hrvatske.

Tisak, uvez i opréma: IKRO »MLADOST« — OOUR Tiskara, Zagreb, Gundulićeva 24

MLADEN FIGURIĆ

REŽIM RADA I OPERATIVNA VREMENA KOD STROJNE OBRADJE U PROIZVODNJI NAMJEŠTAJA

WORK SCHEDULES AND OPERATION TIMES WITH MACHINE WOODWORKING IN FURNITURE MANUFACTURE

Istraživanja prikazana u ovome radu sprovedena su u 8 radnih organizacija proizvođača namještaja, na 31-nom radnom mjestu, a snimano je 77 radnih operacija. Istraživanjem su obuhvaćeni različiti radnici s različitim radnim iskustvima, osobnim dohocima, navikama, stupnjem stručnosti i u različitim mikroklimatskim okolnostima rada, zbog čega su dobiveni rezultati reprezentativni za stvarno stanje u proizvodnji namještaja. Na osnovi rezultata proračuna obavljenih na spomenutim radnim mjestima i karakterističnim operacijama, određeni su konkretni oblici funkcionalnih zavisnosti između režima rada, operativnog vremena i dimenzija dijelova koji se mogu obrađivati u odabranom tehnološkom sistemu čovjek—stroj. Matematičkom interpretacijom ovih ovisnosti za određeno područje obrade, dobivene su dovoljno točne tehnološke podloge za praktičnu upotrebu prilikom normiranja. Izložena metoda zasniva se na principu racionalnog određivanja operativnog vremena, uz primjenu obrade na elektroničkom računalu FACOM 230-45 i univerzalnosti primjene pri strojnoj obradi u proizvodnji namještaja.

Ključne riječi: režimi rada, operativna vremena, standardna vremena, matematički model

UVOD — INTRODUCTION

Neosporno je da u radnim organizacijama drvne industrije sa približno istim sredstvima rada i kvalifikacionom strukturom radne snage postoje znatne razlike u nivou proizvodnosti. Analiziraju li se osnovni elementi proizvodnje: predmet rada, sredstvo za rad i radna snaga, svaki za sebe, može se konstatirati da su u pogledu kvalitete tih ulaganja manje-više sve radne organizacije proizvođači namještaja podjednake. Naime, analiziraju li se sredstva za rad, ustanovit će se da nivo kvalitete sredstava za rad i primijenjena tehnologija u proizvodnji najčešće ne zaostaju od radne organizacije do radne organizacije u nas, a ni u odnosu na razvijenije zemlje sa znatno većom proizvodnošću. Prema podacima Jugoslavenskog zavoda za produktivnost, 40 % naše opreme potječe iz posljednjih pet go-

dina, što znači da je suvremena i da u pogledu funkcionalnosti nije dotrajala. Kad promatramo drugi element; kvalitetu materijala (predmet rada), zaključit ćemo da se predviđaju materijali podjednake kvalitete. Prema tome ni predmet rada ne uvjetuje bitnu razliku u proizvodnosti rada između proizvođača namještaja. Analiziramo li zaposlenu radnu snagu u procesu proizvodnje, zaključit ćemo, da postoji kvalitetna radna snaga i da u tome pogledu jedna radna organizacija ne zaostaje bitno za drugom.

Kao zaključak se nameće činjenica da je razlika u kvaliteti organizacija proizvođača namještaja bitna s gledišta ostvarene proizvodnosti.

Promatrajući rad pojedinih tehnoloških sistema u proizvodnji obično se upotrebljavaju podaci izraženi u vremenskim jedinicama, pa kako su normativni vremena najobjektivnije mjerilo usporedbe nivoa proizvodnosti, njihovo postavljanje i njihova kvaliteta presudan su činilac pri mjerenju nivoa proizvodnosti svih funkcija u radnim organizacijama.

Godinama se već ostala proizvođačka industrija koristi studijom rada kao instrumentom za povećanje proizvodnosti, a tehničkim normama kao objektiviziranim mjerilima pomoću kojih postoje mogućnosti usporedbe nivoa organizacije rada pojedinih pogona, te mogućnosti za postavljanje smjernica za daljnji rad na unapređenju proizvodnje u proizvodnim pogonima. Na taj način omogućeno je pripremanje proizvodnje i projektnim organizacijama da se služe standardnim režimima rada i operativnim vremenima kao podlogama za rad prilikom uvođenja novih proizvoda ili pri projektiranju novih kapaciteta. Međutim, u proizvodnji namještaja, osim nekoliko individualnih pokušaja, nije se do danas kompleksno pristupilo izradi standardnih vremena za karakteristične zahvate, odnosno operacije, na svim radnim mjestima pri strojnoj obradi u proizvodnji namještaja, a vremena iz strane literature i prakse se zbog specifičnih uvjeta ne mogu primjenjivati. Na to su bez sumnje utjecali struktura privrednih subjekata, proizvodni programi, te usitnjeni kapaciteti pojedinih pogona, u čijoj strukturi troškova materijal zauzima značajno mjesto.

Zbog općenito nedovoljne zastupljenosti ove materije u našoj praksi i znanosti, problem normiranja u drvnoj industriji, a posebno u proizvodnji namještaja, iz dana u dan postaje sve teži. Normativni vremena izrade dobiveni na osnovi iskustva ili različitim metodama postaju ozbiljna kočnica u procesu proizvodnje. Prema dosadašnjim iskustvima postoje uglavnom slijedeće poteškoće:

- a) nepostojanje podataka,
- b) postojanje neadekvatnih podataka, koji se moraju najprije prerađivati i adaptirati,
- c) pomanjkanje stručnjaka koji se bave ovom problematikom.

U najviše slučajeva sistem rada pri utvrđivanju normi ne zadovoljava, te se stoga niti podaci dobiveni o vremenima operacija ne mogu uspoređivati. Uočavajući važnost problema, ovim radom želi se u određenom obujmu i obliku dati doprinos istraživanju režima rada i standardnih vremena karakterističnih zahvata i operacija na strojnim radnim mjestima u proizvodnji namještaja.

Prema ranijim istraživanjima strukture radnog vremena, sprovedenim u 10 radnih organizacija proizvođača namještaja (Figurić, 1974), učešće vremena pri strojnim obradama u odnosu na ukupno vrijeme izrade kreće se u granicama od 49 % do 94 % ili u prosjeku: 68,55 %. Ovako, visoka zastupljenost strojnih obrada i u usporedbi s tim njihov neodgovarajući tretman, bili su poriv za njihovu analizu.

Da bi se pomoglo zaposlenima u funkciji studija rada u drvnoj industriji, svrha ovog rada je izrada tehničkih normativa i režima rada koji bi u praksi poslužili za brzo i dovoljno točno proračunavanje radnih normi pri strojnoj obradi u proizvodnji namještaja. Praktički se ne može izraditi tehnički normativ primjenljiv jednakom točnošću na sve radne organizacije. Ni ovaj rad nema te pretenzije, međutim, svrha mu je:

— da dađe prilog objektivnijem i racionalnijem određivanju operativnog vremena,

— da prouči orijentacione vrijednosti režima rada i operativnih vremena pri radovima na strojnim radnim mjestima u proizvodnji namještaja,

— da sagleda položaj radnih strojeva u sklopu najčešće upotrebljivanih,

— da izrazi osnovne stavove o radnim strojevima, organizaciji radnog mjesta itd., što može korisno poslužiti tehnologima pri realiziranju radnog zadatka, uz davanje nužnih instrukcija za rad.

PROBLEMATIKA ISTRAŽIVANJA — PROBLEM OF STUDY

Rad u proizvodnji sastoji je od niza zahvata koje obavlja čovjek ili stroj, odnosno čovjek i stroj zajedno. Ovi zahvati mogu biti više ili manje racionalni i potrebni. I tako njihov redosljed može biti odabran pravilno ili ne pri obavljanju neposredne transformacije materijala na radnom mjestu. Sistematsko proučavanje obuhvaća: — čovjeka kao operatorka; — predmet rada; — sredstvo za rad; — metode rada; — režime obrade; — ostale funkcije od kojih ovisi proučavanje rada, što sve zajedno označuje proizvodni sistem. On je prema tome skup navedenih objekata sa relacijama koje postoje između ulaznih elemenata (alata, materijala, sredstava za rad, nivoa projektirane tehnologije itd.) s jedne strane i proizvoda s druge strane, promatrane preko njihovih atributa.

Time se u prvom planu pojavljuje razvoj kibernetičkih modela organizacije, koji će pružiti kvantitativne i kvalitativne pokazatelje o značenju i prioritetu pojedinih dijelova sistema na kojima se može osnivati metodologija projektiranja i razvoja industrijskih sistema. Proizvodni proces može se shematski prikazati blok-dijagramom, s kojim je prikazan općenito svaki sistem orijentiran na davanje neke izlazne vrijednosti (sl. 1). Djelovanje toga sistema uvjetovano je određenim ulaznim vrijednostima, a karakteristikama promatranog procesa smatraju se kvalitativne i kvantitativne vrijednosti ulaznih i izlaznih podataka, odnosno efekt koji se ostvaruje posredstvom toga sistema. Kako prikazani sistem predstavlja proizvodni proces, izlazne će se vrijednosti izraziti određenom količinom

obrađenih dijelova u određenom vremenu. Zbog jednostavnijeg određivanja osnovnih karakteristika proizvodnog sistema ova će se razmatranja ograničiti na proizvodnju određene količine tipičnih proizvoda, sklopova i dijelova na tipičnim radnim mjestima.

Proizvodni sistemi u radnim organizacijama drvne industrije vrlo su različiti, jer su ovisni o nivou projektirane tehnologije i opreme. Njihovo ponašanje ovisi o prirodi njihovih sastavnih elemenata i načinu povezivanja tih elemenata, tj. strukturi sistema. Oni se sastoje od elemenata čiji način povezivanja nije potpuno slobodan, jer je ograničen određenim zakonitostima. Navedene zakonitosti djeluju kombinirano, što znači da neke njihove kombinacije djeluju u smjeru poboljšanja željenog ponašanja, a neke, suprotno, tj. sprečavaju punu manifestaciju željenog ponašanja. Stoga je svaka analiza sistema upoznavanje i identificiranje određenih zakonitosti i njihova djelovanja sa ciljem prestrukturiranja ili reorganizacije sistema, da bi se negativne kombinacije djelovanja utjecajnih činilaca svele na najmanju moguću mjeru.



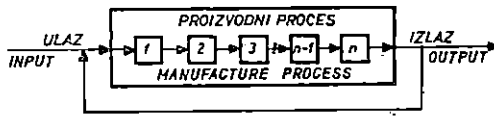
Proizvodni proces
MANUFACTURE PROCESS.
Sl.1-Fig.1.

Sistem čovjek-stroj — Man-machine system

Proizvodni proces zapravo je povezivanje tehnoloških operacija u funkcionalnu cjelinu s ciljem pretvaranja nižih upotrebnih vrijednosti u više, uz svrsishodno sudjelovanje čovjeka. U skladu s uobičajenom shematskom interpretacijom to se može prikazati kao na sl. 2. Ona izražava redoslijed i način izvođenja operacija neophodnih za realizaciju nekog dijela, podsklopa ili sklopa, pri čemu su potrebne tehnološke operacije označene brojevima: 1, 2, 3, . . . n — 1, n. Pri tome mogu se izvesti u općem obliku i strukturne karakteristike proizvodnog procesa, koje su prema S. Jovanoviću (1975) sljedeće:

1. Operacija je osnovna jedinica proizvodnog procesa.
2. Proizvodni proces sastoji se od različitih vrsta operacija.
3. Proizvodni proces je uređeni niz operacija s kojima se omogućuju željene transformacije.
4. Proizvodni proces karakterizira vrijeme trajanja potrebno za transformaciju materijala u njen izlazni oblik.

Na osnovi navedenoga može se konstatirati da proizvodni proces, koji je neposredan izraz proizvodnje kao funkcionalne cjeline, ističe operaciju kao elementarnog nosioca ukupne funkcije proizvodnje. Na taj način ona dobiva svoju ulogu, ako kao sastavni dio pripada jednom uređenom nizu operacija koje znače zaokruženu tehnološku cjelinu. Prema tome ona je



Proizvodni proces
MANUFACTURE PROCESS
Sl. 2.-Fig. 2

dio tehnološkog procesa koji se može posebno promatrati tamo gdje se svrsishodnim djelovanjem čovjeka stvaraju više od nižih upotrebnih vrijednosti. Pretpostavivši da se promatra neka operacija broj 1, koja se može prikazati u općenitom obliku prema S. Jovanoviću (1975):

$$m \xrightarrow[t_{01}]{\text{operacija br. 1}} m'$$

dolazi se do slijedećih konstatacija: operacija broj 1 je prva operacija u transformaciji materijala m i pripada, kao prva, uređenom nizu operacija s kojima se može obaviti transformacija materijala m u dio a. Osnovne karakteristike ove elementarne transformacije jesu:

- m' — izlazni oblik materijala m nakon obavljene transformacije;
- operacija broj 1 — izražava način izvođenja ove operacije, koja omogućuje transformaciju materijala m u izlazni oblik m' ;
- t_{01} — operativno vrijeme operacije broj 1 potrebno za transformaciju materijala m u izlazni oblik m' ;
- m — određeni oblik materijala koji se može na osnovi utvrđenog niza operacija oblikovati u dio a određenih karakteristika, odnosno kroz operaciju broj 1 u izlazni oblik m' .

Ovakav prikaz određuje kvalitativnu karakteristiku operacije. Pod pretpostavkom da se transformacija materijala obavlja kontinuirano u nekom vremenskom intervalu, tada se u okviru ove operacije uspostavlja kontinuirani proces transformacije materijala za koji se može ustanoviti i kvantitativna dimenzija.

Unutarnje uvjete za kontinuirano obavljanje operacije određuje specifična konstitucija elementarnog proizvodnog procesa, u čijoj osnovi nosioci radnog i transformacionog potencijala dobivaju odgovarajuću ulogu. Nosilac radnog potencijala je subjekt (čovjek) koji neposredno obavlja operaciju, dok je nosilac transformacionog potencijala (stroj i alat), samo objekt za neposredno obavljanje operacije.

Ovakav prikaz transformacionog procesa materijala u sistemu čovjek-stroj neposredno diferencira i izdvaja čovjeka, neposrednog subjekta za obavljanje operacije, od uvjeta pod kojima treba obavljati operaciju. Međutim, ako je ova konstatacija neposredan uvjet za njegovo obavljanje i kao takva reprezentira neposrednog nosioca ukupne funkcije proizvodnje, onda je očigledno da je čovjek neposredni generator kako kvantitativne, tako i kvalitativne dimenzije proizvodnog procesa kao cjeline. Kakve će se kvalitativne i kvantitativne dimenzije proizvodnog procesa

postići u nekom vremenskom intervalu ovisit će prvenstveno o nivou raspoloživih sposobnosti čovjeka za obavljanje odgovarajuće operacije.

Izdvajajući čovjeka kao subjekta za neposredno obavljanje operacije, prema specifičnoj konstituciji elementarnog procesa unutrašnji uvjeti svode se na transformacioni postupak i na sredstvo za rad kao nosioce transformacionog potencijala, te na odnos čovjeka i sredstava za rad uključenih u transformacioni proces. Prema tome, elementarni transformacioni proces kao sastavni dio složenog proizvodnog sistema, zbog činjenice da ga uvjetuje transformacioni potencijal sadržan u sredstvima za rad (strojevi, alati itd.), neposredno je vezan i uz određeni prostor u okviru ukupnog prostora koji zauzima proizvodni proces. Uvjetovano lociranje sredstava za rad (strojevi, uređaji, alat) određuje radno mjesto na kojem se obavlja određena operacija, odnosno određuju kvalitativne i kvantitativne dimenzije elementarnog procesa koji čovjek — operator odgovarajućih sposobnosti treba da realizira na njemu. Prihvaćajući ovakvu interpretaciju radnog mjesta stvorena je osnova za formiranje dva zaključka:

1. Radno mjesto je elementarni sistem što ga karakterizira njegova specifična struktura u kojoj se jasno izdvaja čovjek kao subjekt, i sredstvo za rad kao objekt.

2. Radno mjesto kao elementaran sistem jest sastavni dio nekog većeg sistema (proizvodnog procesa).

Dakle, raščlanjivanjem složenog sistema proizvodnje do određenog nivoa raščlanjivanja identificira se radno mjesto kao obradni sistem, odnosno identificira se sistem čovjek — stroj. Ostali sistemi višeg ranga, iz čijeg je sastava izdvojen sistem čovjek — stroj, imaju karakter i funkciju okruženja.

Strojna obrada materijala obavlja se na strojevima po unaprijed utvrđenom tehnološkom procesu, pri čemu se ostvaruje svrsishodna veza između stroja, alata, pomoćnih uređaja i predmeta obrade. Drugim riječima, strojna obrada je postojanje jednog tehnološkog sistema što ga u ovom slučaju sačinjavaju: stroj, alat, pomoćni uređaji i predmet obrade. Međutim, u tehnologiji suvremene industrijske proizvodnje još uvijek se radna aktivnost čovjeka svodi na niz zahvata, kao što su: ulaganje materijala za obradu, njegovo stezanje, zatim skidanje gotovih dijelova, upravljanje i kontrola rada stroja, kontrola kvalitete izrade predmeta obrade i slično. Čovjek je prema tome, neophodna komponenta takvog tehnološkog sistema, jer ima posve određenu ulogu u radu stroja, ili više strojeva, te je tako nedjeljiv dio radnog sistema stroj — alat — pomoćni uređaj — predmet obrade. Zbog toga se u suvremenoj terminologiji to naziva: sistem čovjek — stroj.

Najjednostavniji model sistema čovjek-stroj sastoji se od dvije komponente, prva je čovjek, druga stroj. Među tim komponentama postoje dvije veze. Prva veza je između komponente čovjek i komponente stroj, a druga je između izlaza i ulaza u komponentu čovjek. To je povratna veza iz stroja k čovjeku.

Radni sistem koji postoji između stroja, alata, pomoćnih uređaja, predmeta obrade i radnika jest konkretna razrada općeg sistema čovjek

— stroj i to specifično za područje strojne obrade materijala. Navedenim konstatacijama ističe se da je čovjek u procesu obrade materijala aktivni učesnik, bez obzira da li pri tome u sistemu samo nadgledava tok tehnološkog procesa ili je pak angažiran neposrednim rukovanjem radom stroja. U procesu strojne obrade materijala on vrši utjecaj na komponente sistema (stroj — alat — pomoćni uređaji — predmet obrade) u smislu koordinacije njihovih funkcija, a shodno tehnološkom postupku, odnosno režimima rada. Međutim, sa svoje strane i radni dijelovi stroja, alata i pomoćnih uređaja, kao i predmeti obrade, obavljaju svoje zadatke u sklopu sistema.

U skladu s uobičajenom shematskom interpretacijom sistema, sistem čovjek — stroj može se prikazati kao na slici 3.

Ulazni elementi (x) u sistemu čovjek — stroj su oni koji izravno ili neizravno djeluju da se postigne željeni cilj, tj. da se dobije proizvod. To su osnovni i pomoćni materijali, alat, sredstvo rada, režim rada, energija, tehnološka dokumentacija itd. Izlazni elementi (y) u istom sistemu su u općem slučaju: transformirani materijal više upotrebne vrijednosti i informacije. Transformacioni proces materijala u sistemu čovjek — stroj interpretira promjenu ulaznih elemenata u izlazne elemente što se zbiva u vremenu (t_0), a zavisno je, pored navedenih elemenata, i od karakteristika čovjeka i stroja. Simbolički je matematička interpretacija izloženog prikazana slijedećom jednadžbom:

$$y = f(x, t_0)$$

S obzirom na konstataciju da na rezultat transformacionog procesa utječu i karakteristike podsistema čovjek i karakteristike podsistema stroj, a kako su to dva različita podsistema, to se prvobitna interpretacija sistema čovjek — stroj može zamijeniti prikazom kao na slici 4. Značajna postavka za ovo proučavanje odnosi se na raščlanjivanje funkcioniranja sistema čovjek — stroj na niz pojedinačnih elemenata. Na taj način dolazi do izražaja suština interakcije podsistema čovjek i stroj, te niz realno prisutnih utjecaja iz okoline u toku funkcioniranja sistema. Takvo raščlanjivanje omogućava adekvatan tretman utjecajnih činilaca na ponašanje svakog podsistema, a time i sistema čovjek — stroj u cjelini.

Daljnja razmatranja usmjerena su na identificiranje podsisteme čovjek, odnosno stroj. U skladu s prikazom na sl. 5 podsistem čovjek može se interpretirati na slijedeći način:

Ulazni elementi (x_x) obuhvataju, pored ulaznih elemenata iz okoline koji su u sklopu ulaznih elemenata za sistem čovjek — stroj namijenjeni čovjeku, još i elemente koji potječu od stroja. Izlazni elementi (y_x) obuhvataju, pored izlaznih elemenata koji neposredno tvore snop izlaznih elemenata čovjek — stroj, još i elemente koji su namijenjeni stroju, što se zbiva u nekom vremenu (t_p).

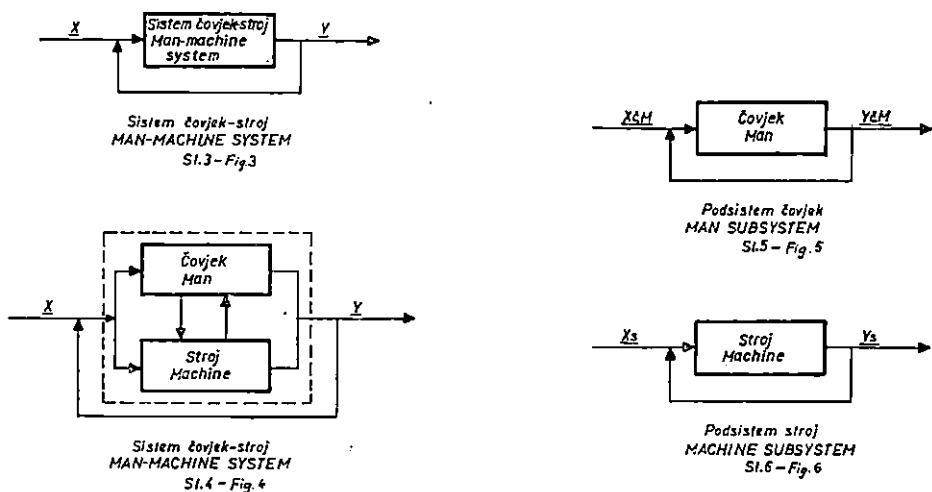
Transformacioni proces materijala u podsistemu čovjek u simboličnom obliku može se prikazati:

$$y_x = f(x_x, t_p)$$

Očigledna ovisnost izlaznih veličina o ulaznim veličinama dominantno je uvjetovana kvalitetama čovjeka. Zbog stohastičke prirode ponašanja čovjeka ne radi se o funkcionalnoj ovisnosti determinističkog tipa.

U okviru sistema čovjek — stroj podsistem stroj može se prikazati kao na sl. 6. Ulazni elementi (x_s) obuhvataju pored ulaznih elemenata iz okoline koji su dio ulaznih elemenata za sistem čovjek — stroj, još i elemente koje im je čovjek namijenio. Izlazni elementi (y_s) mogu se podijeliti u dvije grupe: jedan dio izlaznih elemenata stroja je dio izlaznih elemenata sistema čovjek — stroj, a drugi dio namijenjen je čovjeku, što se zbiva u nekom vremenu (t_{0s}). Prema tome, transformacioni proces podsistem stroj može se prikazati prema V. B u l a t u ovako:

$$y_s = f(x_s, t_{0s})$$



Standardna shema strukture operativnog vremena — Standard scheme of the operative time structure

Kako bi se mogao sagledati značaj pojedinih elemenata operativnog vremena i odrediti način kvantificiranja njihove vrijednosti, razmatranje ovog problema započeto je raščlanom vremena naloga, (sl. 7) što pruža dovoljno mogućnosti za teoretsku razradu i praktičku primjenu u ovim istraživanjima. Kako je razmatrana materija u nas nedovoljno zastupljena, te u našem jeziku još ne postoji za pojedini pojam niti jedinstven, pa niti adekvatan naziv ili izraz s kojim bi on bio nedvosmisleno predodčen, u ovom poglavlju data je standardna shema strukture operativnog vremena i njegovo mjesto u vremenu naloga; prema radovima REFE (1974), F. V o d e n i k a (1969) i vlastitim saznanjima o prikazivanju strukture vremena, sa svrhom prilagođavanja potrebama ovog rada i njegovog prilagođavanja potrebama proizvodnje namještaja. Budući da je problematika istraživanja u ovome radu ograničena isključivo na objektivizaciju i kvan-

tifikaciju operativnog vremena (t_0), koje je najvažniji dio ukupnog vremena izrade, jer se unutar njega obavlja tehnološko oblikovanje materijala, s time su u ovome vremenu sadržani oni elementi koji se redovno ponavljaju pri izradi. Operativno vrijeme (t_0) sastoji se od osnovnog tehnološkog vremena (t_{0s}) kao vremena unutar kojeg se radni komad oblikuje, i pomoćnog vremena (t_p), kao skupa zahvata neophodno potrebnih za izvođenje osnovnog tehnološkog vremena.

Promjena, odnosno oblikovanje izradka, vrši se, prema načinu obrade, odgovarajućim postupkom i režimom rada utvrđenog tehnološkim procesom. Pri tome se osnovno tehnološko vrijeme može pojaviti kao strojno vrijeme ($t_{0s-stroj.}$), strojno-ručno vrijeme ($t_{0s-stroj.-ruč.}$) i ručno vrijeme ($t_{0s-ruč.}$).

Pod strojnim vremenom podrazumijeva se vrijeme za koje se materijal ili izradak strojno oblikuje bez učesća rada čovjeka.

Strojno-ručno vrijeme je vrijeme za koje se materijal ili izradak oblikuje na stroju podstredstvom čovjekova rada, kao npr. pri obradi kod koje se ručno upravlja pomakom alata.

Ručno vrijeme je ono u kojem se materijal ili izradak ručno oblikuju, obrađuju ili sastavljaju.

Pomoćno vrijeme (t_p) definirano je kao vrijeme potrebno za izvođenje osnovnog tehnološkog vremena. Može se ponavljati pri izradi svakog izratka ili pri izradi određene količine unutar jedne operacije ili naloga. Kako kod osnovnih tehnoloških vremena, tako i kod pomoćnih vremena razlikuje se pomoćno strojno vrijeme ($t_{p-stroj.}$), pomoćno — strojno — ručno vrijeme ($t_{p-stroj.-ruč.}$) i pomoćno ručno vrijeme ($t_{p-ruč.}$).

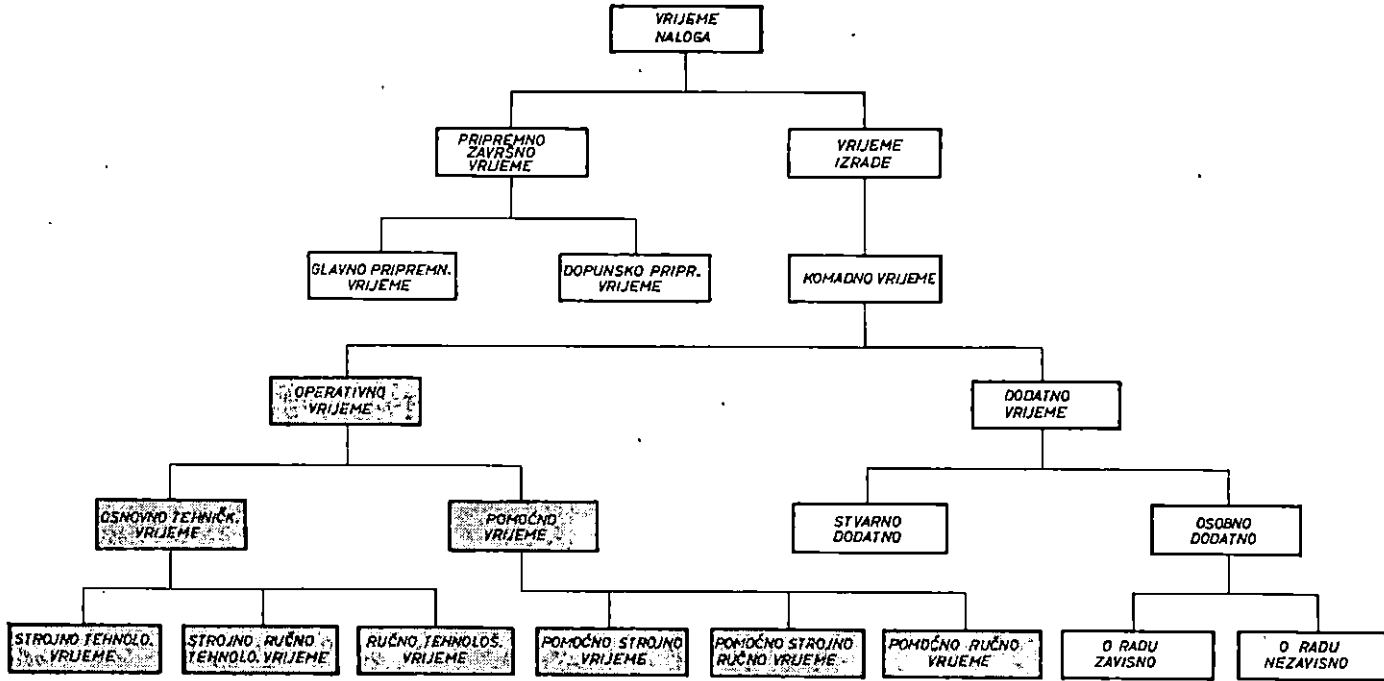
Pomoćno strojno vrijeme obuhvata pomoćna vremena koja se ostvaruju pomoću strojnih uređaja, kao što su transportne trake, pri čemu se npr. automatsko uskladištenje provodi bez čovjekova rada.

Pomoćno strojno — ručno vrijeme obuhvata pomoćna vremena tokom kojih se istovremeno obavljaju strojni i ručni radovi.

U pomoćna ručna vremena ubrajaju se vremena samo za one radove koji se obavljaju ručno, npr. ručno upinjanje, skidanje radnog komada i dr.

Modificirana shema strukture operativnog vremena — Modified scheme of the operative time structure

Kako se pri projektiranju sistema čovjek — stroj pojavljuju dva osnovna problema: podjela funkcija sistema na tehničke elemente i čovjeka i svojstveno prilagođavanje tehničkih elemenata psihičkim i fiziološkim mogućnostima čovjeka, to osnovna težina problema podjele funkcija u sistemu rezultira iz činjenice da se čovjek ne smije usporediti s bilo kojim tehničkim elementom sistema. U svakoj situaciji, čak i kada u sistemu dominira uloga tehničkih elemenata s obzirom na oblast izvršenja funkcija, čovjek ostaje subjekt rada, poznavalac cilja i zadatka djelatnosti. Osiguranje optimalne sposobnosti djelovanja sistema zahtijeva dobro poznavanje čovjeka i njegovih mogućnosti, izvršenje takvih ili drugih funkcija. Uloga čovjeka u sistemu čovjek — stroj može biti različita. On može primiti informacije o stanju upravljanog objekta ili prenositi i predavati



Struktura radnog vremena naloga

TIME STRUCTURE

Sl.7 - Fig.7

dobivene informacije od jedne karike datog sistema do druge. Čovjeku se često povjerava analiza informacije, te donošenje odluke. U sastav čovjekovih funkcija može ući i programiranje rada cijelog sistema ili kojeg njegovog dijela, opažanje i kontrola cijelog sistema ili upravljačkih postrojenja i sl. Oblast čovjekova učešća u upravljačkim sistemima je vrlo različita. Na jednoj strani nalaze se takve forme rada u kojima su sve funkcije čovjeka vezane s pretvaranjem informacija, kao što je s ručnim radom, a na drugoj strani, u automatskim procesima proizvodnje funkcija pretvaranja informacije ostaje u domeni stroja, dok čovjeku preostaju samo glavne funkcije programiranja i kontrole. Između te dvije strana postoji mnogo međustupnjeva.

Iz navedenog slijedi da se sistem rada može promatrati kao krug u kojem se izmjenjuju između čovjeka i stroja predmeti rada, odnosno informacije, pomoću kojih se upravlja strojem. Istraživanja pokazuju da se može pojednostavnjeno promatrano govoriti o slijedećim kibernetičkim modelima:

1. Ručni rad pri kojem sva energija dolazi od čovjeka i sve informacije polaze od čovjeka (upravlja tokom rada, promatra napredovanje rada).

2. Mehaničizirani rad pri kojem uz radnikovu energiju djeluje i energija izvana, dok je ostalo isto kao kod ručnog rada.

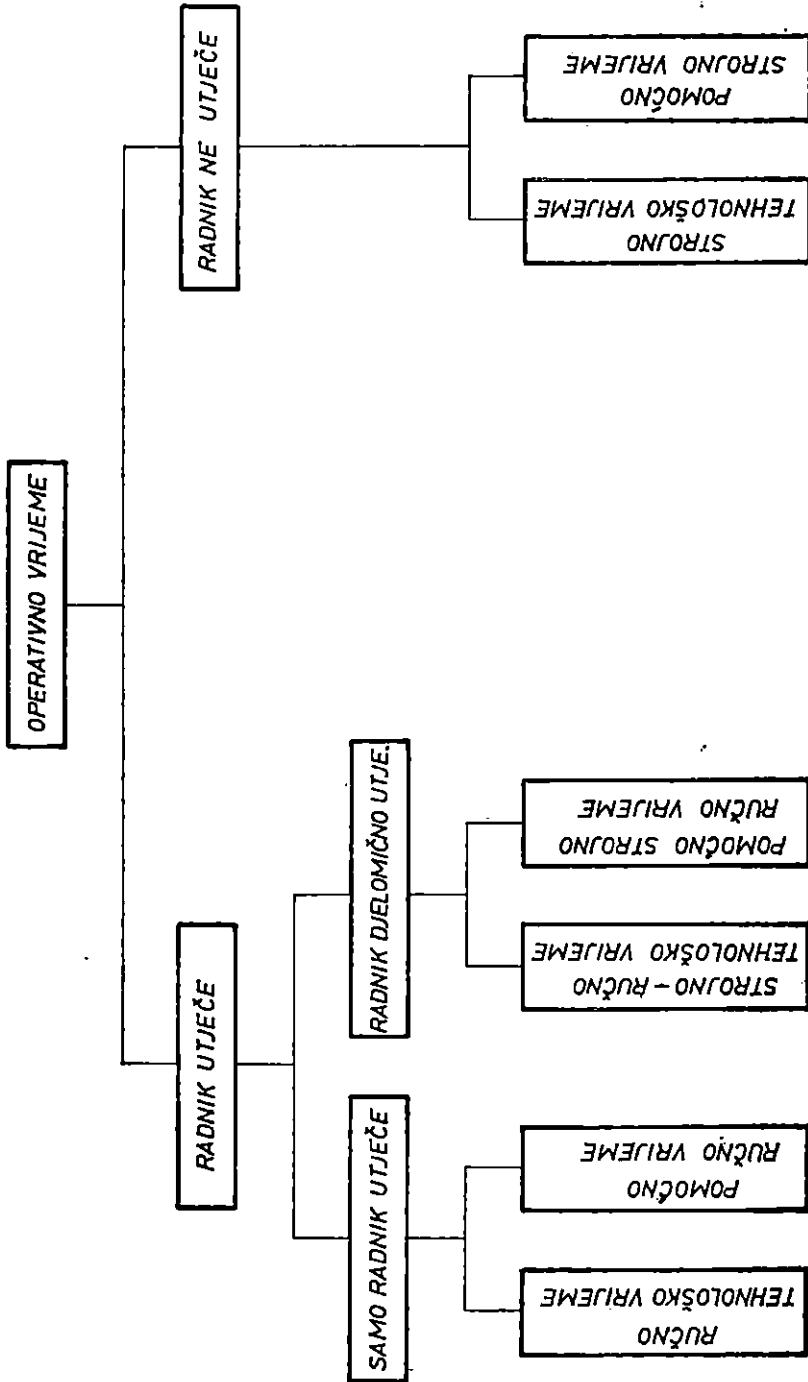
3. Automatizirani rad pri kojem energija dolazi samo izvana, a čovjek preko programiranja upravlja strojem, dok je proizvod izravno djelo stroja.

Iz dosad iznešenog može se zaključiti da je operativno vrijeme moguće prikazati i onako kao na slici 8, što je za ova istraživanja interesantnije, jer se operativno vrijeme dijeli na ono na koje radnik utječe i na ono na koje ne utječe.

To dalje znači da radnik utječe samo na ručno tehnološko vrijeme i pomoćno ručno vrijeme, a da djelomično utječe na strojno — ručno vrijeme.

Pri zahvatima na koje utječe samo radnik, vrijeme trajanja je ovisno samo o njemu. Pri zahvatima kod kojih radnik ne može utjecati na vrijeme trajanja, vrijeme je zavisno od propisanog tehnološkog postupka i režima rada. To je već činjenica pri određivanju vremena za strojne radove kod kojih se, uvrštavajući režime obrade (pomak, broj okretaja, brzinu rezanja itd.) u određene matematičke relacije dobiva strojno vrijeme. No ono je u principu uvijek isto, bez obzira u koje vrijeme ili u kojem vremenskom periodu se taj strojni rad obavlja, jasno, pod pretpostavkom da se režimi rada ne mijenjaju, tj. da su činioci koji utječu na strojno vrijeme konstantni. Međutim, kod zahvata na koje radnik djelomično utječe može on utjecati na vrijeme trajanja toliko koliko dopuštaju propisana tehnologija i režimi obrade.

Kod ručnih radova vrijedi isti princip da je vrijeme funkcija raznih utjecajnih činioca, samo što su pri određivanju vremena za ručne radove ti činioci mnogobrojni i varijabilniji, te često teško obuhvatljivi za kvantificiranje. Činjenica je da je kod ručnih radova vrijeme slučajna varijabla, što znači da i u nepromijenjenim radnim uvjetima njena veličina ko-



Modificirana shema operativnog vremena
 MODIFIED SCHEME OF THE OPERATIVE TIME STRUCTURE
 SLO-Fig.8

leba oko neke stvarne srednje vrijednosti, a da se pri tome ne može predvidjeti kada će odstupati na manje ili više, a potpuno je nemoguće, naročito zbog subjektivnih činilaca, reći koliko će biti stvarno potrebno vrijeme u nekom trenutku.

Režimi rada — Working regime

Obrada koju treba primijeniti na izradu dijelova obavlja se određenim režimom rada, a za svaku obradu postoje karakteristični elementi režima rada. Njihove vrijednosti proizlaze iz mogućnosti obradnog sistema kojim se rješavaju određeni zahtjevi. Vrijednosti elemenata režima rada moraju se za svaki pojedini slučaj što točnije odrediti, naime, između pojedinih veličina režima rada postoji funkcionalna ovisnost, iz čega proizlaze pojedinačne vrijednosti, ovisno o određenim ograničenjima. Prihvaćajući kibernetički pristup sistemu čovjek — stroj i podjelu na podsisteme čovjek i stroj, pitanje definiranja režima rada dobiva novu dimenziju u pogledu značaja, namjene i sadržaja. Prema tome je režim rada, kao viši pojam, usklađenje stanja obaju podsistema, koji sačinjavaju složeni sistem čovjek — stroj. Bez obzira što je režim rada jedinstven, on se zbog realizacije mora podijeliti na dijelove koji su uvjetovani sposobnostima čovjeka i konstruktivno-tehnološkim karakteristikama stroja. Zbog toga, kada se govori o podsystemu čovjek, govori se o metodi rada, a kada se govori o podsystemu stroj, govori se o režimu obrade, što zajedno sačinjava režim rada. Ova podjela obavljena je isključivo s točke gledišta djelovanja optimalnog režima rada na dijelove specifična karaktera, sadržaja i namjene. Svaki podsystem treba maksimalno razviti, tj. mora raditi bez zastoja, odnosno sa što manje zastoja, i tek se tada može govoriti o optimalnom režimu rada.

Prema tome se, nadalje može tvrditi da se i režim rada sastoji od konstantnog (determiniranog) i promjenljivog (stohastičkog) dijela. Opravdana je želja da se radi samo u optimalnom režimu, međutim, u praksi je pri strojnoj obradi proizvodnje namještaja ostvarljivo rješenje ono koje bi omogućavalo rad i u neoptimalnom režimu, ali ograničeno i vremenom i sadržajem, budući da je kibernetički tip radnog mjesta uglavnom otvoreno ili zatvoreno radno mjesto.

Promjene okolnosti pod kojima se odvija projektirani režim rada, čim do njih dođe, ne bi više dovele do sprovođenja optimalnog režima, već nekog ovisnog o veličini promjena uvjeta, više ili manje udaljenih od njega. Da bi se to spriječilo, u optimalni režim rada potrebno je ugraditi rješenja za slučajeve kada nastanu promjene uvjeta. Tako se omogućava da optimalni režim može u toku vremena i kada dođe do promjene uvjeta, biti optimalan.

Promjene uvjeta mogu biti vrlo različite. Mogu biti očekivane i neočekivane. Očekivane, bolje rečeno one koje se mogu predvidjeti, trebalo bi unijeti u optimalni režim rada, a nepredvidljive, se naravno ne mogu unijeti jer su nepoznate, ali se mogućnost njihova nastajanja također mora predvidjeti. Praktičke posljedice prednjih konstatacija su da režim rada u dijelovima gdje mogu nastati utjecaji promjenljivih uvjeta, ima više

varijanti. U nekim slučajevima će, dakle, sigurno nastati situacija da je manji gubitak ako se dopusti narušavanje određenih režima rada, nego da se ustanovljava više varijanti za eventualno nastajanje promjene uvjeta.

Radno mjesto (i operacija) na današnjem nivou organiziranosti pri strojnoj obradi u proizvodnji namještaja, nije zasnovano na zatvorenoj povratnoj vezi, pa se može samo više ili manje približiti radu prema projektiranom režimu, ali ga teško može ostvariti. Naime sve do trenutka dok se umjetno izjednačavaju sposobnosti čovjeka i stroja i čovjek uključuje u optimalni režim rada, da u istom vremenskom periodu radi sa strojem, mora doći do zaustavljanja stroja zbog neodgovarajuće brzine čovjeka.

Na osnovi iznijetog određeni režimi rada ovdje navedeni sadrže metodu rada operatora, konstruktivno-tehnološke karakteristike stroja, te mogućnosti predviđenih promjena utjecaja u praktički dopuštenim granicama.

Analiza ponašanja sistema čovjek — stroj — Behaviour analysis of man-machine system

Osnovni je problem funkcije studija vremena, da se odredi vrijeme sadašnjosti za budućnost, tj. za neko ponovljeno izvođenje iste operacije, pa obuhvaćajući što bolje sve utjecajne činioce potrebno je proanalizirati ponašanje oba podsistema u sistemu čovjek — stroj.

Prema transformaciji stanja, sistemi se općenito dijele na:

- determinirane i
- stohastičke.

Determinirani sistem je onaj kojega je stanje u svakom trenutku poznato iako primjena određene upravljačke akcije vodi ka transformiranju stanja, koje se može točno predvidjeti.

Stohastički sistem je onaj kojega primjena određuje upravljačke akcije, transformira poznato stanje u jedno od skupine mogućih stanja, a ne u jedinstven rezultat.

Uzroci stohastičkog ponašanja sistema su dvojaki:

1. determinirani sistem podvrgnut je vanjskim utjecajima stohastičkog karaktera,
2. unutrašnje ponašanje sistema mijenja se iz nepoznatih uzroka, koji su po pretpostavci stohastički.

Promatrajući prvi podsistem (stroj) dobiva se grafički prikaz kao na slici 9. Na primjer, repertoar vektora ulaza (režimi rada) sastoji se od četiri karakteristične veličine: x_1 , x_2 , x_3 , i x_4 , a vremenska dimenzija transformacionog procesa neke operacije za neki vektor izlaza iz dvije veličine: 10 i 11 terminskih jedinica. Kako bi se ispitala karakteristika procesa koji se događa u podsistemu stroj, potrebno je pretpostaviti da je na temelju pokusnog snimka i zakona teorije vjerojatnosti izračunato da je za ispitivanje navedenog podsistema nužno zbog dovoljne vjerojatnosti 20 snimaka. Rezultati snimanja prikazani su na istoj slici na taj način

da prvi red označava trenutak opažanja, a dva donja reda uočene činjenice. Po završetku opažanja analiza rezultata vršena je uobičajenom statističkom metodom, tako da je sastavljena tablica iznad čijih su kolona upisane vremenske dimenzije, a u redove komponente vektore ulaza. Zatim su u odgovarajuće rubrike uneseni dobiveni rezultati. Iz priložene tablice vidljivo je da ulaz »x₁« znači uvijek vremensku dimenziju 10 terminskih jedinica, tj. svih pet puta. Ulaz »x₂« svih šest puta znači vremensku dimenziju 11, »x₃« također svih šest puta vremensku dimenziju 11 TJ i na kraju »x₄« svi tri puta 11 TJ.

Na osnovi ove tablice izrađena je matrica vjerojatnosti za taj sistem. Matrica vjerojatnosti ima iste kolone i redove kao i prethodna tablica. U njene rubrike su unesene vjerojatnosti proračunate na osnovi prethodne tablice.

Na slici 12 vidljivo je da su se svi »x₁« pretvorili u 10 TJ, svi »x₂« u 11 TJ, svi »x₃« u 11 TJ i svi »x₄« u 11 TJ. To znači da se taj sistem ponaša determinirano. To jedno znači da je njegovo ponašanje moguće prikazati pomoću nekog matematičkog zakona ili formule, što ujedno znači da je za to ponašanje moguće pronaći odgovarajući algoritam, koji se može realizirati pomoću odgovarajućeg programa na elektroničkom računalu.

Prema tome, budući je ovaj sistem determinaran, njegovo ponašanje može se unaprijed odrediti pomoću matematičkog modela. Promatra li se drugi podsistem (čovjek) na način koji je opisan kod promatranja prethodnog podsistema i prikaže li se to na slici 10, vidljiv je sistem čiji se vektor ulaza sastoji od tri komponente: x₁, x₂ i x₃ a i vremenska dimenzija transformacije također od tri komponente: 10, 11 i 12 TJ. Na osnovi pretpostavljenog promatranja dobiven je prikazani snimak. Analizom rezultata ustanovljeno je da je na ulaz »x₁« vremenska dimenzija transformacije u 75 % slučajeva 12 TJ, a u 25 % slučajeva 11 TJ, dok ulaz »x₂« znači u 50 % slučajeva 10 TJ, a u 50 % slučajeva 11 vremenskih jedinica. Slično je i s ulazom »x₃«, koji u 33 % slučajeva znači 10 TJ, a u 66 % slučajeva 11 vremenskih jedinica. Prema tome, ovaj drugi podsistem nije determiniran. Naime, na isti ulaz organizam čovjeka reagira različitom vjerojatnošću nekog izlaza. U praksi se naravno, operira s, najvjerojatnijom, odnosno očekivanom, vrijednošću, koja je zapravo aritmetička sredina jednog skupa izlaza. Ako je takav vjerojatni ili stohastički sistem dio, ili podsistem sistema koji se analizira, onda treba tražiti onu teoretsku funkciju vjerojatnosti koja daje podatke najbliže empirijskim podacima. Pomoću takve funkcije može se odrediti matematički model za daljnju matematičku analizu sistema.

U skladu s ranijom konstatacijom da svaki proces transformacije iziskuje neko vrijeme za svoju realizaciju (t₀), tada se u odnosu na neki vremenski trenutak T₁ može očekivati da će proces transformacije završiti u nekom drugom vremenskom trenutku (T_x):

$$T_x = T_1 + t_0$$

Istražujući prirodu pojedinih ulaznih elemenata, uočeno je postojanje dviju grupa, što je u ovom radu prihvaćeno:

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| redni broj opažanja | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| x_i | x_1 | x_3 | x_1 | x_3 | x_1 | x_4 | x_3 | x_1 | x_3 | x_2 | x_2 | x_2 | x_1 | x_2 | x_3 | x_2 | x_1 | x_2 | x_4 | x_3 |
| t_{os} | 10 | 11 | 11 | 11 | 10 | 11 | 11 | 10 | 11 | 11 | 11 | 11 | 10 | 11 | 11 | 11 | 10 | 11 | 11 | 11 |

| | | |
|-------|----|----|
| | 10 | 11 |
| x_1 | 1 | |
| x_2 | | 1 |
| x_3 | | 1 |
| x_4 | | 1 |

| | | |
|-------|----|----|
| | 10 | 11 |
| x_1 | 5 | |
| x_2 | | 6 |
| x_3 | | 6 |
| x_4 | | 3 |

Analiza rezultata

Matrica vjerojatnosti
STEINCIL OF PROBABILITY
Sl.9-Fig.9

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| redni broj opažanja | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| x_i | x_2 | x_3 | x_1 | x_1 | x_2 | x_2 | x_1 | x_3 | x_3 | x_3 | x_1 | x_2 | x_3 | x_1 | x_1 | x_1 | x_2 | x_2 | x_1 | x_3 |
| t_{os} | 10 | 10 | 11 | 12 | 11 | 10 | 12 | 11 | 11 | 11 | 12 | 11 | 10 | 12 | 11 | 12 | 10 | 11 | 12 | 11 |

| | | | |
|-------|------|------|------|
| | 10 | 11 | 12 |
| x_1 | | 0.25 | 0.75 |
| x_2 | 0.50 | 0.50 | |
| x_3 | 0.33 | 0.66 | |

| | | | |
|-------|----|----|----|
| | 10 | 11 | 12 |
| x_1 | | 2 | 6 |
| x_2 | 3 | 3 | |
| x_3 | 2 | 4 | |

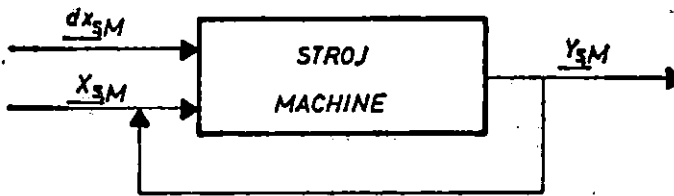
Analiza rezultata

Matrica vjerojatnosti
STEINCIL OF PROBABILITY
Sl.10-Fig.10

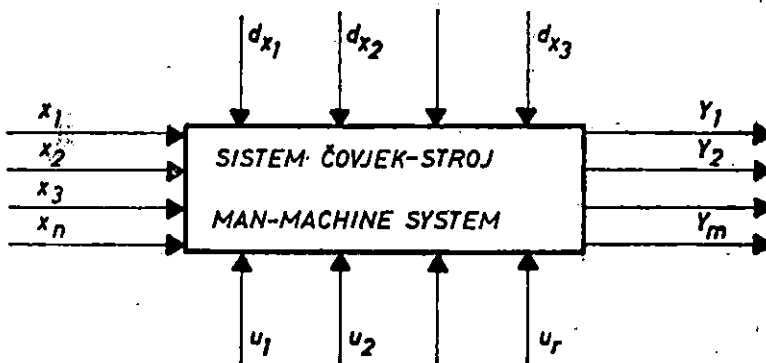
Figurić M.: Režim rada i operativna vremena kod strojne obrade u proizvodnji namještaja. Glasnik za šum. pokuse 22:5-85, 1984.



Podsystem čovjek
MAN SUBSYSTEM



Podsystem stroj.
MACHINE SUBSYSTEM



Sistem čovjek-stroj
MAN-MACHINE SYSTEM.

Sl.II-Fig.II

1. Normalni ulazni elementi, koji izražavaju normalnu interakciju čovjeka sa strojem i okruženjem, pretpostavljajući uobičajeno ponašanje čovjeka u granicama normalnog vremenskog trajanja.

2. Dopunski ulazni elementi iz okruženja, odnosno stroja, koji su izraz prisustva dodatnih utjecajnih činilaca, što prouzrokuje drugačije ponašanje čovjeka, odnosno stroja i odstupanja u pogledu vremenskog trajanja u odnosu na normalno.

Narušavajućim utjecajem smatraju se unutarne smetnje u sistemu, utjecaj okruženja, ukratko sve što izaziva otklon sistema iz stabilnog stanja.

Pri tome vrijedi sve ranije rečeno o vjerojatnom karakteru okončanja u ovome trenutku. Naime, operativno vrijeme (t_0) se može shvatiti kao aritmetička sredina skupa mogućih vremena trajanja procesa transformacije, čije se vjerojatnoće raspoređuju u skladu sa zakonom normalne distribucije. S obzirom na prisustvo eventualnih dopunskih ulaznih elemenata, čije se djelovanje odražava na strukturu ponašanja čovjeka i vremensko trajanje procesa transformacije, očekivani će vremenski trenutak okončanja procesa obrade sistema čovjek — stroj biti u općem slučaju:

$$T_x = T_1 + t_0 \pm \Delta t_0$$

što znači da Δt_0 ne ovisi samo o režimu rada i stohastičkoj prirodi ponašanja čovjeka kao operatora sistema, već i o vektoru poremećaja (utjecaj okruženja, nehomogenost strukture materijala koji se obrađuje itd.).

Budući da se normalno očekuje da će djelovanje navedenih dopunskih činilaca uvjetovati produženje trajanja transformacionog procesa, gornji će izraz najvjerojatnije izgledati ovako:

$$T_x = T_1 + t_0 + \Delta t_0$$

Ovdje je Δt_0 kvantifikacija izražena u vremenskim jedinicama dodatnih neadekvatnih pojava i zbivanja u toku transformacionog procesa tehnološkog sistema čovjek — stroj.

Najteže je ako nisu poznati svi elementarni procesi u pojavi, pa se ne mogu odrediti ni matematički modeli na osnovi matematičkih zakona ni na osnovi empirijskih funkcija, već se pouzdao znaju samo glavni utjecajni činioci od kojih ovisi proces. Tada je moguć samo kibernetički pristup pri izradi modela, koji se sastoji u određivanju utjecajnih činilaca na transformacioni proces, a dijele se na glavne, dopunske i upravljačke utjecajne činioce.

Glavni utjecajni činioci od kojih ovisi proces ($x_1, x_2, x_3 \dots x_n$) djeluju bitno na rezultate procesa ($y_1, y_2, \dots y_m$). Pored glavnih, tu su i nekontrolirani činioci koji remete proces $dx_1, dx_2, \dots dx_p$ (dopunski činioci), na čije se djelovanje umjetno utječe činiocima $u_1, u_2, \dots u_r$ (upravljački činioci). Dopunski činioci mogu se podijeliti na unutarne i vanjske. Unutarnji dopunski činioci zavise od procesa i glavna im je osobina slučajan karakter. Vanjski dopunski činioci slučajna su karaktera, ali ne zavise od procesa (utjecaj okruženja).

Upravljajućim činionicima utječe se na poremećaje i kompenzira se njihovo djelovanje na proces. Ovim činionicima upravljaju ili čovjek ili automat na osnovi signala poremećaja u rezultatima, ili samom kontrolom činilaca koji remete, ako je to moguće.

Upravo činjenica da za objekt upravljanja (stroj) postoje dvije vrste ulaznih veličina, od kojih su one označene sa dx_z , dx_s (dodatne neadekvatne pojave bilo od čovjeka, bilo od stroja) ulazne veličine poremećaja, a to su sve one ulazne veličine koje nisu pod kontrolom dijela podsistema čovjek; no utječu na to da se vremenska dimenzija sistema čovjek — stroj počne mijenjati na neželjan način, još više objašnjavaju stohastičan karakter vremenske dimenzije transformacionog procesa tehnološkog sistema čovjek — stroj. Na slici 11 vidljivo je da se teoretska razmatranja prikazana na slikama 5 i 6 moraju proširiti dodatnim razmatranjima.

Kako su dakle, u međusobnim unutrašnjim vezama elemenata proizvodnje prisutni i slučajni činioci, obradni sistem čovjek — stroj spada u grupu stohastičkih sistema. Uzrok je dvojak:

- stohastičko ponašanje čovjeka kao operatora i
- prisustvo slučajnih činilaca u sklopu ulaznih elemenata, te djelovanja okoline.

Promatrajući odvijanje rada između čovjeka i stroja, može se vidjeti da nastaju slijedeći slučajevi:

- radnik radi sam, i to poslove oko skidanja predmeta i stavljanja na obradu, te obavlja poslove pri završetku ili početku rada stroja,
- radnik i stroj rade zajedno, i to tako da radnik radi ručne radove vezane uz rad stroja (strojno ručno vrijeme),
- za vrijeme strojnog rada radnik obavlja poslove koji nisu vezani uz strojni rad, pa je njegov ručni rad prikriven strojnim.

Kako je već utvrđeno, iz različitih razloga mogu se zamisliti miješani oblici između posve determiniranih i posve stohastičkih modela sistema čovjek-stroj. Ako je miješani odnos između ta dva oblika takav da se slabija komponenta ne može naprosto zanemariti, mora se pronaći miješani model koji odgovara dotičnoj situaciji.

Ovdje treba razlikovati dva, u principu različita, slučaja:

1. deterministička komponenta je u prvom planu i
2. stohastička komponenta je u prvom planu.

Promatra li se vremenska dimenzija takvog miješanog modela pri transformaciji materijala u sistemu čovjek-stroj, razlikuju se uglavnom dva slučaja:

1. osnovno tehnološko vrijeme veće je nego pomoćno vrijeme i
2. pomoćno vrijeme veće je nego osnovno tehnološko vrijeme.

U dosadašnjem izlaganju prilikom obrazlaganja sheme strukture operativnog vremena izneseno je da je ono jednako zbroju osnovnog tehnološkog i pomoćnog vremena. Ipak, uvijek nije moguće na taj način odrediti operativno vrijeme. Kod operacija koje su djelomično ili posve auto-

matizirane često se pomoćno vrijeme pokriva osnovnim tehnološkim vremenom obrade prethodnog elementa. Naime, dok se jedan element nalazi u obradi, novi je već uloženi u stroj, što još više ukazuje na mogućnosti interakcijskog djelovanja čovjek — stroj — režimi rada, i stohastičku vjerojatnost vremenske dimenzije transformacionog procesa. U praksi se pojavljuju razne vrste interferencije vremena. Strojno vrijeme u jednom ciklusu može biti konstantno ili promjenljivo. Strojno vrijeme i vrijeme ručnog rada mogu biti otprilike podjednaki za svaki stroj koji radnik poslužuje, ali strojevi mogu imati različite zahtjeve u pogledu ručnog vremena, a to će biti kad se na svakom stroju izrađuje različit proizvod. Interferencija može nastati u svakoj radnoj situaciji u kojoj se učinak stroja smanjuje, jer dolazi do čekanja. Potrebno je napomenuti da izneseno vrijeme pri kontinuiranoj obradi više elemenata na jednom strojnom radnom mjestu.

Definiranje funkcionalne ovisnosti zbog formiranja matematskog modela operativnog vremena — Determination of the functional dependence with the objective of working out the mathematical model of operative time

Na osnovi iznesenog javlja se načelno pitanje: da li je moguće, i na koji način, utvrditi matematski model vremenske dimenzije transformacionog procesa materijala u sistemu čovjek — stroj? Ako se pod pouzdanošću sistema čovjek-stroj (P_{cs}) podrazumijeva vjerojatnost da sistem ispravno funkcionira u vremenskom intervalu 0 do t , onda proizlazi prema M. Žaji (1973.) da je vjerojatnost da sistem ispravno funkcionira u vremenskom intervalu t_1 do t_2 :

$$P(t_1 \text{ do } t_2) = P(t_1) - P(t_2)$$

Iz općeg izraza pouzdanosti sistema proizlazi da se pouzdanost sistema mijenja tokom vremena. Zato je vrijeme rada (t_{cs}) sistema svakako glavni i najutjecajniji činilac na pouzdanost. Kako je sistem čovjek — stroj sastavljen od skupa n elemenata, očito je, da je ukupna pouzdanost čitavog sistema (P_{cs}) funkcija pojedinih pouzdanosti pojedinih elemenata, ili podsistema pojedinačno. Ovdje treba naglasiti da su pojedini dijelovi sistema (podsistemi) pouzdaniji, a pojedini manje pouzdani. Ipak, sistem čovjek-stroj za odvijanje svoje djelatnosti treba tri osnovna elementa: operator, stroj i predmet rada. Oni tvore cjelinu sistema čovjek-stroj, ali ni jedan od njih ne može samostalno obavljati svoju funkciju. Sve tri komponente moraju stoga ispravno funkcionirati; čim jedan element nedostaje, ili je neispravan, sistem čovjek — stroj nije sposoban da obavlja svoju funkciju. Pouzdanost sistema čovjek — stroj (P_{cs}), koja zavisi od pouzdanosti svake od triju navedenih komponenta, jednaka je:

$$P_{cs} = P_{\check{c}} P_s P_{pr}$$

gdje su:

- $P_{\check{c}}$ = pouzdanost komponente čovjek,
- P_s = pouzdanost komponente stroj,
- P_{pr} = pouzdanost komponente predmet rada.

Kako se pouzdanost svake od tih triju komponenta kreće od 0 do 1, očito je pouzdanost sitsema čovjek — stroj manja od bilo koje pouzdanosti njegovih komponenti:

$$P_{\xi s} < 1$$

Iz toga proizlazi da je pouzdanost sistema čovjek — stroj ($P_{\xi s}$) najpovoljnija kad su pouzdanosti svih triju komponenata jednake. To znači da je maksimalna pouzdanost sistema čovjek — stroj kod uvjeta:

$$P_{\xi} = P_s = P_{pr}$$

Smanjenje pouzdanosti sistema ($P_{\xi s}$) treba tražiti prije svega u činjenici da apsolutno sigurnog sistema nema, tj. sistema koji bi bez pres-tanka ispravno funkcionirao. Postoje zapravo samo više ili manje pouz-dani sistemi, što znači sistemi kojih je vjerojatnost ispravnog funkcionir-anja uvijek manja od 1.

Vremenska dimenzija transformacije materijala u sistemu čovjek — — stroj bez sumnje zavisi od djelovanja čitavog niza utjecajnih činilaca vrlo složena karaktera. Utjecaj tih činilaca je kompleksan i neprekidno se mijenja u pravcu i intenzitetu. Svaki je činilac kompleks za sebe, koji je opet pod utjecajem čitavog niza komponentnih činilaca više ili manje složenih karaktera.

Svi utjecajni činioci djeluju ili pozitivno ili negativno na ispravnost odnosno kontinuitet funkcioniranja sistema čovjek-stroj na njegovu pouzdanost.

Kako je pouzdanost sistema čovjek — stroj u cjelini funkcija pouzdanosti osnovnih elemenata: pouzdanost čovjeka P_{ξ} , pouzdanost stroja P_s i pouzdanost predmeta rada P_{pr} , može se izraziti slijedećom matematičkom relacijom:

$$P_{\xi s} = f(P_{\xi}, P_s, P_{pr})$$

Iz toga proizlazi da se djelovanjem na povećanje njihovih pojedinačnih pouzdanosti utječe, izravno ili neizravno, na bolju efikasnost sistema. Kako je, dalje, pouzdanost svakog od tih elemenata zapravo funkcija sku-pa pojedinačnih pouzdanosti p njihovih n komponenti, npr.:

$$P_{\xi} = f(P_1, \dots, P_2, \dots, P_n)$$

a svaka od ovih funkcija pouzdanosti opet su sastavni dijelovi komponenta p , npr.:

$$P_1 = f(p'_1 \dots p'_2 \dots p'_m)$$

i tako dalje, do pojedinačnih pouzdanosti k mikroelemenata p :

$$p'_1 = f(p''_1 \dots p''_2 \dots p''_k)$$

jasno se uočava kompleksnost utjecaja na pouzdanost, a time i na efikasnost sistema čovjek — stroj u cjelini. Prema tome, se smatra da je operativno vrijeme, koje je cilj istraživanja, sumarno promatrano, zapravo stohastički proces i dolazi se do nove kvalitetnije definicije operativnog vremena:

$$\text{operativno vrijeme} = f \left\{ \begin{array}{l} \text{predmet rada} \\ \text{sredstvo rada} \\ \text{uvjeti rada} \\ \text{propisani postupci i režimi rada} \\ \text{organizacija radnog mjesta} \\ \text{stručnost operatora} \\ \text{sposobnost operatora} \\ \text{motiviranost operatora} \\ \text{dodatne neadekvatne pojave} \end{array} \right\}$$

Konstatirajući da se kvantitativna dimenzija elementarnog transformacionog procesa (operacija) određuje potrebnim operativnim vremenom (t_0), te time kasnije i izračunata norma slijedi iz tehnološkog procesa i određenih režima rada, utvrđena je i činjenica da postoji niz različitih utjecajnih činilaca koji uvjetuju manji ili veći utrošak vremena. Odnosno, utvrđeno je da je operativno vrijeme funkcija činilaca koji uvjetuju njegovu veličinu:

$$t_0 = f(F_1, F_2, F_3 \dots F_{n-1}, F_n)$$

gdje su $F_1, F_2, F_3, F_{n-1}, F_n$, odnosno u dalje navedenoj relaciji f_{11}, f_{12} , utjecajni činiloci.

Određivanje ovih ovisnosti velikog je teoretskog i praktičkog značenja. To značenje očituje se u mogućnosti da se za svaki određeni slučaj istraži i odredi odgovarajući broj određenih utjecajnih veličina, te da se pomoću njih matematski oblikuje odgovarajući obradni sistem, odnosno operacija. Uzimanjem u obzir što više utjecajnih veličina, bit će karakteristične veličine sistema, odnosno elementi režima rada, točnije određeni. Mnogi su značajni činiloci koji utječu na veličinu operativnog vremena nepovoljni za kvantifikaciju. Zato je i pored intenzivnog razvoja matematičkih metoda za pojedine grupe problema njihova primjena onemogućena, pa i nepouzdana, i zbog toga neki autori u svojim radovima polaze čak i od povezivanja prethodno navedenog izraza u kompleksniju ovisnost oblika:

$$t_0 = f_1(f_{11}, f_{12}, \dots f_n) + f_2(f_{21}, f_{22} \dots f_n) + \dots$$

Očigledno je da ova ovisnost postaje znatno složenija ako se uzme u obzir ono što je rečeno o količini utjecajnih činilaca i karakteristici njihova djelovanja na operativno vrijeme. Utjecaj raznih činilaca prenosi se preko elemenata koji ga određuju. To znači da se utjecaj raznih činilaca na operativno vrijeme može kvantificirati pod uvjetom:

1. da je količina činilaca ograničena,
2. da je poznat karakter njihova utjecaja,
3. da je njihov utjecaj limitiran.

Na osnovi prethodnih razmatranja proizlazi da je operativna vremena moguće znanstveno utvrditi eksperimentalno ili analitički. Kako je za eks-

perimentalni način koji bi doveo do konačnih rezultata potrebno mnogo dugotrajnih, a prema tome i skupih eksperimenata, rješenje izrade standardnih vremena operacija i režima rada treba tražiti analitički.

Analitička metoda kojom se obračunava operativno vrijeme osniva se na postavci da između podataka o obradi neke grupe elemenata i odgovarajućih kategorija radnih vremena postoji funkcionalna ovisnost, koju je moguće matematski formulirati. Postoji, dakle, opravdanost primjene kompleksnog izraza oblika $t_0 = f(x)$. Određivanje vrijednosti po ovom izrazu moguće je ukoliko se uspješno riješe dva ranije navedena osnovna problema. To su izbor i kombinacija varijabli ($F_1, F_2 \dots F_n$) u odnosu na nezavisno mijenjanje veličina x , te način matematskog formuliranja oblika $t_0 = f(x)$. Rješenje treba tražiti tako da se u mnoštvu djelujućih činilaca odaberu samo oni koji dominantno utječu na vrijednost razmotrenih elemenata vremena. Naime, mnoštvo utjecajnih činilaca teško je obuhvatiti u zajednički izraz u odnosu na promjenu varijable x . Zbog toga treba mnogo utjecajnih činilaca uzeti u obzir u vidu ulaznih podataka s kojima su određeni elementi optimalnog režima rada, što je moguće učiniti, budući da se u cijelom području obrade izvršavaju operacije na osnovi istovrsnog tehnološkog postupka. Preostaje, dakle da se izraz $t_0 = f(x)$ rješava s parametrima u vidu kombinacija s kojima su prikazani utjecaji svih karakterističnih činilaca na operativno vrijeme.

Da bi se mogla kvantificirati vremenska dimenzija transformacionog procesa i odrediti matematički model za svako radno mjesto i operaciju, uz navedenu problematiku potrebno je pronaći odgovarajuće matematske formule koje bi izražavale funkcionalnu ovisnost dobivenu pokusima. Takve formule nazivaju se empirijske. Za približno izračunavanje zadane funkcije $f(x)$ obično se izabire funkcija aproksimacije $\varphi(x)$ određenog oblika, npr. traži se $\varphi(x)$ u obliku polinoma:

$$\varphi(x) = a_0 + x_1x + \dots a_n x^n$$

ili u obliku:

$$\varphi(x) = Ae^{rx} + Be^{sx} + \dots \text{itd.}$$

i zahtijeva da se funkcija $\varphi(x)$ što bolje približi $f(x)$ u nekom određenom intervalu ($a \leq x \leq b$). Koja će se najbolja aproksimacija dobiti ovisi o načinu na koji se ocjenjuje aproksimacija funkcije $f(x)$ i $\varphi(x)$.

Teoretski je za najbolju aproksimaciju potrebno da maksimum veličine $[f(x) - \varphi(x)]$ u intervalu $a \leq x \leq b$, u kojem treba postići približan izraz $f(x)$, bude najmanji u usporedbi s kojim drugim izrazom $\varphi(x)$.

Na taj način postavljene jednadžbe ne opisuju realni sistem, već njegov idealizirani model. U tom je smislu dinamički sistem aproksimacija kojoj su u manjoj ili većoj mjeri adekvatni stanoviti procesi ili tehnički uređaji.

PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA — SURVEY OF RESEARCH SO FAR AND AIM OF RESEARCH

Pregled dosadašnjih istraživanja — Survey of research so far

Mali je broj istraživača koji su problem izrade standardnih vremena operacija i režima rada ispitivali cjelovitije, a pogotovu mogućnosti njihove primjene u drvanoj industriji, tako da postoje kontradikcije i kod ranijih istraživača, i kod suvremenika bilo u pogledu izbora metodike rada, bilo u pogledu prikazivanja rezultata. U ovom prikazu iznesen je najvažniji pregled literature koja obrađuje dosadašnja istraživanja dotičnog problema koji je dao bilo neku ideju koja potvrđuje ili je posve suprotna rezultatima ovih istraživanja. To, naravno, ne znači da je dat pregled sve literature proučene prilikom istraživanja problematike. Prema tome, s obzirom na dosadašnja saznanja iz ove oblasti u ovom poglavlju je dat prikaz dosadašnjih istraživanja koja se mogu podijeliti u ove tri grupe: radovi koji su ovu problematiku tretirali u drvanoj industriji, u ostalim industrijskim granama i djelatnostima, te u matematici, pa su tim redoslijedom i razmatrani.

Istraživanja u drvanoj industriji — Research in timber industry

Werner Müller (REFA, 1974) je još 1951. u predgovoru svojoj knjizi: »Studij vremena i planske kalkulacije u drvanoj industriji« dao poticaj da se stvori »Zbirka primjera« radnih normi u drvanoj industriji (1959).

Istovremeno je pored njega na tome polju radio i dr Beck, stručnjak REFA-a, pa su zajedno objavili prve radove u izdanju AWF-REFA. Ta zbirka bila je prvi pokušaj izrade orijentacionih normi za drvenu industriju. Bila je napisana s ciljem da se pokaže kako u praksi treba posupati i služila je prvenstveno kao opća literatura iz područja REFE za drvenu industriju.

C. Blankenstein, stručnjak REFE (1959), autor je knjige koja se smatra u Zapadnoj Evropi jednom od najuspjelijih djela s područja drvne industrije, a tretira probleme izrade standardnih režima rada i operativnih vremena. Napisana je na osnovi dugogodišnjeg rada i iskustva autora. Autora treba smatrati jednim od utemeljitelja ideje o stvaranju standardnih vremena operacija u drvanoj industriji. Iako je još 1959. došao do tih spoznaja, pitanje izrade standardnih vremena operacija nije do danas skinuto s dnevnog reda.

C. Blankenstein nije ulazio u dublja istraživanja zakonitosti odnosa između operativnog vremena i najutjecajnijih činilaca, zadovoljavao se empirijskim rješenjima problema. Isticao je prednosti grafičkog izjednačavanja na običnom milimetarskom papru, gdje nije potrebno unaprijed znati oblik linije izjednačenja. Izjednačavanja podataka vršio je isključivo grafički, bez računanja ispravnosti postavljene linije izjednačenja, što je obrazloženo činjenicom da računске metode izjednačavanja iziskuju dosta posla, i zato su za praksu bolje manje točne, ali zato jeftinije grafičke metode.

J. Starčević (1971) nastavio je radove C. Blankensteina istim tretiranjem snimljenih podataka, proširujući proučavanje vremena metodama unaprijed određenih vremena — MTM za ručne zahvate. Međutim, ni taj autor nije se služio analitičkim računskim metodama ustanovljenja režima i operativnog vremena, i nije ispitivao njihove funkcionalne odnose. Karakter rada isključivo je empirijski.

Čehoslovačko Ministarstvo za drvenu industriju izdalo je 1959. zbornik normativa vremena kod strojne obrade pri finalnoj obradi drva. To je prvi pokušaj kompleksnog rješavanja navedene problematike. Rad se može smatrati uspješnim pokušajem sređivanja operativnih vremena i režima rada sakupljanjem podataka na jednom mjestu. Autori nisu preciznije definirali režime rada ni ograničenja primjene, tako da promatrana vremenska dimenzija transformacije materijala nije data precizno. Nepoznato je kojim načinom su prikupljeni i snimani elementarni podaci, ali na osnovi uvodnog dijela može se pretpostaviti da je rađeno isključivo grafičkim izjednačenjem, bez računanja ispravnosti određene linije izjednačenja, te da su na osnovi toga izrađene tablice.

V. Š o l a j a (1962.) pokušao je podatke iz čehoslovačkih izvora prilagoditi našim potrebama, tako da je njegov rad zapravo sređivanje čehoslovačkih tehničkih normativa koji bi poslužili u našoj praksi za brzo i dovoljno točno proučavanje normativa vremena. Međutim, iz djela se ne vidi na koji je način došao do podataka i na koji su način obrađeni. Rad je interesantan jedino po metodološkom pristupu prikaza standardnih vremena operacija i uputstva za primjenu. Autor nije ulazio u istraživanja utjecajnih činitelja i vremena koje uvjetuju niti je tražio funkcionalnu vezu među njima.

Ukupno uzevši, metode i rezultati istraživanja prethodnih autora karakteristični su po tome što se operativno vrijeme novog dijela procjenjuje na osnovi za izradu poznatog reprezentanta određene vrste obrade i grupe dijelova, a to se prema F. V o d e n i k u (1969.) može prikazati slijedećom relacijom:

$$t_0' \simeq kt_0$$

gdje su:

- t_0' — traženo operativno vrijeme
- k — korekcionni faktor procjene ovisno o geometrijskom obliku dijela
- t_0 — poznato operativno vrijeme potrebno za izradu reprezentanta određene grupe dijelova.

Pojava ovakvog određivanja operativnog vremena i u ovom obliku je napredak u odnosu na pojedinačna snimanja koja nemaju zadatak snimanja sadašnjeg vremena za buduću upotrebu, te je dovela do izrade kompleksnih normativa vremena. Međutim, iz same metodike rada vidljivo je da tako određeni normativi mogu biti samo približno točni, a režimi rada su uzimani preopćenito i nedovoljno precizno. Tako većina navedenih rezultata nije mogla poslužiti primjeni i u ostalim poduzećima drvne industrije u kojima nisu vršena istraživanja bez većih korekcija, koje bi zahtijevale opet dodatna istraživanja.

Navedeni autori zalažu se za grafičko izjednačavanje podataka bez primjene metode izravnavanja, obrazlažući to time da računске metode zahtijevaju dosta posla, pa su za praksu upotrebljivije manje točne, ali zato jeftinije metode, gdje se grafovi izabiru odoka. No glavni zajednički nedostatak im je taj što je količina obuhvaćenih činilaca relativno mala, a njihov utjecaj pretežno se uzima proizvoljno, pa je upravo to glavni nedostatak veće upotrebe objavljenih rezultata.

Sovjetski stručnjaci A. B. Fabrickij i C. M. Lobman (1963.) rješenja problema sa dvije varijable, koji su u stohastičkoj ovisnosti, tražili su postavljanjem empirijskih formula za funkcije ovisnosti $y = f(x)$ dobivenih pokusima. Istakli su da ako nema nekih teoretskih rasuđivanja u pogledu izbora formule, onda funkciju ovisnosti treba izabrati što jednostavnije, uspoređujući njezin graf s grafom zadane funkcije. Međutim, kako sličnost grafova uspostavljenih odoka može zavarati, mora se nakon izbora formule najprije po metodi izravnavanja provjeriti može li ju se primijeniti, a tek onda odrediti vrijednosti parametara. Izravnavali su uz slijedeći uvjet:

$$\sum_1^n (+E) + \sum_1^n (-E) = \sum E \simeq 0$$

Tu su E razlike između vrijednosti pripadnih ordinata nanese na krivulje i vrijednosti ordinate nanesenih točaka. Izjednačavanja su, kao i H. B. Maynard (1973—1975.) vršili grafički na papirima s različitim podjelama. Do parametara jednadžbi krivulja dolazili su metodom najmanjih kvadrata. Uglavnom su radili sa slijedećim tipom funkcije:

$$y = ax^n + C$$

ili u pojednostavljenom obliku:

$$z = ax^n$$

gdje je: $z = y - c$

Autori su dali standardna vremena operacije i režime rada za neka radna mjesta pri strojnoj obradi proizvodnje namještaja. Nisu se međutim, upuštali u detaljne analize razmatranja problema niti su dali sugestije koje su funkcije za koje činioce i radna mjesta karakteristične, tako da rad nije dao kompleksna rješenja problema, već ga je zahvatio prilično površinski. Nastavljajući rad navedenih autora u CNIIMOD-u, NII-drevmašu, Šumarsko-tehničkoj akademiji Kirov (Lenjingrad), izdata je zbirka normativa vremena za radove pri obradi drveta.

Najkompletnija istraživanja ovoga problema u drvnoj industriji dao je do sada B. Perović (1965.), proučavajući standardna vremena izrade na ravnalicama tipa »R—50«, proizvodnje »Bratstvo« iz Zagreba. No radovi nisu imali opsežniji karakter, tako da se može reći da je pomoću njih utvrđena prednost analitičkih metoda utvrđivanja jednadžbi krivulja tipskog standardnog vremena u odnosu na grafičke metode, te je dat niz odgovora otkud proistječe ta prednost. Autor je za odnos navedenih režima rada i operativnog vremena za obradu jelovih, borovih i hrastovih obradaka dao matematičku interpretaciju relacijom:

$$y = ax^2 + bx + c$$

M. Figurić (1974.) je u svojim istraživanjima ispitivao utjecaj pojedinih činilaca na veličinu operativnog vremena na nekim strojevima u finalnoj obradi drva. Podaci su izjednačavani s tipovima funkcija prema H. B. Maynardu (1973—1975.), uz dodatak još i tipa recipročne funkcije:

$$y = \frac{a}{x^m}$$

Ispitujući navedene funkcionalne ovisnosti na 10 radnih mjesta i obrađujući podatke metodom izabranih točaka, metodom sredina, najmanjih kvadrata, te metodom S. Davisa, dat je doprinos analitičkim metodama računanja operativnog vremena pri strojnoj obradi u proizvodnji namještaja postavljanjem odgovarajućih funkcionalnih ovisnosti između njega i činioca koji ga uvjetuje za karakteristične tipove radnih mjesta. Na osnovi tih istraživanja nastavljena su daljnja istraživanja problema standardnih vremena operacija u ovome radu.

*Istraživanja u ostalim industrijskim granama i djelatnostima —
Research in another industrial branches and activities*

H. B. Maynard (1973—1975.), razmatrajući navedenu problematiku, postavio je pet tipova empirijskih jednadžbi pomoću kojih se mogu izraziti rezultati eksperimenata:

Tab. 1

| Tip funkcije Type of function | Algebarski izraz Algebraic expression |
|----------------------------------|--|
| 1 | $y = ax + b$ |
| 2 | $y = a(10)^{mx}$ |
| 3 | $y = ax^m$ |
| 4 | $y = ax^m + c$ |
| 5 | $y = a(10)^{mx} + c$ |

Postupak koji preporučuje jest kombinacija grafičke i analitičke metode, jer se na osnovi podataka nanesenih u odgovarajućim koordinatnim sustavima sa normalnim, polulogaritamskim i logaritamskim podjelama, izabire aproksimativno najidealniji oblik navedenih tipova funkcija. Metod ovakva rada temelji se na upotrebi dijagrama koji odražava funkcionalnu ovisnost norme vremena i dimenzija dijelova koji se obrađuju (npr. o promjeru, dužini, površini). Ova metoda omogućuje brzo i prilično točno određivanje tražene norme povezane s polaznim podacima relativno složenog matematskog izraza, pri čemu otpada potreba odgovarajućih proračuna. Bez obzira na jednostavnost, ova metoda može se primjeniti uglavnom na normiranje grupe istovrsnih dijelova (elemenata), tj. tipova dijelova koji se obrađuju tipičnim ili normalnim tehnološkim procesom. Da bi se odre-

dila norma vremena pomoću ove metode za bilo koji dio grupe, potrebno je jednostavnim proračunom odrediti norme za dijelove predstavnika, tj. za najstroženije i najjednostavnije dijelove. U prvom slučaju norma će biti maksimalna, u drugom minimalna. Očigledno je da će norme vremena za obradu svih ostalih dijelova konkretne grupe biti u granicama nađenih maksimuma i minimuma i ovisnosti o geometrijskoj složenosti, te dimenzijama konkretnih dijelova. Metode bi se zajednički mogle nazvati grafo-analitičkim. Autor je problem odredio isključivo teoretski, bez praktičkih rezultata u bilo kojoj grani industrije. No, njegovim metodama služili su se mnogi autori navedeni u ovom poglavlju pri svojim istraživanjima.

F. V o d e n i k (1969.), baveći se problemima optimizacije režima i vremena obrade provrta u metaloprerađivačkoj industriji, otišao je najdalje u istraživanju analitičkog određivanja operativnog vremena pronalaženjem novih metoda. On zahtijeva da primijenjene metode moraju omogućiti brz i efikasan proračun, odnosno racionalan način kojim se dobivaju što točnije i sa stajališta prakse realne vrijednosti. Izlaže, da iz navedenih općih postavki proizlaze praktičke smjernice za modifikaciju postojećih ili razvoj novih metoda. Te smjernice mogu se formulirati u vidu zahtjeva da primijenjena metoda mora:

- imati analitički karakter i biti nerazdvojno povezana s tehnološkom dokumentacijom;
- garantirati da vrijeme izrade bude određeno unutar zahtjevane točnosti;
- biti primjenljiva na odgovarajući obim normiranja i odgovarati dinamičkom karakteru vremena izrade;
- dati po mogućnosti kompleksne utroške vremena;
- u najvećoj mogućoj mjeri isključivati subjektivne utjecaje.

Za oblikovanje ovisnosti između operativnog vremena i činioca koji ga uvjetuju, a na osnovi izračunatih optimalnih elemenata, režim obrade usvaja kao najprikladniju eksponencijalnu funkciju tipa:

$$t = mx^n + c$$

Ovom funkcijom može se obuhvatiti svaki tok krivulje koji se pojavljuje u praksi, dat za određeno područje dimenzija provrta i to sa zadovoljavajućom točnošću. Veličine m , n i c omogućuju dobro približenje toka funkcije stvarnom toku formiranja za rotacione, plosnate, a i zakrivljene oblike obrađivanih površina. Obradu rezultata istraživanja vršio je elektroničkim računalom.

Istraživanja u Institutu za alatne strojeve u Karl-Marx Stadtu (DDR) (V o d e n i k, 1969.) bila su usmjerena na utvrđivanje da li je uopće moguće odrediti koji prikladan matematski izraz za operativno vrijeme i režime rada, odnosno, da li je uopće svrsishodno određivati vrijeme primjenom kompleksnog izraza u obliku $t_0 = f(x)$. Njihova ispitivanja potvrdila su prednost analitičkog načina određivanja operativnog vremena u operacijama tokarenja, bušenja i glodanja metala.

Istraživanja u matematici koja se koriste pri studiju i analizi vremena — Research in mathematics which is used in studies and time analysis

Prema L. N. Bronštejn-u i K. A. Semendjajev-u (1964.) navedeni su osnovni oblici najviše upotrebljivanih oblika jednadžbi funkcija. Potrebno je napomenuti da prilikom proučavanja grafova valja uvijek imati u vidu da se pri upotrebi empirijskih formula koristi samo dijelom krivulje koji pripada nekom intervalu u kojem se mijenja nezavisna varijabla.

U daljnjem tekstu (tabela 2 i 3) dat je pregled općih oblika jednadžbi koje se preporučuju pri analizi snimljenih podataka:

Tab. 2

| Tip funkcije Type of function | Algebarski izraz Algebraic expression |
|----------------------------------|--|
| 1 | $y = a + b \cdot x$ |
| 2 | $y = a + b \cdot x + c \cdot x^2$ |
| 3 | $y = a \frac{-b}{x}$ |
| 4 | $y = a \cdot x^b$ |
| 5 | $y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2$ |
| 6 | $y = a + b(x_1 \cdot x_2) + c \cdot x_1^2$ |
| 7 | $y = a + b(x_1 \cdot x_2) + c \cdot x_1^2 + d \cdot x_2^2$ |
| 8 | $y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2 + d \cdot x_2^2$ |
| 9 | $y = a \cdot e \frac{-b}{x}$ |

Tab. 3

| Tip funkcije Type of function | Algebarski izraz Algebraic expression | Tip funkcije Type of function | Algebarski izraz Algebraic expression |
|----------------------------------|--|----------------------------------|--|
| 1 | $y = ax^b$ | 9 | $y = \frac{1}{ax^2 + bx + c}$ |
| 2 | $y = ae^{bx}$ | 10 | $y = \frac{x}{ax^2 + bx + c}$ |
| 3 | $y = ax^b + c$ | 11 | $y = a + \frac{b}{x} + \frac{c}{x^2}$ |
| 4 | $y = ae^{bx} + c$ | 12 | $y = ax^b e^{cx}$ |
| 5 | $y = ax^2 + bx + c$ | 13 | $y = ae^{bx} + cede$ |
| 6 | $y = \frac{ax + b}{cx + d}$ | | |
| 7 | $y^2 = ax^2 + bx + c$ | | |
| 8 | $y = ae^{bx} + cx^2$ | | |

Usporedba prethodnih istraživanja — Comparison of preliminary research

Usporedbom navedenih prethodnih istraživanja dolazi se do zaključka da je zajedničko svima metodama i sistemima koji počivaju na unaprijed određenim standardnim vremenima slijedeće:

1. bilo koji posao u industriji koji obavlja čovjek može biti sastavljen samo od ograničenog broja osnovnih pokreta ili zahvata;
2. svaki zahvat sastoji se od odgovarajućih vremenskih vrijednosti, koje su u pravilu iste;
3. ukupno vrijeme za bilo koju operaciju sastoji se od zbroja vremena za sve osnovne pokrete odnosno zahvate.

Nadalje može se reći da je dosadašnjim istraživanjima utvrđena prednost analitičkih metoda nad grafičkim pri određivanju operativnih vremena i da je dat niz odgovora od kuda proistječe ta prednost. Stoga se u ovim istraživanjima nastojalo istražiti ona pitanja koja su još ostala sporna, nisu dovoljno objašnjena ili ih uopće nema, kao što su: broj tipova kojim se izjednačuju podaci, utjecaj pojedinih činilaca na veličinu operativnog vremena, način obrade i interpretiranje rezultata.

Kasnija istraživanja su išla u pravcu traženja što većeg izbora tipova empirijskih funkcija, umjesto da se problem pojednostavi, te nisu ulazila u bit problema, naime, koje su funkcije na kojim radnim mjestima tipične i za koje operacije, pogotovo pri strojnoj obradi u proizvodnji namještaja.

S druge strane, trebalo je čitav ovaj problem izrade režima rada i standardnih operativnih vremena provjeriti u našim prilikama razvoja tehnologije pri strojnoj obradi u proizvodnji namještaja, jer su gotovo sva istraživanja u drvenoj industriji vršena u znatno različitim okolnostima i prvenstveno obrađivana isključivo grafičkim metodama izjednačenja snimljenih podataka, dok analitičke metode, izuzev one B. Perovića (1965.) u manjem obimu i M. Figurića (1974.), uopće nisu upotrebljavane.

Ciljevi istraživanja — Aim of research

Na funkcioniranje sistema čovjek — stroj kao kompleksnog, dinamičkog stohastičkog sistema, kao i na rezultate njegova funkcioniranja, utječe mnoštvo činilaca dinamičkog karaktera. Kako je težište istraživanja u ovom radu utvrđivanje uzročno — posljedičnih veza između režima rada i operativnih vremena pri strojnoj obradi u proizvodnji namještaja i pružanje odgovora na pitanje zašto se i kako se nešto dogodilo u zadanim okolnostima, znači da je potrebno analizirati mnoštvo promjenljivih utjecajnih činilaca i njihovih međusobnih veza. To je praktički nemoguće, ili je moguće u dugom vremenskom periodu, jer tokom toga perioda utjecaji promatranih činilaca mogu imati velike kvantitativne i kvalitativne promjene prema metodama po kojima se do sada pokušalo riješiti navedenu problematiku u proizvodnji namještaja.

Definiranjem pojma i značaja tehnološkog sistema, tehnološkog procesa i tehnološke operacije, moguće je znatno jeftinije, brže i točnije doći

do traženih rezultata, ako se uspije definirati svaki od dijelova proizvodnog sistema egzaktnim putem, što znači primjenu matematskih metoda u traženju najpovoljnije varijante. Da bi se do takvih rezultata došlo egzaktnim putem pri strojnoj obradi u proizvodnji namještaja, neophodno je imati matematski definirano slijedeće:

1. matematski model problema izražen jednažbom,
2. uvjete izražene kibernetiskim modelom,
3. ograničenja i kriterije.

Na osnovi navedene problematike postavljen je slijedeći osnovni cilj istraživanja:

Moguće je izraditi matematske i kibernetiske modele, uz postavljena ograničenja, za sve transformacione procese pri strojnim obradama u proizvodnji namještaja.

To znači da je potrebno pomoću odabranih funkcionalnih ovisnosti odrediti za zadanu obradu matematski model. S postavljenim ograničenjima to je realan proces obrade za niz kombinacija uvjetovanih režimom rada.

Postoje mnoge metode da se na osnovi rezultata eksperimenata odredi matematski model pojave, ali najviše se upotrebljava metoda matematske statistike (regresiona analiza), koja se u biti koristi metodom najmanjih kvadrata. Cilj u numeričkih metoda obrade rezultata jest da se ovisnost rezultata od utjecajnih činilaca izrazi analitički.

Pri obradi rezultata numeričkim metodama mogu se razlikovati dva slučaja:

1. kada je oblik funkcionalne ovisnosti rezultata od utjecajnih činilaca poznat i
2. kada nije poznat.

Kako u razmatranoj problematici nije poznat oblik funkcionalne ovisnosti, pretpostavlja se da je moguće promatrane pojave aproksimirati polinomom:

$$y = A_1 + A_2x + A_3x^2 + A_4x^3 + \dots + A_nx^n$$

Aproksimiranje objekta promatranja matematskim modelom naziva se identifikacija. U užem smislu, identifikacija je određivanje nepoznatih vrijednosti parametara matematskog modela pretpostavljene strukture. Cilj je da model zadate točnosti opisuje zakonitosti odnosa ulaz — izlaz pri transformaciji materijala u sistemu čovjek — stroj.

METODA RADA — WORKING METHOD

Na osnovi navedene problematike i postavljene radne hipoteze, izabrana metoda rada upotrebljena u ovome radu osniva se na načelima sistemske analize, koja prema G. G. Kliru (Radošević, 1975.) izgleda ovako:

1. Mora postojati problem koji se želi riješiti. On pripada nekoj specifičnoj disciplini (u konkretnom slučaju disciplini studija i analize vremena). Da bi se mogao promatrati mora ga se izdvojiti i to je objekt promatranja (izrada režima rada i standardnih vremena operacija).

2. Objekt promatranja treba definirati kao sistem, a da bi se to moglo, potrebno je odrediti hipotezu proučavanja i cilj promatranja. U konkretnom slučaju to je vremenska dimenzija transformacijskog procesa tehnološkog sistema čovjek — stroj.

3. Na osnovi analogije potrebno je pronaći sistemski model, tj. drugi sistem koji je pojednostavljenije sistema.

4. Treba analizirati pojave na modelu, koristeći pri tome saznanja i postavke teorije sistema. Na primjer, jedna od postavki teorije jest da je lakše utvrditi funkciju sistema višeg reda nego nižeg reda, što znači da red sistema treba razvijati tako dugo dok se ne dođe do onog reda kod kojeg je najlakše definirati funkciju sistema.

5. Na temelju analiza ili eksperimenata s modelom treba sakupljati rezultate, kako bi se dobile informacije o ponašanju modela.

6. Saznanje prikupljanja pomoću modela treba uz pomoć analogije primijeniti na objekt.

7. Potrebno je rezultate dobivene analizom usporediti sa postavkama osnovne discipline u čiju domenu problem spada.

8. Ako rezultati dobiveni analizom ne odgovaraju postavkama osnovne discipline treba odrediti novo stajalište, definirati sistem na osnovi tog novog stajališta i ponoviti cijeli postupak.

Izloženo sistemsko shvaćanje pojava i pojmova toliko se učvrstilo da se ni pri razmatranju ljudskog rada ne može više mimo principa i zahvata systemske tehnike. Rad kao pojava se pri tome ništa ne mijenja ako se razmatra s instrumentarijem systemske tehnike, dok se u analiziranje, a i oblikovanje, unosi time više preglednosti i točnosti. Sistemsko sagledavanje rada naročito je potrebno zbog toga što je ljudski rad u sistemu čovjek — stroj definiran kao što je prethodno učinjeno.

Zbog navedenoga kod pristupa izradi režima rada i standardnih vremena operacija mora se obratiti pažnja na nekoliko teoretskih i praktičkih, ali uvijek stručnih dilema: na oblik promatranja, metode mjerenja, jedinice mjerenja, obradu podataka i na način interpretiranja rezultata.

Ove dileme potrebno je riješiti, te za svaki izlaz ili skupinu izlaza utvrditi:

- a) što je objekt promatranja pri mjerenju i
- b) kojom će se metodom pojedini objekt ili skupina objekata promatranja mjeriti.

Da bi metodika rada poslužila istraživanju određenog problema, odnosno provjeravanju radne hipoteze, definirana je određenim komponentama. To su:

1. sistem istraživanja,
2. planiranje eksperimenata,
3. mjerenje vremena,
4. obrada i prikazivanje podataka.

Sistem istraživanja — System of research

Pri izboru sistema istraživanja korištena su saznanja REFE i prilagođena su specifičnim okolnostima rada pri strojnoj obradi u našim radnim organizacijama proizvodnje namještaja.

1. Odrediti namjenu i definirati područje upotrebe standardnih vremena.
2. Urediti i opisati tehnološke sisteme iz područja upotrebe standardnih vremena.
3. Opisati radne operacije, tj. raščlaniti ih na elemente.
4. Obaviti planiranje snimanja.
5. Ispitati utjecaj pojedinih činilaca na veličinu operativnog vremena.
6. Izraditi standardna vremena operacija.

Planiranje eksperimenata — Experiment planning

O planiranju eksperimenata za sakupljanje podataka ovisi koje i kakve činjenice će se utvrditi, a na osnovi njih stvaraju se objašnjenja kojima je cilj donošenje zaključaka o njihovoj primjeni u praksi i daljnjim znanstvenim istraživanjima. Zbog toga su planiranjem eksperimenata obuhvaćeni:

1. izbor objekata promatranja,
2. izbor i podučavanje snimatelja,
3. izbor modela snimanja,
4. izrada plana snimanja.

Izbor objekata promatranja — Selection of observation objects

Pri određivanju radnih organizacija, odgovarajućih radnih mjesta i operacija na kojima su sprovedena istraživanja, nastojalo se obuhvatiti sva karakteristična radna mjesta i operacije u strojnim obradama tvornica masivnog i pločastog namještaja.

Kako je raznolikost instalirane opreme karakteristika postojeće situacije u proizvodnji namještaja, problem izbora objekta promatranja koji bi bio reprezentativan, bio je vrlo delikatan. Zbog toga su pretežno obuhvaćena radna mjesta i operacije, odnosno pozicije, koje su najčešće u praksi pri strojnoj obradi u proizvodnji namještaja, ali ne i specifični slučajevi na koje se nailazi u svakoj radnoj organizaciji, a vode k neograničenom broju kombinacija i alternativa. Nisu obuhvaćene ni one operacije koje se izvode po već zastarjelim tehnološkim postupcima. Na taj način je obavljena prva selekcija objekata promatranja koji su dolazili u obzir da se sistematiziraju i njihova operativna vremena kvantificiraju. Ova je selekcija omogućila da se premosti velika raznolikost opisa operacija, načina njihova izvođenja, mjerenja itd.

Za sprovođenje snimanja izabrano je osam radnih organizacija drvne industrije, koje u svojim sastavima imaju dvadeset i četiri proizvodnje namještaja.

U tabeli 4 dat je pregled radnih organizacija u kojima su vršena promatranja, a oznakom (+) prikazano je u kojima su snimani režimi rada i

Tab. 4

| Red. broj No. | Radna organizacija Firm | Strojna obrada namještaja od masiva Machine working out of massive furniture | Strojna obrada pločastog namještaja Machine working out of board furniture |
|---------------|------------------------------------|--|--|
| 1. | IK »KRIVAJA« — Zavidovići | + | + |
| 2. | DI »RADIN« — Ravna Gora | + | + |
| 3. | »A. ŽAJA« — Zagreb | + | + |
| 4. | DIP »OTOČAC« — Otočac | | + |
| 5. | DIP »NEHAJ« — Senj | | + |
| 6. | MUNDUS »F. BOBIČ« — Varaždin | + | + |
| 7. | DI »GORANPRODUKT« — Čabar | + | + |
| 8. | »ŠIPAD« OUR »NAMJEŠTAJ« — Gradačac | | + |

operativna vremena pri strojnim obradama u proizvodnji pločastog ili masivnog namještaja.

U daljnjem tekstu u priloženim tabelama 5 i 6 data su radna mjesta i operacije na kojima su vršena opažanja.

Tab. 5

Radna mjesta i operacije pri strojnoj obradi u proizvodnji namještaja od masiva

| Br. rad. mjesta Machine or station number | Naziv radnog mjesta Machine name | Broj operacije Operation number | Naziv operacije Operation |
|---|--|---------------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 01 | Jednolisna kružna pila (Single) cross-cut circular saw | 01 | Uzdužno piljenje (debljina 25, 32 mm, širina 50 mm) |
| | | 02 | Uzdužno piljenje (debljina 25, 32 mm, širina od 51—75 mm) |
| | | 03 | Uzdužno piljenje (debljina 25, 32 mm, širina od 76 mm na više) |
| | | 04 | Uzdužno piljenje (debljina 38, 42 mm, širina — 50 mm) |
| | | 05 | Uzdužno piljenje (debljina 38, 42 mm, širina od 51—75 mm) |
| | | 06 | Uzdužno piljenje (debljina 38, 42 mm, širina od 76 mm na više) |
| | | 07 | Uzdužno piljenje (debljina 50, 60 mm, širina — 50 mm) |
| | | 08 | Uzdužno piljenje (debljina 50, 60 mm, širina od 51—75 mm) |
| | | 09 | Uzdužno piljenje (debljina 50; 60 mm, širina od 76 mm na više) |
| 02 | Ravnalica Planing machine | 01 | Jedostrano poravnavanje (širina do 65 mm) |
| | | 02 | Jednostrano poravnavanje (širina 66—150 mm) |
| | | 03 | Jednostrano poravnavanje (širina 151—200 mm) |

Figurid M.: Režim rada i operativna vremena kod strojne obrade u proizvodnji namještaja. Glasnik za šum. pokuse 22:5—85, 1984.

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|--|----|---|
| 03 | Debljača Thicknessing machine | 01 | Dvostrano blanjanje na mjeru (širina elem. do 35 mm) |
| | | 02 | Dvostrano blanjanje na mjeru (širina elem. 36—55 mm) |
| | | 03 | Dvostrano blanjanje na mjeru (širina elem. 56—75 mm) |
| | | 04 | Dvostrano blanjanje na mjeru (širina elem. 76—120 mm) |
| | | 05 | Dvostrano blanjanje na mjeru (širina elem. 121—150 mm) |
| | | 06 | Jednostrano blanjanje na mjeru (širina elem. do 35 mm) |
| | | 07 | Jednostrano blanjanje na mjeru (širina elem. 36—55 mm) |
| | | 08 | Jednostrano blanjanje na mjeru (širina elem. 56—75 mm) |
| | | 09 | Jednostrano blanjanje na mjeru (širina elem. 76—120 mm) |
| | | 10 | Jednostrano blanjanje na mjeru (širina elem. 121—150 mm) |
| 04 | Četverostrana blanjalica Four sided planing machine | 01 | Četverostrano blanjanje (presjek 25 × 37 mm) |
| | | 02 | Četverostrano blanjanje (presjek 38 × 44 mm) |
| | | 03 | Četverostrano blanjanje (presjek 45 × 54 mm) |
| | | 04 | Četverostrano blanjanje (presjek 55 × 70 mm) |
| 05 | Poprečna kružna pila (povlačna) Transversal circular saw (drag saw) | 01 | Prikraćivanje na mjeru — točnu dužinu (širina 10—30 mm) |
| | | 02 | Prikraćivanje na mjeru — točnu dužinu (širina 31—50 mm) |
| | | 03 | Prikraćivanje na mjeru — točnu dužinu (širina 51—90 mm) |
| | | 04 | Prikraćivanje na mjeru — točnu dužinu (širina 91—130 mm) |
| | | 05 | Prikraćivanje na mjeru — točnu dužinu (širina 131—190 mm) |
| | | 06 | Prikraćivanje na mjeru — točnu dužinu (širina 191—250 mm) |
| 06 | Dvolisna formatna pila Double dimensioning saw | 01 | Prikraćivanje na mjeru |
| 07 | Automatski tokarski stroj Fully automatic turning lathe | 01 | Tokarenje profiliranih dijelova |
| | | 02 | Tokarenje konusnih dijelova |
| | | 03 | Spiralno tokarenje dijelova |
| 08 | Tokarska brusilica Turning (lathe) sander | 01 | Brušenje tokarenih dijelova |

Figuric M.: Režim rada i operativna vremena kod strojne obrade u proizvodnji namještaja. Glasnik za šum. pokuse 22:5-85, 1984.

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|--|----|---|
| 09 | Stolna glodalica Table moulding machine | 01 | Jednostrana obrada ravnih rubova masivnih elemenata po šablوني |
| | | 02 | Dvostrana obrada ravnih rubova masivnih elemenata po šablони |
| | | 03 | Jednostrana i dvostrana obrada profila (žljebova i zaobljenja) na masivnim elementima |
| 10 | Stolna glodalica — visokoturažna Table moulding machine with high slewing speed | 01 | Jednostrana i dvostrana izrada žljebova i zaobljenja na masivnim elementima |
| | | 02 | Jednostrana obrada rubova na masivnim elementima |
| | | 03 | Dvostrana obrada rubova na masivnim elementima |
| | | 04 | Jednostrana izrada žljebova i zaobljenja na masivnim elementima |
| 11 | Glodalica za izradu zubaca Moulding machine for gear-teeth manufacture | 01 | Glodanje zubaca i utora s jedne strane |
| | | 02 | Glodanje zubaca i utora s obje strane |
| 12 | Horizontalna bušilica — jednovretena Horizontal single- -spindle boring machine | 01 | Bušenje rupa s proširenjem (L = 50 mm; ϕ 23/10 mm) |
| | | 02 | Bušenje rupa (L = 105 mm; ϕ 10 mm) |
| | | 03 | Bušenje rupa na čelni presjek (L = 55 mm; ϕ 12 mm) |
| 13 | Stolna tračna brusilica Belt sander | 01 | Brušenje ploha |
| 14 | Širokotračna brusilica Sander with wide belt | 01 | Brušenje ploha (fino) |
| 15 | Kolutna brusilica s četkom Circular disc sanding machine with brush | 01 | Fino brušenje zakrivljenih masivnih elemenata |
| 16 | Trovaljčana brusilica Triple drum sanding machine | 01 | Brušenje — egaliziranje dijelova |
| 17 | Kolutna brusilica Circular disc sander | 01 | Kombinirano brušenje zaobljenih i zakrivljenih rubova i pobrušavanje bridova |
| 18 | Stolna vertikalna tračna brusilica Table vertical belt sander | 01 | Kombinirano brušenje |

Tab. 6

Radna mjesta i operacije u strojnoj obradi pločastog namještaja

| Br. rad. mjesta Machine or station number | Naziv radnog mjesta Machine name | Broj operacije Opera- tion number | Naziv operacije Operation |
|---|---|--|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 50 | Formatna podstolna pila Dimensioning lower-table saw | 01 | Formatiziranje ploča |
| 51 | Vertikalna formatna pila Dimensional vertical saw | 01 | Formatiziranje ploča |
| 52 | Spajačica furnira Venner jointer | 01 02 03 | Uzdužno spajanje bukova furnira Uzdužno spajanje orahova i hrastova furnira Uzdužno spajanje furnira iz egzota |
| 53 | Višeeetažna hidraulična preša Multi floor hydraulic presser | 01 | Furniranje |
| 54 | Jednoetažna protočna preša One floor uninterrupted presser | 01 | Furniranje |
| 55 | Dvovaljčana brusilica Double drum sanding machine | 01 | Brušenje — egaliziranje |
| 56 | Automatski dvostrani profiler Fully automatic doubleend profiler | 01 02 03 04 05 | Dvostrano obrezivanje i profiliranje na točnu dužinu (iverica) Dvostrano obrezivanje i profiliranje elemenata na točnu širinu (iverica) Dvostrano obrezivanje i profiliranje elemenata na točnu dužinu (šperani elementi) Dvostrano obrezivanje i profiliranje elemenata na točnu dužinu (iverica) Dvostrano obrezivanje i profiliranje elemenata na točnu dužinu (okal-ploča) |
| 57 | Automatski stroj za oblaganje rubova Fully automatic veneer presser | 01 02 03 | Oblaganje rubova folijama šperanih elemenata Oblaganje rubova iverice folijom Oblaganje rubova iverice furnirom |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|---|----------|--------------------------------------|
| 58 | Automatski stroj za ljepljenje rubnih letvica Fully automatic edge lipping and bonding machine | 01 | Ljepljenje rubnih letvica |
| 59 | Glodalica Milling machine | 01 02 | Glodanje utora Glodanje poluutora |
| 60 | Naljevačica laka Lacquer pouring machine | 01 | Nalijevanje laka |
| 61 | Dvovaljčana brusilica — egalizirka ploha Double drum sanding machine | 01 | Fino brušenje lakiranih ploha |
| 62 | Stolna tračna brusilica Table belt sander | 01 | Brušenje poliesterskih lakova |

Izbor i podučavanje snimača — Selection and recorder training

Poduka snimača osnivala se na tome da sam u svakom poduzeću u kojem je vršeno snimanje održao seminar iz područja studija rada, u trajanju od četrnaest dana, gdje su snimači prošli teoretski i praktički dio. Nakon toga samo neko vrijeme radio sam, izravno sa snimačima u svakom pogonu, te nadgledavao i korigirao snimanja.

U radnim organizacijama navedenim u tabeli 7 snimanje je obavljalo slijedeći broj snimača:

Tab. 7

| Red. broj No. | Radna organizacija Firm | Snimatelja Recorders |
|---------------|-------------------------------------|----------------------|
| 1. | IK »KRIVAJA« — Zavidovići | 8 |
| 2. | DI »RADIN« — Ravna Gora | 6 |
| 3. | »A. ŽAJA« — Zagreb | 1 |
| 4. | DIP »OTOČAC« — Otočac | 3 |
| 5. | DIP »NEHAJ« — Senj | 3 |
| 6. | MUNDUS »F. BOBIĆ« — Varaždin | 9 |
| 7. | DI »GORANPRODUKT« — Čabar | 7 |
| 8. | »ŠIPAD« OOUR »NAMJEŠTAJ« — Gradačac | 2 |
| Ukupno: | | 49 |

Izbor modela snimanja — Selection of recording model

Snimanje određene operacije, odnosno zahvata s dovoljno snimaka (n), u približno istim okolnostima, unutar određenih granica pouzdanosti, može se postići na nekoliko načina. Prilikom izbora modela snimanja za potrebe ovoga rada odlučeno je za model F, prema D. T a b o r š a k u (1974).

Osnovni skup ovoga modela je obavljanje neke operacije koju izvodi više radnika ($R_1, R_2, R_3 \dots R_n$), svaki u vremenskom trajanju od n izvođenja, a više tehnologa studije rada ($T_1, T_2, T_3, \dots T_n$) ih snima u raznim vremenskim periodima. D. T a b o r š a k (1974) tvrdi da se o tome modelu može s velikom vjerojatnošću reći da bi dao najpouzdanije rezultate te da je u praksi provediv, međutim za takav model bez sumnje je nužan dugotrajn timski rad. Analiza rezultata snimanja je najkompliciranija, jer se mora uzeti u obzir mnoštvo utjecajnih činilaca, a za snimanje treba razraditi plan snimanja, kako bi se dobili najbolji rezultati.

Na osnovi izloženoga, prilikom izbora modela snimanja odlučeno je za taj model, jer autor rada također smatra da će se, unatoč složenosti zadatka, upravo na ovakvom modelu morati obavljati i daljnja istraživanja, to više, što do danas na tome modelu nije nitko vršio opsežnija istraživanja. Prema tome, na tom modelu morat će se vršiti i daljnja ispitivanja i poboljšanja, jer su u ovom istraživanju date vrijednosti od kojih je moguće krenuti dalje i uspoređivati ih, što danas pri strojnim obradama u proizvodnji namještaja ne postoji.

Izrada plana snimanja — Selection of recording plan

Spomenute podloge usmjerene su na mogućnosti izrade vremenskih standarda. Prema tome, sve dosadašnje opisane akcije mogu se smatrati pripremom za trenutak pristupa mjerenju vremena potrebnog za izvršenje pojedinog izlaza promatranog sistema čovjek — stroj. Standardni procesi rada koji su definirani i verificirani, omogućuju da se svaka operacija prati od početka do kraja. Vrijeme kao zajednička mjera toga praćenja bit će i jedino moguća mjera učešća rada izvršioca u pojedinim operacijama ili zahvatima. Kako bi se mogla prikupljati elementarna vremena, potrebno je obaviti planiranje snimanja. Za to je potrebno da se od ukupnog broja mogućih pojedinačnih snimaka izabere reprezentativan uzorak unutar krajnjih točaka raspona promatrane varijabilne veličine. Potrebno je odrediti podatke unutar raspona grupe, tako da pokrivaju cijeli raspon varijable. Očigledno je da će vremena za obradu svih ostalih dijelova konkretne grupe biti u granicama određenih maksimuma i minimuma i ovisiti o geometrijskoj složenosti dimenzija konkretnih dijelova.

Mjerenje vremena — Time measurement

Mjerenjem vremena rada odgovarajućim tehnikama utvrđuje se vremensko trajanje unaprijed određenih elemenata operativnog vremena i standardizira ih se. Samo mjerenje vremena sastoji se od tri faze:

- izbor metode mjerenja vremena,
- izbor i upotreba instrumenata snimanja,
- određivanje potrebnog broja snimaka.

Izbor metode mjerenja vremena — Selection of time measurement method

Pri provođenju snimanja prilikom ovih istraživanja, s obzirom na delikatnost njegova sadržaja rađeno je s nekoliko međusobno komplementarnih metoda, da bi se dobili što kvalitetniji i precizniji rezultati. To su:

1. Mjerenje pomoću kronometra elemenata stalnog i višestrukog ponavljanja istog izlaza ili operacije.
2. Izračunavanje vremena strojnih zahvata pomoću osnovne formule.
3. Unaprijed određena vremena za neke ručne zahvate.

Budući da su metode poznate zbog ograničenosti prostora za tisak, ovdje nisu iznesene.

Obrada i prikazivanje podataka — Processing of data and presentation of results

Obrada i prikazivanje podataka sastoji se od slijedećih faza:

1. Ispitivanje utjecajnih činilaca na veličinu operativnog vremena.
2. Sređivanje snimljenih podataka.
3. Obrada podataka
4. Prikazivanje podataka.

Ispitivanje utjecajnih činilaca — Examination of influential factors

Koeficijenti utjecaja karakterističnih utjecajnih činilaca (normalni ulazni elementi i dopunski ulazni elementi u sistem čovjek — stroj) osnovni su aspekt izgradnje odgovarajuće metodologije matematskog modeliranja vremenske dimenzije operativnog vremena. U toku istraživanja potrebno je utvrditi vrijednosti koeficijenata utjecajnih činilaca, pa je određeno da se struktura utjecaja pojedinih činilaca može prikazati prema ranijim istraživanjima autora (Figurić, 1974).

1. frekvencijom utjecajnih činilaca,
2. koeficijentom ponderiranja, koji uzima u obzir utjecaj pojedinih činilaca.

Sama analiza može biti dovoljna da pokaže da li će vrijeme za obavljanje jednog zadatka biti konstantno za sve poslove. Ako analiza pokaže da jedan element treba da bude konstantan i ako se pokaže da su dobivene iste veličine s malom promjenom između maksimalnih i minimalnih, onda se element može okvalificirati konstantnim.

Gdje god je moguće, odabrana vrijednost treba da bude ona koja je već determinirana u nekoliko različitih studija i koja je oko sredine izme-

du minimalnih i maksimalnih vrijednosti. Ako je prikupljeno dovoljno podataka, takve će se vrijednosti naći u većini slučajeva. Tamo gdje postoje neobjašnjivo velike varijacije i gdje se nijedna vrijednost ne ponavlja, potrebno je ili povećati broj snimaka ili utjecaj proglašiti slučajnim i za razmatranja neznačajnim.

Ulazni elementi u sistemu čovjek — stroj, kao što je rečeno, mogu biti konstantni i varijabilni. Analizirajući činioce koji se najčešće pojavljuju, a zajednički su za većinu promatranih radnih mjesta, operacija i zahvata, dolazi se do konstatacije da se oni mogu kategorizirati prema učestalosti pojavljivanja i vrsti utjecaja (Figurić, 1974).

Neznačajni utjecajni činioci — Unimportant influential factors

Neznačajni utjecajni činioci neznatno utječu na vrijeme potrebno za izradu nekog elementa radnog procesa. Do njih dolazi uglavnom slučajno, i ovdje nisu posebno tretirani.

Značajni utjecajni činioci — Important influential factors

Značajni utjecajni činioci dijele se na varijabilne i konstantne. Oni su bitni činioci koji utječu na duljinu trajanja operativnog vremena i u ovima, kao i ranijim autorovim istraživanjima (Figurić, 1974), isključivo su promatrani.

Konstantni (stalni) utjecajni činioci — Permanent influential factors

Konstantni utjecajni činioci su oni za koje se prilikom snimanja pretpostavlja da su nepromijenljivi. Kao karakteristične primjere konstantnih činioća navest će se slijedeći, koji se općenito grupiraju na ovaj način:

1. Činioci koji su povezani s nivoom organizacije rada (veličina serije, vrsta proizvodnje, snabdjevanje radnih mjesta, priučavanje, osposobljavanje radnika i njihova kvalifikaciona struktura),

2. Činioci koji su povezani s tehnološkom opremom procesa (naprave, alati, režimi rada itd.).

3. Činioci koji su povezani s organizacijom radnog mjesta (projektiranje uređaja na radnom mjestu, raspored predmeta u zoni radnog mjesta, transportna sredstva na radnom mjestu, tehnika sigurnosti, osvjetljenje itd.).

Varijabilni utjecajni činioci — Variable influential factors

Varijabilni utjecajni činioci dijele se u dvije osnovne grupacije: kvantitativne (mjerljive) i kvalitativne (opisne).

Kvantitativni (mjerljivi) utjecajni činioci — Quantitative (measurable) influential factors

Činioci koji su povezani s metodom rada (npr. dimenzije površine obrade, debljina, dužina, broj istovremeno obrađenih komada itd.) nazivaju se kvantitativni ili mjerljivi. Oni se dijele na podatke mjerljive mjernim veličinama i podatke mjerljive brojanjem (npr. broj istovremeno obrađivanih elemenata).

Kvalitativni (opisni) utjecajni činioci — Qualitative (descriptive) influential factors

Kvalitativni utjecajni činioci mogu se samo opisati i to izrazima, stavkama, odnosno skicama koje daju određenu ocjenu o pojedinim karakteristikama, odnosno pokazuju pojedine karakteristike po kojima se kvalitativni činioci razvrstavaju u razrede (grupe). Uspješnost pri ocjenama takvih kontakata zavisna je prije svega od iskustva i uvježbanosti osobe koja to radi, zatim od odgovarajućeg kriterija za vrednovanje, te od točnosti kojom se opisuju.

Tretiranje kvalitativnih činilaca najbolje se može objasniti na primjeru obrađivanja raznih profila na četverostranoj blanjalici.

U proizvodnji gdje se izrađuju deset različitih profila, mjerenjem vremena nije bilo moguće ustanoviti funkcionalnu ovisnost između nekih profila i operativnog vremena. Rješenje problema sastojalo se u tome da su profili razvrstani u četiri skupine (opisano), pa je sada svaka skupina prikazana u ovisnosti o operativnom vremenu, ali je sad vrijeme potrebno za obradu dvaju sličnih profila isto, bez obzira na vrst profila, pod uvjetom da spadaju u istu skupinu profila.

Analiza utjecaja pojedinih činilaca — Individual factor influence analysis

Na taj način definirani relevantni utjecajni činioci temelj su za kvantifikaciju. Na sistem čovjek — stroj utječe čitav niz činilaca, bilo izravno bilo posredno, a svi se ne mogu uključiti u analizu i zbog toga treba obaviti njihovu selekciju. Da bi se provela selekcija utjecajnih činilaca potrebno je:

- obaviti popis s opisom svih činilaca,
- obaviti stupnjevanje činilaca po značenju,
- nacrtati dijagram prioriteta (na ordinati označiti važnost činilaca u postotcima, a na apscisi broj činilaca).

Upotrebom metode ABC, izaberu se najutjecajniji činioci koji imaju 80—90 % značaja. Ostali se zanemaruju.

Pri izboru radnih mjesta na kojima su obavljena opažanja prvenstveno je bilo potrebno osigurati uvjete da se utjecajni činioci ne mijenjaju u toku snimanja. Naime, u ranijim istraživanjima autora (Figurić, 1974.), pri ispitivanju utjecajnih činilaca i determinirajući ih, ustanovljeno je da je osnovno pravilo prilikom određivanja standardnih vremena operacija stabilizacija što više utjecajnih činilaca, jer još uvijek postoji dovoljno varijabilnih činilaca koje je vrlo teško, odnosno praktički nemoguće, potpuno stabilizirati. Stabilizirajući sve utjecajne činioce i svodeći ih u normalne granice, još uvijek se mora imati na umu da jednom snimljeno, analizirano i izračunato vrijeme mora poslužiti kao realno mjerilo za ponovno izvođenje rada kojeg drugog izvršioca, a ne samo onoga snimljenog. Zato vrijedi postavka da će još uvijek ostati razlike između predviđenog i utrošenog vremena zbog slučajnog odstupanja srednje vrijednosti uzorka (snimak na temelju kojeg je izračunato vrijeme), oko prave srednje vrijednosti osnovnog skupa (izvođenje iste operacije od više raznih izvršioca rada).

Sređivanje snimljenih podataka — Assorting of recorded data

U ovome radu zadržano je osnovno načelo prikupljanja elementarnih vremena pri izradi standardnih vremena operacija na taj način, što je kartoteka podataka oformljena tako da su obuhvaćena sva radna mjesta, operacije i zahvati koji su snimani. Prema planu snimanja, snimatelji su odlagali snimačke listove u kartoteku (npr. svi snimci operacije ravnjanja bukovih elemenata presjeka 30 x 20 mm dolaze u svoj pretinac u kartoteci) i upisivali su snimljene rezultate u sumarni snimački list. Na taj način stvoren je fond podataka za izradu standardnih vremena. U sumarni snimački list podaci su unašani prema unaprijed određenim utjecajnim činiocima i uvrštavani su u određene rubrike. Postupak je bio slijedeći:

1. Srediti podatke prema potrebnim sortirnim kriterijima.
2. Vrednovati podatke i uspoređivati ih jedne s drugima.
3. Sjedinjavati podatke u logične cjeline.

Analiza snimljenih rezultata bitna je pri određivanju operativnih vremena, koja se svrstavaju u tabele ili dijagrame da bi se odredila standardna vremena operacije. Budući da se vremena za te podatke moraju više puta snimati, i to prilikom rada raznih operatora, kako bi se dobila zaista realna slika, unaprijed je jasno da svako novo snimanje vremena neće dati rezultate identične s prijašnjim snimanjem, pa čak ni ako se snima operacija od dva ili više radnika, iako je oni izvode na gotovo identičan način. Razlike u snimljenim vrijednostima mogu biti rezultat slučaja, no mogu biti i rezultat nekog vanjskog utjecaja koji je bitno izmijenio podatke o pojedinom zahvatu, odnosno operaciji.

Da bi u tim podacima bila operativna vremena koja će zaista odgovarati okolnostima pod kojima se obavljaju, moraju se dovoljno puta snimiti pojedini zahvati i operacije, i tek nakon analize tih snimljenih podataka mogu se uvrstiti u sumarne snimačke liste. Naime, potrebno je odrediti da li između dviju ili više snimljenih vrijednosti postoji neka bitna razlika ili je razlika posve slučajna. Odgovor da li između dva ili više snimljena vremena postoji bitna ili slučajna razlika proizlazi odatle, da li ona potječu iz istog osnovnog skupa ili ne. Ako se iz nekog homogenog osnovnog skupa izvadi nekoliko uzoraka dobit će se različite srednje vrijednosti i razne standardne devijacije. No ako se događaji u skupu odvijaju normalno, tj. samo pod djelovanjem slučaja, onda i rasipanja tih vrijednosti moraju biti u određenim granicama, jer se pokoravaju određenim zakonima. Baš to omogućuje da se ustanovi pripadaju li dva uzorka istom osnovnom skupu, iako im se vrijednosti aritmetičkih sredina i standardnih devijacija razlikuju. Pod pretpostavkom da se sve odvija normalno, tj. da djeluje samo slučaj, bit će i razvijanje pojedinih karakterističnih vrijednosti unutar nekih određenih granica, no ako su ta rasipanja veća, onda se uz određenu vrijednost smije zaključiti da se promatrani uzorci bitno razlikuju i da predstavljaju različite osnovne skupove. U takvim slučajevima razlike su signifikantne. Dva su skupa međusobno različita, ako se bitno razlikuju u srednjim vrijednostima, standardnoj devijaciji ili ako se razlikuju i u samo jednoj veličini.

Kriteriji za izbor snimaka prilikom izvođenja istih operacija s istim ulaznim parametrima koje su snimili više tehnologa studija rada s različitim rezultatima snimanja (n , \bar{x} , σ), bitne i slučajne razlike, računane su prema slijedećim relacijama:

Za razliku između srednjih vrijednosti za velike uzorke ako je:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sigma_{dif}} \geq 2$$
$$\sigma_{dif} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}$$

gdje su \bar{x}_1 i \bar{x}_2 srednje vrijednosti dvaju različitih uzoraka nekog osnovnog skupa. Razlike standardnih devijacija između dva različita uzorka bit će bitne ako je:

$$t = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_{dif}} \geq 2$$

gdje su σ_1 i σ_2 standardne devijacije dvaju različitih uzoraka nekog osnovnog skupa:

$$\sigma_{dif} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{2n_1} + \frac{\sigma_2^2}{2n_2}}$$

Velikim uzorcima smatraju se oni koji zadovoljavaju slijedeći uvjet:

$$(n_1 + n_2 - 2) > 30$$

Obrada podataka — Processing of data

Obrada snimljenih podataka sastoji se od dvije faze:

1. prethodna obrada snimljenih podataka i
2. matematsko-statistička obrada izabranih snimljenih podataka.

1. Prethodna obrada snimljenog materijala obuhvaćala je kontrolu i selekciju snimljenih podataka, te razvrstavanje i obračunavanje snimljenih vremena.

2. Matematičko-statistička obrada izabranih snimljenih podataka obavljena je pomoću elektroničkog digitalnog računala. Proračun je izvršen na elektroničkom računalu FACOM 230—45S japanskog proizvođača FUJITSU LTD. TOKYO:

- veličina glavne memorije 256 K bajtova
- operativni sustav OS 2
- programski jezik FORTRAN
- standardna funkcija za računanje metodom najmanjih kvadrata LSTSQD.

Pri izboru programa upotrebljena je metoda koja omogućuje brzu obradu podataka i izbor više različitih varijanti rješenja, što je jedan od uvjeta da se dobije najpovoljnija varijanta. Za izabrane funkcije za regresijsku analizu izrađen je program, te su izračunati algebarski izrazi, koji su zatim tabelarno prikazani.

Na slici 12 dat je grubi blok-dijagram programa.

Za zadane parove točaka $(X_i, Y_i, i = 1, n)$ vršena je aproksimacija metodom najmanjih kvadrata za funkcije oblika polinoma 1., 2., i 3. stupnja, tj.:

$$f(x) = A_1 + A_2x$$

$$f(x) = A_1 + A_2x + A_3x^2$$

$$f(x) = A_1 + A_2x + A_3x^2 + A_4x^3$$

Metoda najmanjih kvadrata traži da funkcija aproksimacije bude takva da je zbroj kvadrata odstupanja (razlika između zadanih Y_i i dobivenih $f(x_i)$) minimalna, dakle:

$$\sum_{i=1}^n (f(x_i) - y_i)^2 \rightarrow \text{MINIMUM}$$

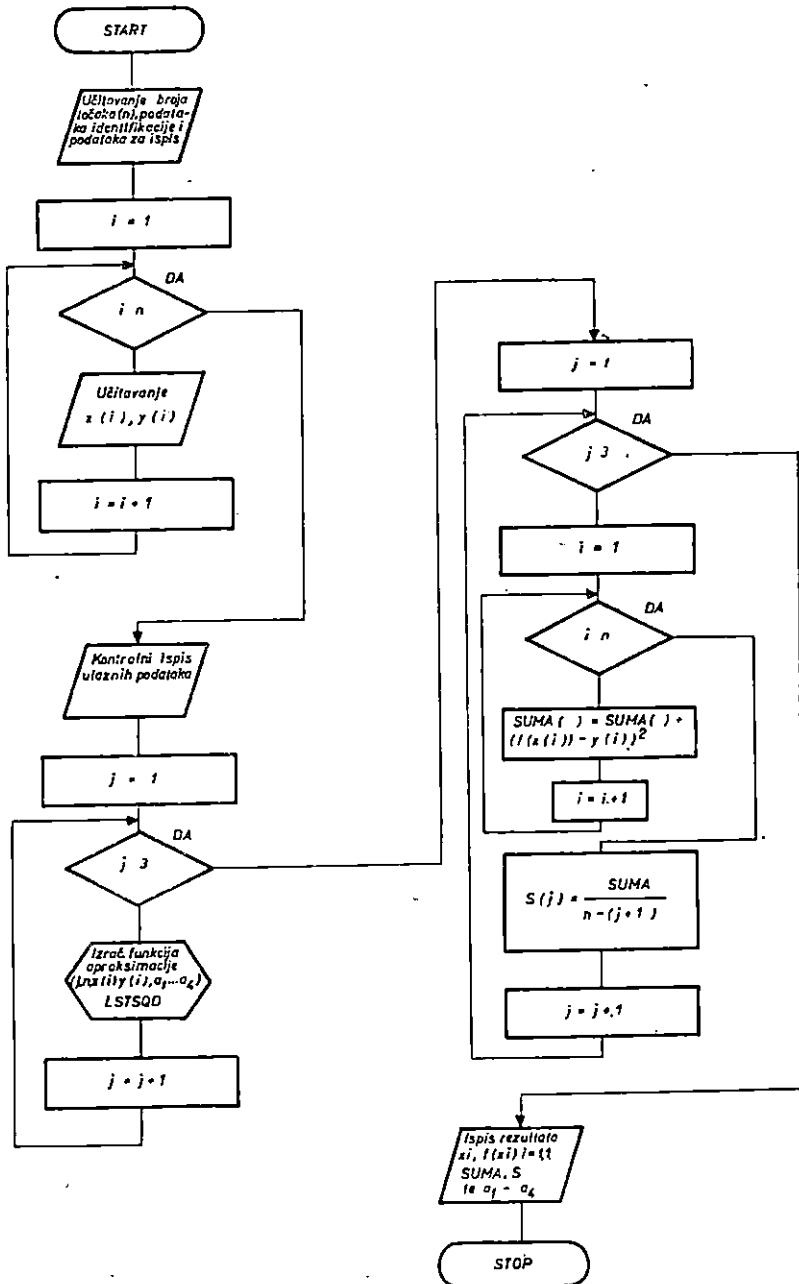
Ovaj se oblik uvođenja izraza za $f(x)$ i deriviranjem po koeficijentima A_1, A_2 , itd. svodi na sistem linearnih jednadžbi.

Metoda najmanjih kvadrata izabrana je zato što pokazuje vrlo dobre rezultate kada su x -ovi točno mjereni, a sve greške su unesene u y (npr. greške snimača, strojeva, radnika itd.). Rješenjem svih sistema jednadžbi dobivaju se koeficijenti $A_1 \dots A_4$ traženih funkcija. Za sve tri dobivene funkcije tabelarno su prikazane vrijednosti y za određeno zadano područje X , zbroj kvadrata odstupanja i standardno odstupanje.

REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA — RESEARCH RESULTS AND DISCUSSION

Rezultati istraživanja prikazani su po promatranim radnim mjestima i operacijama. Za izabrane funkcije oblika polinoma prvog, drugog i trećeg stupnja, a na osnovi snimljenih podataka, obavljena je aproksimacija metodom najmanjih kvadrata. Matematski modeli kao rezultati tih istraživanja dobiveni su na taj način što je programom na električnom računaru postavljeno da se za sva tri oblika funkcija izračunaju parametri (A_1, A_2, A_3, A_4) , zbroj kvadrata odstupanja i standardno odstupanje. Pod formiranjem matematičkog modela podrazumijeva se definiranje određenog broja tehnoloških, proizvodnih i organizacionih ovisnosti, u kojima traženi parametri predstavljaju optimalno rješenje s obzirom na polazne podatke za formiranje matematičkog modela.

Na osnovi izloženog izabran je u svakom konkretnom slučaju tip funkcije (i parametri) gdje je zbroj kvadrata odstupanja bio minimalan. Kod nekih objekata promatranja obavljeno je odstupanje od navedenoga, zbog toga što je naznačeno područje obrade bilo veće od područja odre-



Grubi blok-dijagram programa
CHART PROGRAMME

Sl.12-Fig.12.

denog planom snimanja, pa su krajnji dijelovi naznačenog područja obrade bili izvan područja određenog planom snimanja. Na taj su način operativna vremena za to područje dobivena ekstrapolacijom snimljenih podataka.

Naime, provjerom tako dobivenih rezultata, za operativna vremena i operativnih vremena iz prakse, naknadnom analizom uzima se prvi idući oblik određenih funkcija po istom kriteriju, ako su se dobiveni rezultati za naznačeno područje obrade pokazali nereálnim, a operativna vremena drugog oblika funkcije su pokazivala visok stupanj korelacije s operativnim vremenima iz prakse za istu vrijednost apscise.

Prilikom testiranja programa na elektroničkom računalu ustanovljeno je da se porastom broja članova polinoma znatno povećava složenost računanja s jedne strane, a s druge strane, smanjuje se mogućnost aplikacije metode, pa se zbog toga odustalo od takovih složenijih polinoma.

Kod nekih su operacija ulazni podaci zbog ograničenja prostora projektiranog obrasca bili podijeljeni sa 1000. Zbog toga je dobivene rezultate za parametre trebalo množenjem korigirati i to na slijedeći način:

$$A_2 \cdot 10^3$$

$$A_3 \cdot 10^6$$

$$A_4 \cdot 10^9$$

Takvi slučajevi obilježeni su posebnom oznakom (*).

Da bi rezultati istraživanja bili što preglednije izloženi, obavljena je sistematizacija radnih mjesta u strojnoj obradi namještaja po slijedećim grupama:

1. strojna obrada namještaja od masiva I
2. strojna obrada namještaja od masiva II
3. strojna obrada pločastog namještaja I
4. strojna obrada pločastog namještaja II

Pri određivanju ovih grupa osnov je bio tok tehnološkog procesa u strojnoj obradi proizvodnje namještaja.

Napominje se da su sva vremena u rezultatima izražena u stotim dijelovima minute.

Strojna obrada namještaja od masiva I — Machine making furniture of massive I

Jednolisna kružna pila — (Single) cross-cut circular saw

Na tom radnom mjestu učinjeno je ukupno 2610 snimaka. Snimano je na stroju tipa PCP—450, jugoslavenskog proizvođača BRATSTVO. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike stroja sa kojim je određen režim obrade su slijedeće:

| | |
|-------------------------|------------------|
| — mjere stola | 1 000 x 1 300 mm |
| — broj okretaja vretena | 3 000 o/min |
| — motor | 4 kW |
| — promjer lista pile | 250—450 mm |

- maksimalna širina reza 500 mm
- visina reza do 90 mm
- mogućnost nagiba stola do 45°
- ručni pomak.

Metoda rada kod promatrane operacije uzdužnog piljenja sastoji se od slijedećih zahvata:

1. uzimanje s palete (t_p -ruč.)
2. raspiljivanje (t_{os} -stroj.-ruč)
3. odlaganje na paletu (t_p -ruč.)

Rade dva radnika: osnovni kvalificirani i pomoćni polukvalificirani. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom su određeni najprikladniji izrazi za formiranje konačnog matematskog modela po promatranim operacijama, uz postavljena ograničenja, a dati su u tabeli 8. U jednadžbama parametar x predstavljen je dužinom (L) izraženom u milimetrima.

Tab. 8

| Šifra operacije Operation code | Matematski model — Mathematical model |
|-----------------------------------|---|
| 01 01 | $y = 0.5542 + 0.3786 \cdot 10^{-2} \cdot x + 0.7249 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0.1291 \cdot 10^{-8} \cdot x^3$ |
| 01 02 | $y = 7.180 + 0.4400 \cdot 10^{-2} \cdot x - 0.1567 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0.2333 \cdot 10^{-8} \cdot x^3$ |
| 01 03 | $y = 0.7957 + 0.4008 \cdot 10^{-2} \cdot x + 0.3359 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0.1476 \cdot 10^{-8} \cdot x^3$ |
| 01 04 | $y = 6.141 + 0.1049 \cdot 10^{-1} \cdot x - 0.4005 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0.2948 \cdot 10^{-8} \cdot x^3$ |
| 01 05 | $y = 8.817 + 0.9177 \cdot 10^{-2} \cdot x - 0.4896 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0.3771 \cdot 10^{-8} \cdot x^3$ |
| 01 06 | $y = 10.80 + 0.6812 \cdot 10^{-2} \cdot x + 0.1882 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0.7161 \cdot 10^{-8} \cdot x^3$ |
| 01 07 | $y = 7.159 + 0.9923 \cdot 10^{-2} \cdot x - 0.4928 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0.5330 \cdot 10^{-8} \cdot x^3$ |
| 01 08 | $y = 8.766 + 0.1775 \cdot 10^{-1} \cdot x - 0.1507 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0.7453 \cdot 10^{-8} \cdot x^3$ |
| 01 09 | $y = 11.32 + 0.1548 \cdot 10^{-1} \cdot x - 0.1055 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0.5408 \cdot 10^{-8} \cdot x^3$ |

Uspoređenje dobivenih operativnih vremena u ovim istraživanjima upoređeno je s dostupnim operativnim vremenima iz domaće i strane literature za uzdužno piljenje bukove piljene građe debljine 38—42 mm i širine 51—75 mm. Iz tabele 9 i 10 vidi se da je operativno vrijeme u odnosu na ova istraživanja prema:

Tab. 9

| | | |
|---------------|----------|-----|
| Blankensteinu | veće za | 44% |
| ČSSR — Šolaji | veće za | 49% |
| CNIIMOD-u | manje za | 6% |
| Starčeviću | veće za | 68% |

Tab. 10

| DUŽINA ELEMENTA LENGHT OF ELEMENT | OPERATIVNO VRIJEME OPERATIVE TIME | | | | | | | | | |
|--|--------------------------------------|-------|-------------|-------|--------|-------|-----------|-------|---------------------------------------|-------|
| | BLANKSTEIN | | ČSSR-ŠOLAJA | | CНИИМД | | STARČEVIĆ | | REZULT. ISTRAŽIV. RESEARCH RESULTS | |
| | MINUTE | INDEX | MINUTE | INDEX | MINUTE | INDEX | MINUTE | INDEX | MINUTE | INDEX |
| 200 | 0.21 | 191 | | | | | 0.17 | 155 | 0.11 | 100 |
| 400 | 0.22 | 183 | | | | | | | 0.12 | 100 |
| 500 | 0.23 | 177 | 0.200 | 154 | 0.130 | 100 | | | 0.13 | 100 |
| 600 | 0.24 | 171 | | | | | 0.23 | 164 | 0.14 | 100 |
| 700 | 0.25 | 167 | 0.255 | 170 | | | | | 0.15 | 100 |
| 800 | 0.26 | 173 | | | | | 0.27 | 160 | 0.15 | 100 |
| 900 | 0.27 | 169 | | | | | | | 0.16 | 100 |
| 1000 | 0.28 | 165 | 0.309 | 182 | 0.184 | 108 | 0.30 | 176 | 0.17 | 100 |
| 1250 | 0.29 | 138 | | | | | | | 0.21 | 100 |
| 1500 | 0.31 | 124 | 0.400 | 160 | 0.247 | 99 | 0.45 | 180 | 0.25 | 100 |
| 1750 | 0.35 | 129 | | | | | | | 0.31 | 100 |
| 2000 | 0.37 | 97 | 0.447 | 177 | 0.310 | 82 | 0.60 | 158 | 0.38 | 100 |
| PROSJEČNI INDEX MEDIUM INDEX | | 144 | | 149 | | 94 | | 168 | | 100 |

Ravnalica — Planing machine

Na tom radnom mjestu načinjeno je ukupno 1080 snimaka, od toga 390 snimaka bukovih piljenica širine do 65 mm, 420 snimaka širine 66—150 mm i 270 snimaka širine 151—200 mm. Snimano je na stroju tipa R-50, proizvođača BRATSTVO iz Zagreba. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike stroja kojim je određen režim obrade su slijedeće:

- dužina stola 2500 mm
- radna širina 500 mm
- vreteno sa 4 noža
- visina rezanja do 10 mm
- motor 3 kW
- vodilica podesiva
- mogućnost postavljanja uređaja za pomak.

Metoda rada kod promatrane operacije jednostranog poravnavanja sastoji se od slijedećih zahvata:

1. uzimanje s palete (t_p -ruč.)
2. poravnavanje (t_{os} -stroj.-ruč.)
3. odlaganje na paletu (t_p -ruč.)

Radi jedan kvalificirani radnik. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Tab. 11

| Šifra operacije Operation code | Matematski model — Mathematical model |
|-----------------------------------|---|
| 02 01 | $y = 2.408 + 0.1203 \cdot 10^{-1} \cdot x - 0.4765 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0.1920 \cdot 10^{-9} \cdot x^3$ |
| 02 02 | $y = 5.862 + 0.1962 \cdot 10^{-2} \cdot x + 0.5063 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 0.5875 \cdot 10^{-9} \cdot x^3$ |
| 02 03 | $y = 0.3632 + 0.1579 \cdot 10^{-1} \cdot x - 0.4581 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0.1961 \cdot 10^{-9} \cdot x^3$ |

Analizom su određeni najprikladniji izrazi za formiranje konačnog matematskog modela na promatranim operacijama uz postavljena ograničenja. Rješenja za pretpostavljene tipove funkcija data su u tabeli 11.

U jednadžbama parametar x predstavljen je dužinom (L) izraženom u milimetrima.

Uspoređenje dobivenih operativnih vremena kod operacije jednostranog poravnavanja bukovih elemenata debljine 38—42 mm i širine 60—80 mm u ovim istraživanjima obavljeno je s dostupnim operativnim vremenima iz domaće i strane literature. Iz tabele 12 vidi se da je operativno vrijeme u odnosu na ova istraživanja prema:

| | | |
|---------------|---------|-------|
| Blankensteinu | veće za | 198 % |
| ČSSR — Šolaji | veće za | 252 % |
| CNIIMOD-u | veće za | 69 % |
| Starčeviću | veće za | 108 % |

Debljača — Thicknessing machine

Na tom radnom mjestu načinjeno je ukupno 3270 snimaka. Snimano je na stroju tipa D-6, proizvođača BRATSTVO iz Zagreba. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike stroja s kojima se određen režim obrade su slijedeće:

- radna širina 630 mm
- maksimalna debljina obratka 250 mm
- brzina pomaka 8, 12, 15, 21 m/min
- motor 7,5 kW
- radno vreteno sa 4 noža,
- broj okretaja radnog vretena 5500 o/min

Tab. 12

| DUŽINA RAVNANJA LENGHT OF MAKE EVEN | OPERATIVNO VRIJEME OPERATIVE TIME | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------------------|-------|-------------|-------|--------|-------|-----------|-------|-----------------|-------|---------------------------------------|-------|
| | BLANKESTEIN | | ČSSR-ŠOLAJA | | CNIHMO | | STARČEVIĆ | | FABRICKI-LOBMAN | | REZULT. ISTRAŽIV. RESEARCH RESULTS | |
| | MINUTE | INDEX | MINUTE | INDEX | MINUTE | INDEX | MINUTE | INDEX | MINUTE | INDEX | MINUTE | INDEX |
| 400 | 0.18 | 257 | | | | | 0.10 | 143 | | | 0.07 | 100 |
| 500 | 0.19 | 238 | 0.260 | 325 | | | | | 0.243 | 304 | 0.08 | 100 |
| 600 | 0.22 | 244 | | | 0.090 | 100 | 0.15 | 167 | | | 0.09 | 100 |
| 750 | 0.29 | 299 | 0.375 | 375 | | | | | 0.294 | 294 | 0.10 | 100 |
| 800 | 0.30 | 300 | | | 0.203 | 203 | 0.21 | 210 | | | 0.10 | 100 |
| 1000 | 0.38 | 292 | 0.502 | 386 | 0.236 | 182 | 0.27 | 208 | 0.343 | 264 | 0.13 | 100 |
| 1200 | 0.47 | 358 | | | | | 0.31 | 221 | 0.425 | 304 | 0.14 | 100 |
| 1400 | 0.54 | 338 | | | | | 0.35 | 219 | | | 0.16 | 100 |
| 1500 | 0.58 | 342 | 0.620 | 385 | | | 0.37 | 218 | 0.545 | 321 | 0.17 | 100 |
| 2000 | 0.66 | 267 | 0.744 | 323 | 0.399 | 173 | 0.51 | 222 | | | 0.23 | 100 |
| PROSJEČNI INDEX MEDIUM INDEX | | 298 | | 352 | | 169 | | 208 | | 298 | | 100 |

Metoda rada kod operacije 01—05 sastoji se od slijedećih zahvata:

1. uzimanje s palete i ulaganje u stroj (t_p-ruč.)
2. blanjanje na mjeru I (t_{os}-stroj.)
3. okretanje i ponovno ulaganje (t_p-ruč.)
4. blanjanje na mjeru II (t_{os}-stroj.)
5. odlaganje na paletu (t_p-ruč.)

Kod operacija od 03 06 do 03 10 nema trećeg i četvrtog zahvata.

Rade dva radnika: osnovni kvalificirani i pomoćni polukvalificirani. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom su određeni najprikladniji izrazi za formiranje konačnog matematskog modela po promatranim operacijama za postavljena ograničenja, a navedeni su u tabeli 13. U jednadžbama je parametar x postavljen dužinom (L) izraženom u milimetrima. Kako je parametar x predstavljen samo dužinom (L), to se zavisno od kombinacija koje nastaju između dužine i širine blanjanja dobivaju vrijednosti operativnih vremena.

Uspoređenje dobivenih operativnih vremena u ovim istraživanjima na bukovim četvrtacima širine 56—75 mm obavljeno je s dostupnim operativnim vremenima iz domaće i strane literature. Iz tabele 14 vidi se da je operativno vrijeme u odnosu na ova istraživanja prema:

| | | |
|---------------|----------|------|
| Blankensteinu | veće za | 23 % |
| ČSSR — Šolaji | manje za | 2 % |
| CNIIMOD-u | veće za | 26 % |
| Starčeviću | veće za | 42 % |

Tab. 13

| Šifra operacije Operation code | Matematski model — Mathematical model |
|-----------------------------------|--|
| 03 01 | $y = 11.71 - 0.9322 \cdot 10^{-2} \cdot x + 0.1249 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 0.2769 \cdot 10^{-8} \cdot x^3$ |
| 03 02 | $y = 9.568 - 0.3688 \cdot 10^{-3} \cdot x + 0.8710 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 0.1869 \cdot 10^{-8} \cdot x^3$ |
| 03 03 | $y = 5.348 + 0.227 \cdot 10^{-1} \cdot x - 0.6050 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0.1554 \cdot 10^{-8} \cdot x^3$ |
| 03 04 | $y = 17.86 - 0.1178 \cdot 10^{-1} \cdot x + 0.2600 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 0.5815 \cdot 10^{-8} \cdot x^3$ |
| 03 05 | $y = 15.76 - 0.1722 \cdot 10^{-2} \cdot x + 0.2799 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 0.5599 \cdot 10^{-8} \cdot x^3$ |
| 03 06 | $y = 4.284 + 0.2822 \cdot 10^{-2} \cdot x + 0.1060 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 0.1651 \cdot 10^{-9} \cdot x^3$ |
| 03 07 | $y = 2.736 + 0.7801 \cdot 10^{-2} \cdot x - 0.2114 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0.5335 \cdot 10^{-9} \cdot x^3$ |
| 03 08 | $y = 3.633 + 0.8336 \cdot 10^{-2} \cdot x + 0.8025 \cdot 10^{-6} \cdot x^2 - 0.3980 \cdot 10^{-9} \cdot x^3$ |
| 05 09 | $y = 4.621 + 0.1034 \cdot 10^{-1} \cdot x + 0.6818 \cdot 10^{-6} \cdot x^2 - 0.2417 \cdot 10^{-9} \cdot x^3$ |
| 03 10 | $y = 5.302 + 0.1422 \cdot 10^{-1} \cdot x + 0.3348 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 0.9232 \cdot 10^{-9} \cdot x^3$ |

Tab. 14

| DUŽINA ELEMENTA LENGHT OF ELEMENT mm | OPERATIVNO VRIJEME OPERATIVE TIME | | | | | | | | | |
|--|--------------------------------------|-------|-------------|-------|---------|-------|-----------|-------|---------------------------------------|-------|
| | BLANKESTEIN | | ČSSR-ŠOLAJA | | CNIIMOD | | STARČEVIĆ | | REZULT. ISTRAŽIV. RESEARCH RESULTS | |
| | MINUTE | INDEX | MINUTE | INDEX | MINUTE | INDEX | MINUTE | INDEX | MINUTE | INDEX |
| 400 | 0.15 | 188 | | | | | 0.11 | 138 | 0.08 | 100 |
| 500 | | | 0.087 | 84 | 0.087 | 109 | | | 0.08 | 100 |
| 600 | 0.15 | 167 | | | | | 0.13 | 144 | 0.09 | 100 |
| 700 | | | 0.102 | 102 | | | | | 0.10 | 100 |
| 800 | | | | | | | 0.15 | 136 | 0.11 | 100 |
| 900 | | | | | | | | | 0.12 | 100 |
| 1000 | 0.15 | 115 | 0.136 | 105 | 0.152 | 117 | 0.17 | 131 | 0.13 | 100 |
| 1100 | 0.15 | 107 | | | | | | | 0.14 | 100 |
| 1200 | 0.15 | 100 | | | | | 0.19 | 127 | 0.15 | 100 |
| 1300 | 0.16 | 107 | | | | | 0.24 | 160 | 0.15 | 100 |
| 1500 | 0.18 | 106 | 0.171 | 101 | | | | | 0.17 | 100 |
| 1600 | 0.20 | 111 | | | | | 0.25 | 139 | 0.18 | 100 |
| 1800 | 0.22 | 116 | | | | | 0.28 | 147 | 0.19 | 100 |
| 2000 | 0.32 | 152 | 0.212 | 101 | 0.289 | 138 | 0.32 | 152 | 0.21 | 100 |
| PROSJEČNI INDEX MEDIUM INDEX | | 123 | | 98 | | 125 | | 142 | | 100 |

Analiza je vršena na operaciji jednostranog blanjanja na mjeru bukovih obradaka širine 56—75 mm.

Četverostrana blanjalica — Four sided planing machine

Na tom radnom mjestu načinjeno je ukupno 1440 snimaka. Snimano je na stroju tipa DSN-4 talijanske proizvodnje. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike stroja s kojim je određen režim obrade su slijedeće:

| | |
|--------------------------------|---------|
| — maksimalna radna širina | 140 mm |
| — minimalna radna širina | 15 mm |
| — maksimalna radna visina | 100 mm |
| — minimalna radna visina | 7 mm |
| — dužina stola za poravnavanje | 1600 mm |
| — minimalna dužina obratka | 350 mm |

| Radna vretena su | Ø trna | motor |
|------------------|--------|--------|
| donje | 30 mm | 3 kW |
| desno | 30 mm | 4 kW |
| lijevo | 30 mm | 4 kW |
| gornje | 30 mm | 5,5 kW |

— brzina pomaka podešavajuća od 3,5—20 m/min

Metoda rada kod promatrane operacije četverostranog blanjanja sastoji se od slijedećih zahvata:

1. uzimanje s palete i ulaganje u stroj (t_p -ruč.)
2. četverostrano blanjanje (t_{os} -stroj.)
3. odlaganje na paletu (t_p -ruč.)

Rade dva radnika: osnovni kvalificirani i pomoćni polukvalificirani. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Tab. 15

| Šifra operacije Operation code | Matematski model — Mathematical model |
|-----------------------------------|---|
| 04 01 | $y = 2.465 + 0.2328 \cdot 10^{-1} \cdot x - 0.4759 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 + 0.3228 \cdot 10^{-10} \cdot x^3$ |
| 04 02 | $y = 3.939 + 0.2326 \cdot 10^{-1} \cdot x + 0.6702 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 - 0.3399 \cdot 10^{-9} \cdot x^3$ |
| 04 03 | $y = 4.303 + 0.2594 \cdot 10^{-1} \cdot x - 0.1353 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 + 0.3885 \cdot 10^{-9} \cdot x^3$ |
| 04 04 | $y = 5.141 + 0.2873 \cdot 10^{-1} \cdot x - 0.1786 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 + 0.4533 \cdot 10^{-9} \cdot x^3$ |

Analizom su određeni najprikladniji izrazi za formiranje konačnog matematskog modela po promatranim operacijama uz postavljena ograničenja, a navedeni su u tabeli 15. U jednadžbama parametar x predstavljen je dužinom (L) izraženom u milimetrima. Kako je parametar x predstavljen dužinom blanjanja, to se zavisno od kombinacija koje nastaju između dužine, širine i debljine elemenata dobivaju vrijednosti operativnih vremena.

Poprečna kružna pila (povlačna) — Transversal circular saw (drag saw)

Na tom radnom mjestu učinjeno je ukupno 2700 snimaka. Snimano je na stroju tipa PP, jugoslavenskog proizvođača BRATSTVO. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike stroja s kojim je određen režim obrade su slijedeće:

| | |
|--|------------|
| — dubina reza | 110 mm |
| — dužina reza kod debljine obratka 25 mm | 480 mm |
| — radna glava podešavajuća pod kutom do 90° s obzirom na obradak | |
| — snaga el. motora | 2,75 kW |
| — broj okretaja | 3000 o/min |
| — pomak ručni. | |

Metoda rada kod promatrane operacije sastoji se od slijedećih zahvata:

1. uzimanje s palete i stavljanje na radni stol (t_p-ruč.)
2. prikraćivanje na točnu dužinu (t_{os}-stroj.-ruč.)
3. odlaganje na paletu (t_p-ruč.)

Radi jedan kvalificirani radnik. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom su određeni najprikladniji izrazi za formiranje konačnog matematskog modela za promatrane operacije uz postavljena ograničenja, a navedeni su u tabeli 16. U jednadžbama parametar x predstavljen je dužinom (L) u milimetrima. Kako je parametar x predstavljen dužinom elementa koji treba prikraćivati, to se vrijednosti za operativna vremena dobivaju zavisno od kombinacija između dužine reza i dužine elementa.

Tab. 16

| Sifra operacije Operation code | Matematski model — Mathematical model |
|-----------------------------------|--|
| 05 01 | $y = -0.3832 + 0.1999 \cdot 10^{-1} \cdot x - 0.9736 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0.3451 \cdot 10^{-8} \cdot x^3$ |
| 05 02 | $y = 0.2705 + 0.2030 \cdot 10^{-1} \cdot x - 0.8188 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0.3178 \cdot 10^{-8} \cdot x^3$ |
| 05 03 | $y = -1.014 + 0.3111 \cdot 10^{-1} \cdot x - 0.1525 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0.5276 \cdot 10^{-8} \cdot x^3$ |
| 05 04 | $y = -1.019 + 0.3409 \cdot 10^{-1} \cdot x - 0.1702 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0.5853 \cdot 10^{-8} \cdot x^3$ |
| 05 05 | $y = 0.2049 + 0.3315 \cdot 10^{-1} \cdot x - 0.1536 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0.5661 \cdot 10^{-8} \cdot x^3$ |
| 05 06 | $y = -0.6995 + 0.4409 \cdot 10^{-1} \cdot x - 0.2194 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0.7765 \cdot 10^{-8} \cdot x^3$ |

Uspoređenje dobivenih operativnih vremena u ovim istraživanjima na bukovim elementima debljine 25 mm, širine do 3 cm, obavljeno je s dostupnim operativnim vremenima iz domaće i strane literature za bukove obratke dimenzije 25 mm, debljine i širine do 30 mm. Iz tabele 17 vidi se da je operativno vrijeme u odnosu na ova istraživanja prema:

ČSSR — Šolaji veće za 69 %
 CNIIMOD-u manje za 17 %
 Fabrickij-Lobmanu veće za 4 %

Tab. 17

| DUŽINA ELEMENTA LENGHT OF ELEMENT mm | OPERATIVNO VRIJEME OPERATIVE TIME | | | | | | | |
|--|--------------------------------------|-------|----------|-------|------------------|-------|---------------------------------------|-------|
| | ČSSR-ŠOLAJA | | CNIIMOD. | | FABRICKIJ-LOBMAN | | REZULT. ISTRAZIV. RESEARCH RESULTS | |
| | MINUTE | INDEX | MINUTE | INDEX | MINUTE | INDEX | MINUTE | INDEX |
| 300 | 0.098 | 196 | | | | | 0.05 | 100 |
| 500 | 0.197 | 246 | | | | | 0.08 | 100 |
| 750 | 0.262 | 218 | | | 14.1 | 118 | 0.12 | 100 |
| 1000 | 0.316 | 225 | 0.16 | 114 | | | 0.14 | 100 |
| 1250 | 0.348 | 205 | | | 17.8 | 105 | 0.17 | 100 |
| 1500 | 0.382 | 191 | | | | | 0.20 | 100 |
| 1750 | 0.405 | 169 | | | 23.2 | 97 | 0.24 | 100 |
| 2000 | 0.431 | 149 | 0.20 | 69 | | | 0.29 | 100 |
| 2500 | 0.465 | 108 | | | | | 0.43 | 100 |
| PROSJEČNI INDEX MEDIUM INDEX | | 169 | | 83 | | 104 | | 100 |

Dvolisna formatna pila — Double dimensioning saw

Na ovom radnom mjestu učinjeno je ukupno 330 snimaka. Snimano je na stroju tipa TSA-200, talijanske proizvodnje CELASCHI. Osnovne tehnološko-konstruktivne karakteristike stroja s kojim je dat režim obrade su sljedeće:

| | |
|--|-----------------|
| — radna širina | 200—2500 mm |
| — obostrano na vertikalnim nosačima dolaze slijedeći agregati: | |
| predrezač — broj okretaja | 8400 o/min |
| snaga motora | 1,1 kW |
| pila s usitnjivačem — broj okretaja | 3000 o/min |
| snaga motora | 4 kW |
| kombinirana glodalica, broj okretaja | 3000/6000 o/min |
| snaga motora | 5,5 kW |
| — brzina pomaka podešavajuća | 3—25 m/min |

Metoda rada kod promatrane operacije prikraćivanje na mjeru sastoji se od slijedećih zahvata:

1. uzimanje s palete i ulaganje u stroj (t_p -ruč.)
2. prikraćivanje na mjeru (t_{os} -stroj.-ruč.)
3. odlaganje na paletu (t_p -ruč.)

Rade dva radnika: osnovni kvalificirani i pomoćni polukvalificirani. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom je određen najprikladniji izraz za formiranje konačnog matematskog modela uz postavljena ograničenja, a naveden je u tabeli 18. U jednadžbi parametar x predstavljen je dužinom L , izražen u milimetrima.

Tab. 18

| Šifra operacije Operation code | Matematski model — Mathematical model |
|-----------------------------------|--|
| 06 01 | $y = 14.87 - 0.2519 \cdot 10^{-1} \cdot x + 0.1496 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 - 0.6739 \cdot 10^{-7} \cdot x^3$ |

Automatski tokarski stroj — Fully automatic turning lathe

Na tom radnom mjestu načinjeno je ukupno 810 snimaka. Snimano je na stroju tipa HH-9, njemačke proizvodnje HEMPEL. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike stroja s kojim je određen režim obrade su slijedeće:

- stroj ima tri ugrađene glave,
- upravljan je hidrodinamičkim programiranim uređajem,
- uređaj za punjenje,
- šaržer je u sastavu stroja,
- uređaj za centriranje,
- ugrađena nožna kočnica vretena,
- maksimalni promjer obratka 80 mm
- maksimalna debljina obratka 900 mm
- snaga motora 5—7 kW
- snaga motora za pomak 2 kW

Metoda rada kod promatranih operacija sastoji se od slijedećih zahvata:

1. uzimanje obratka i stavljanje u šaržer (t_p-ruč.)
2. tokarenje (t_{os}-stroj.)
3. slaganje elemenata na paletu (t_p-ruč.)

Radi jedan kvalificirani radnik. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom su određeni najprikladniji izrazi za formiranje konačnog matematskog modela za promatrane operacije, uz postavljena ograničenja, a navedeni su u tabeli 19. U jednadžbama parametar x predstavljen je dužinom elementa koji se tokari, izraženom u centimetrima.

Tab. 19

| Šifra operacije Operation code | Matematski model — Mathematical model |
|-----------------------------------|--|
| 07 01 | $y = 28.33 + 0.6765 \cdot x + 0.2017 \cdot 10^{-2} \cdot x^2 - 0.1035 \cdot 10^{-4} \cdot x^3$ |
| 07 02 | $y = 8.719 + 0.8186 \cdot x - 0.2708 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 0.1998 \cdot 10^{-5} \cdot x^3$ |
| 07 03 | $y = -2.872 + 0.3231 \cdot x - 0.1494 \cdot 10^{-3} \cdot x^2$ |

Tokarska brusilica — Turning (lathe) sander

Na tom radnom mjestu načinjeno je ukupno 300 snimaka. Snimano je na stroju HH-9, njemačke proizvodnje HEMPEL. Stroj se upotrebljava alternativno u kombinaciji s automatom za tokarenje. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike stroja s kojim je određen režim obrade su slijedeće:

- automatsko prihvaćanje i centriranje elemenata do 88 mm ϕ
- maksimalna dužina obratka 900 mm
- brzina pomaka podešavajuća
- snaga motora 2,2 kW
- snaga motora za pomak 0,25 kW

Metoda rada kod promatrane operacije sastoji se od slijedećih zahvata:

1. uzimanje elemenata s palete (t_p-ruč.)
2. brušenje (t_{os}-stroj.)
3. odlaganje brušenih elemenata na paletu (t_p-ruč.)

Radi jedan kvalificirani radnik. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom je određen najprikladniji izraz za formiranje konačnog matematskog modela, uz postavljena ograničenja, a naveden je u tabeli 20. U jednadžbi parametar x predstavljen je dužinom tokarskog elementa izraženo u milimetrima.

Tab. 20

| Šifra operacije Operation code | Matematski model — Mathematical model |
|-----------------------------------|--|
| 08 01 | $y = 43.14 + 0.2918 \cdot x - 0.6247 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 + 0.6444 \cdot 10^{-6} \cdot x^3$ |

Strojna obrada namještaja od masiva II — Machine making furniture of massive II

Stolna glodalica — Table moulding machine

Na tom radnom mjestu načinjeno je ukupno 1740 snimaka. Snimano je na stroju tipa G-25, jugoslavenskog proizvođača BRATSTVO. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike stroja s kojim je određen režim obrade su slijedeće:

- izmjere stola 90 x 1100 mm
- promjer trna za glodalo ϕ 30 mm
- visina glodala 120 mm
- snaga elektromotora 4 kW
- broj okretaja 3000 i 5700 o/min
- ručni pomak

Metoda rada kod promatranih operacija sastoji se od slijedećih zahvata:

1. ulaganje i stavljanje u šablonu (t_p -ruč.)
2. glodanje (t_{os} -stroj.-ruč.)
3. vađenje iz šablone i odlaganje (t_p -ruč.)

Radi jedan kvalificirani radnik. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom su određeni najprikladniji izrazi za formiranje konačnog matematskog modela za promatrane operacije, uz postavljena ograničenja, a navedeni su u tabeli 21. U jednadžbama parametar x predstavljen je dužinom glodane kote izraženom u milimetrima.

Tab. 21

| Šifra operacije Operation code | Matematski model Mathematical model |
|-----------------------------------|--|
| 09 01 | $y = 24.40 + 0.9586 \cdot 10^{-2} \cdot x$ |
| 09 02 | $y = 50.07 + 0.2984 \cdot 10^{-1} \cdot x$ |
| 09 03 | $y = 11.69 + 0.3011 \cdot 10^{-1} \cdot x$ |

Stolna glodalica - visokoturažna — Table moulding machine with high slewing speed

Na tom radnom mjestu načinjeno je ukupno 1980 snimaka. Snimano je na stroju tipa Mf, jugoslavenskog proizvođača ŽICNICA. Osnovne kon-

struktivno-tehnološke karakteristike stroja s kojim je određen režim obrade su slijedeće:

- veličina radnog stola 1100 x 920 mm
- visina glodala 100 mm
- nagib radnog vretena -5° do $+45^{\circ}$
- broj okretaja radnog vretena 4500, 6000, 9000, 12000 o/min
- snaga pogonskog motora 6,1/7,5 kW
- pomak ručni

Metoda rada kod promatranih operacija sastoji se od slijedećih zahvata:

1. uzimanje s palete i ulaganje u šablonu (t_p -ruč.)
2. glodanje (t_{os} -stroj.-ruč.)
3. vađenje iz šablone i odlaganje (t_p -ruč.)

Radi jedan kvalificirani radnik. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom su određeni najprikladniji izrazi za formiranje konačnog matematskog modela za promatrane operacije, uz postavljena ograničenja, a navedeni su u tabeli 22. U jednadžbama je parametar x predstavljen dužinom glodane kote, izraženo u milimetrima.

Tab. 22

| Šifra operacije Operation code | Matematski model — Mathematical model |
|-----------------------------------|--|
| 10 01 | $y = 48.54 + 0.3222 \cdot 10^{-1} \cdot x - 0.6450 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0.6563 \cdot 10^{-9} \cdot x^3$ |
| 10 02 | $y = 15.54 + 0.3758 \cdot 10^{-1} \cdot x - 0.1073 \cdot 10^{-4} \cdot x^2$ |
| 10 03 | $y = 35.63 + 0.2907 \cdot 10^{-1} \cdot x$ |
| 10 04 | $y = 38.76 + 0.6936 \cdot 10^{-3} \cdot x$ |

Glodalica za izradu zubaca — Moulding machine for gear-teeth manufacture

Na tom radnom mjestu načinjeno je ukupno 600 snimaka. Snimano je na stroju tipa G-25, jugoslavenskog proizvođača BRATSTVO. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike stroja s kojim je određen režim obrade su već date u ranijem izlaganju.

Metoda rada kod promatranih operacija sastoji se od slijedećih zahvata:

1. uzimanje s palete i ulaganje u šablonu (t_p -ruč.)
2. glodanje (t_{os} -stroj.-ruč.)
3. vađenje iz šablone i odlaganje (t_p -ruč.)

Radi jedan kvalificirani radnik. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom su određeni najprikladniji izrazi za formiranje konačnog matematskog modela za promatrane operacije, uz postavljena ograničenja,

a navedeni su u tabeli 23. U jednadžbama parametrom x predstavljen je volumen (V) izražen u mm^3 . Kako je parametar x predstavljen kombinacijom umnožaka presjeka koji se gloda i dužine glodane kote, to se vrijednosti operativnih vremena dobivaju zavisno od navedenih kombinacija koje nastaju između tih dimenzija.

Tab. 23

| Šifra operacije Operation code | Matematski model — Mathematical model |
|-----------------------------------|--|
| 11 01 | $y = -19.53 + 2.151 \cdot x - 0.4294 \cdot 10^{-1} \cdot x^2 + 0.4236 \cdot 10^{-3} \cdot x^3$ |
| 11 02 | $y = 5.043 + 1.031 \cdot x - 0.9498 \cdot 10^{-2} \cdot x^2 + 0.9771 \cdot 10^{-4} \cdot x^3$ |

Horizontalna bušilica-jednovretena — Horizontal single-spindle boring machine

Na tom radnom mjestu načinjeno je ukupno 570 snimaka. Snimano je na stroju tipa BŠ-20, jugoslavenskog proizvođača BRATSTVO. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike stroja s kojima je određen režim obrade su sljedeće:

- veličina stola 300 x 500 mm
- dubina bušenja do 160 mm
- poprečni hod 250 mm
- vertikalni hod 200 mm
- snaga motora 2,2 kW
- broj okretaja 4500 o/min
- ručni pomak

Metoda rada kod promatranih operacija sastoji se od sljedećih zahvata:

1. uzimanje obratka s palete i stavljanje na radni stol (t_p -ruč.)
2. bušenje običnih (produžnih) rupa (t_{os} -stroj.-ruč.)
3. odlaganje na paletu (t_p -ruč.)

Radi jedan kvalificirani radnik. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom su određeni najprikladniji izrazi za formiranje konačnog matematskog modela po promatranim operacijama, uz određena ograničenja, a navedeni su u tabeli 24.

U jednadžbama parametar x predstavljen je brojem ulaza vretena u element koji se obrađuje.

Tab. 24

| Šifra operacije Operation code | Matematski model — Mathematical model |
|-----------------------------------|---|
| 12 01 | $y = 18.75 - 3.042 \cdot x + 4.750 \cdot x^2 - 0.4583 \cdot x^3$ |
| 12 02 | $y = 24.02 + 8.841 \cdot x + 0.6230 \cdot x^2 - 0.1850 \cdot 10^{-1} \cdot x^3$ |
| 12 03 | $y = 8.803 + 11.46 \cdot x + 0.4966 \cdot x^2 - 0.3374 \cdot 10^{-2} \cdot x^3$ |

Stolna tračna brusilica — Table belt sander

Na tom radnom mjestu načinjeno je ukupno 450 snimaka. Snimano je na stroju tipa UTB, jugoslavenskog proizvođača BRATSTVO. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike stroja s kojim je određen režim rada su sljedeće:

| | |
|---|---------------|
| — pomični stol | |
| — veličina stola | 2500 x 800 mm |
| — paralelno vođena papuča | |
| — uređaj za ispuhavanje trake | |
| — brzina trake 5, 10, 12, 23, m/sek | |
| — radna brzina za obradni režim u promatranom slučaju | 23 m/sek |
| — pogonski motor | 5,5 kW |
| — broj okretaja | 1450 o/min |

Metoda rada kod promatrane operacije kombiniranog brušenja plohe sastoji se od sljedećih zahvata:

1. uzimanje obratka s palete i stavljanje na stol (t_p -ruč.)
2. brušenje (t_{os} -stroj.-ruč.)
3. odlaganje na paletu (t_p -ruč.)

Radi jedan kvalificirani radnik. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom je određen najprikladniji izraz za formiranje konačnog matematskog modela, uz postavljena ograničenja, a naveden je u tabeli 25. U jednadžbi parametar x predstavljen je površinom brušenja izraženom u cm^2 .

Tab. 25

| Šifra operacije Operation code | Matematski model — Mathematical model |
|-----------------------------------|---|
| 13 01 | $y = 61.77 + 0.1319 \cdot 10^{-1} \cdot x + 0.8139 \cdot 10^{-7} \cdot x^2 + 0.3261 \cdot 10^{-10} \cdot x^3$ |

Širokotračna brusilica — Sander with wide belt

Na tom radnom mjestu načinjeno je ukupno 300 snimaka. Snimano je na stroju tipa EPS-3, njemačke proizvodnje ERNST. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike stroja s kojim je određen režim obrade su sljedeće:

| | |
|-------------------------------|------------|
| — radna širina | 1250 mm |
| — debljina obratka | 4—60 mm |
| — minimalna dužina obratka | 340 mm |
| — motor valjka za 1. brušenje | 5 kW |
| — motor valjka za 2. brušenje | 5 kW |
| — motor četke za otprašivanje | 2 kW |
| — brzina pomaka | 7—17 m/min |

Metoda rada kod promatrane operacije finog brušenja ploha sastoji se od sljedećih zahvata:

- uzimanje s palete (t_p-ruč.)
- brušenje (t_{os}-stroj.-ruč.)
- odlaganje na paletu (t_p-ruč.)

Rade dva radnika: osnovni kvalificirani i pomoćni polukvalificirani. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom je određen najprikladniji izraz za formiranje konačnog matematskog modela, uz određena ograničenja, a naveden je u tabeli 26.

Tab. 26

| Šifra operacije Operation code | Matematski model — Mathematical model |
|-----------------------------------|---|
| 14 01 | $y = 2.202 + 57.72 \cdot x - 35.49 \cdot x^2 + 8.832 \cdot x^3$ |

U jednadžbi parametar x predstavljen je površinom brušenja izraženo u mm². Kako je parametar x predstavljen dužinom i širinom elementa koji se brusi, to se, zavisno od kombinacija koje nastaju između tih dimenzija, iz cijelog područja primjene dobivaju vrijednosti operativnih vremena.

Kolutna brusilica s četkama — Circular disc sanding machine with a brush

Na tom radnom mjestu načinjeno je ukupno 330 snimaka. Snimano je na stroju tipa BB, jugoslavenskog proizvođača BELIŠĆE. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike stroja s kojima je određen režim obrade su sljedeće:

- izrada stroja sa dva vretena
- širina valjaka do 200 mm, ϕ 200 mm
- motor 1,5 kW
- broj okretaja 1800 o/min
- obodna brzina 19 m/sek

Metoda rada kod promatrane operacije finog brušenja zakrivljenih masivnih elemenata, sastoji se od sljedećih zahvata:

1. uzimanje s palete (t_p-ruč.)
2. fino brušenje (t_{os}-stroj.-ruč.)
3. odlaganje na paletu (t_p-ruč.)

Radi jedan kvalificirani radnik. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom je određen najprikladniji izraz za formiranje konačnog matematskog modela, uz postavljena ograničenja, a naveden je u tabeli 27.

Tab. 27

| Šifra operacije Operation code | Matematski model — Mathematical model |
|-----------------------------------|---|
| 15 01 | $y = 17.59 + 0.1680 \cdot 10^{-1} \cdot x + 0.1761 \cdot 10^{-6} \cdot x^2$ |

U jednadžbi parametar x predstavljen je dužinom elementa izraženom u milimetrima.

Trovaljčana brusilica — Triple drum sanding machine

Na tom radnom mjestu načinjeno je ukupno 270 snimaka. Snimano je na stroju tipa SC-1300, talijanske proizvodnje CREMONA. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike stroja s kojim je određen režim obrade su slijedeće:

- radna širina 1300 mm
- maksimalna debljina obratka 130 mm
- brzina pomaka 6—18 m/min
- radna brzina pomaka obradnog režima 10—12 m/min
- snaga motora po valjku 10 kW

Metoda rada sastoji se od slijedećih zahvata:

1. uzimanje s palete i ulaganje u stroj (t_p -ruč.)
2. brušenje (t_{os} -stroj.)
3. odlaganje na paletu (t_p -ruč.)

Rade dva radnika: osnovni kvalificirani i pomoćni polukvalificirani. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom je određen najprikladniji izraz za formiranje konačnog matematskog modela, uz postavljena ograničenja, a naveden je u tabeli 28.

Tab. 28

| Šifra operacije Operation code | Matematski model Mathematical model |
|-----------------------------------|--|
| 16 01 | $y = 2.951 + 92.41 \cdot x$ |

U jednadžbi parametar x predstavljen je površinom brušenja izraženom u m^2 .

Kako je parametar x predstavljen dužinom i širinom elementa koji se brusi, to se zavisno od kombinacija koje nastaju između tih dimenzija iz cijelog područja primjene dobivaju vrijednosti za operativna vremena.

Kolutna brusilica — Circular disc sander

Na tom radnom mjestu načinjeno je ukupno 360 snimaka. Snimano je na stroju talijanske proizvodnje FELISATTI. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike stroja s kojim je određen režim obrade su slijedeće:

- dva brusna koluta
- dimenzije koluta 140 mm širine ϕ 200 mm
- broj okretaja 1500 o/min
- motor 1,5 kW

Metoda rada kod promatrane operacije kombiniranog brušenja zaobljenih i zakrivljenih rubova i pobrušivanje bridova sastoji se od slijedećih zahvata:

- uzimanje s palete (t_p -ruč.)
- brušenje (t_{os} -stroj.-ruč.)
- odlaganje na paletu (t_p -ruč.)

Radi jedan kvalificirani radnik. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom je određen najprikladniji izraz za formiranje konačnog matematskog modela, uz postojeća ograničenja, a naveden je u tabeli 29.

Tab. 29

| Šifra operacije Operation code | Matematski model Mathematical model |
|-----------------------------------|---|
| 17 01 | $y = 43.86 + 0.9142 \cdot 10^3 \cdot x$ |

U jednadžbi parametar x predstavljen je površinom brušenja izraženo u m^2 . Kako je parametar x predstavljen širinom i dužinom elementa koji se brusi, to se zavisno od kombinacija koje nastaju između tih dimenzija iz cijelog područja primjene dobivaju vrijednosti za operativna vremena.

Stolna vertikalna tračna brusilica — Table vertical belt sander

Na tom radnom mjestu načinjeno je ukupno 390 snimaka. Snimano je na stroju tipa UNILEV, talijanske proizvodnje SCM. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike stroja s kojim je određen režim obrade su slijedeće:

- dimenzije pritisne vodilice 840 x 185 mm
- brzina trake 10—12 m/min
- motor 2,8 kW
- brusna traka širine 150 mm

Metoda rada kod promatrane operacije kombiniranog brušenja (brušenje ravnih rubova masivnih elemenata) sastoji se od slijedećih zahvata:

1. uzimanje s palete (t_p -ruč.)
2. brušenje (t_{os} -stroj.-ruč.)
3. odlaganje (t_p -ruč.)

Radi jedan kvalificirani radnik. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom je određen najprikladniji izraz za formiranje konačnog matematskog modela, uz postavljena ograničenja, a naveden je u tabeli 30.

Tab. 30

| Sifra operacije Operation code | Matematski model Mathematical model |
|-----------------------------------|--|
| 18 01 | $y = 27.08 - 1.579 \cdot 10^4 \cdot x$ |

U jednadžbi parametar x predstavljen je površinom koja se brusi, izraženom u m^2 . Kako je parametar x predstavljen dužinom i širinom elementa koji se brusi, to se zavisno od kombinacija koje nastaju između tih dimenzija iz cijelog područja primjene dobivaju vrijednosti operativnih vremena.

Strojna obrada pločastog namještaja I — Machine working out of board furniture I

Formatna podstolna pila — Dimensioning lower-table saw

Na tom radnom mjestu načinjeno je ukupno 270 snimaka. Snimano je na stroju tipa SUPERMATIC 76/M, talijanske proizvodnje GIBEN. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike stroja s kojim je određen režim obrade su slijedeće:

- maksimalna dužina reza pile 4500 mm
- maksimalna visina reza 90 mm
- brzina pomaka 7—21 m/min
- radna brzina pomaka u promatranim slučajevima 12 m/min
- brzina povrata pile 10—28 m/min
- promjer pile ϕ 350 mm
- broj okretaja pile 3500 o/min
- promjer pile za predrezivanje ϕ 125 mm
- snaga motora 7,5 kW
- podizni stol i uređaj za posluživanje
- obratci se pri rezanju pritežu pneumatskom pritiskom gredom

Stroj poslužuju tri radnika: osnovni kvalificirani i dva polukvalificirana pomoćna. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom je određen najprikladniji izraz za formiranje konačnog matematskog modela, uz postavljena ograničenja, a naveden je u tabeli 31.

Tab. 31

| Sifra operacije Operation code | Matematski model Mathematical model |
|-----------------------------------|--|
| 50 01 | $y = 16.03 - 0.8288 \cdot 10^{-2} \cdot x$ |

U jednadžbi parametar x predstavljen je dužinom rezanja izraženom u milimetrima.

Vertikalna formatna pila — Dimensional vertical saw

Na tom radnom mjestu načinjeno je ukupno 630 snimaka. Snimano je na stroju tipa 1331, njemačke proizvodnje HOLZHER. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike stroja s kojim je određen način obrade su sljedeće:

| | |
|--|------------|
| — maksimalna visina reza | 2000 mm |
| — dubina reza do | 60 mm |
| — mogućnost podešavanja pile pod kutom od i zakretanja agregata 180° | 0—45° |
| — pomak ručni | |
| — snaga motora | 1,7 kW |
| — broj okretaja pile | 5000 o/min |

Metoda rada kod promatrane operacije formatiziranja ploča sastoji se od sljedećih zahvata:

1. uzimanje s palete i postavljanje na vertikalni stol (t_p -ruč.)
2. rezanje (t_{os} -stroj.-ruč.)
3. odlaganje na paletu (t_p -ruč.)

Rade dva radnika: osnovni kvalificirani i pomoćni polukvalificirani. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom je određen najprikladniji izraz za formiranje konačnog matematskog modela, uz postavljena ograničenja, a naveden je u tabeli 32.

Tab. 32

| Sifra operacije Operation code | Matematski model — Mathematical model |
|-----------------------------------|---|
| 51 01 | $y = 22.15 + 60.22 \cdot x - 19.43 \cdot x^2 + 3.179 \cdot x^3$ |

U jednadžbi parametar x predstavljen je površinom elementa (ploča) koji se formatizira, izražen u m². Kako je parametar x predstavljen umnoškom dužine i širine ploče koja se formatizira, to se zavisno od kombinacija koje nastaju između tih dimenzija i cijelog područja primjene dobivaju vrijednosti operativnih vremena.

Spajačica furnira — Veneer jointer

Na tom radnom mjestu učinjeno je ukupno 1140 snimaka. Snimano je na stroju tipa FW-1150; njemačke proizvodnje KUPER. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike stroja s kojima je određen režim obrade su sljedeće:

- radna širina (od radne glave do stalka) 1150 mm
- brzina pomaka podešavajuća 10—30 m/min
- radna brzina pomaka prilikom snimanja 20 m/min
- sastavljanje furnira ljepljivim koncem

Metoda rada kod promatranih operacija sastoji se od slijedećih zahvata:

1. uzimanje s palete (t_p-ruč.)
2. sastavljanje prije spajanja (t_p-ruč.)
3. spajanje (t_{os}-stroj.-ruč.)
4. odlaganje na paletu (t_p-ruč.)

Radi jedan kvalificirani radnik. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom su određeni izrazi za formiranje konačnog matematskog modela, uz postavljena ograničenja, za promatrane operacije a navedeni su u tabeli 33. U jednadžbama parametar x predstavljen je dužinom spajanja izraženom u milimetrima.

Tab. 33

| Sifra operacije Operation code | Matematski model — Mathematical model |
|-----------------------------------|---|
| 52 01 | $y = 45.01 - 0.1003 \cdot x + 0.6100 \cdot 10^{-4} \cdot x^2$ |
| 52 02 | $y = 3.797 + 0.2539 \cdot 10^{-1} \cdot x + 0.1449 \cdot 10^{-5} \cdot x^2$ |
| 52 03 | $y = -0.6505 + 0.8323 \cdot 10^{-1} \cdot x - 0.1918 \cdot 10^{-5} \cdot x^2$ |

Višetažna hidraulična preša — Multi floor hydraulic presser

Na tom radnom mjestu načinjeno je ukupno 690 snimaka. Snimano je na stroju tipa HPE 250/6, jugoslavenskog proizvođača BELIŠĆE. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike stroja s kojim je određen režim obrade su slijedeće:

- dimenzije etažnih ploča 2500 x 1300 mm
- broj etaža 6
- svjetli otvor 70 mm
- ukupni pritisak 180 t
- specifični pritisak 6 kp/cm²
- broj cilindara 6
- brzina zatvaranja 14,5 mm/sek
- brzina prešanja 0,8 mm/sek
- pogonska snaga 4 kW

Metoda rada kod promatrane operacije sastoji se od slijedećih zahvata:

1. uzimanje s palete furnira i ploča (t_p-ruč.)
2. stavljanje i ulaganje za furniranje (t_p-ruč.)
3. furniranje (t_{os}-stroj.)
4. vađenje iz preše (t_p-ruč.)

Rade dva radnika: osnovni kvalificirani i pomoćni polukvalificirani. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom je određen najprikladniji izraz za formiranje konačnog matematskog modela, uz postavljena ograničenja, a naveden je u tabeli 34.

Tab. 34

| Šifra operacije Operation code | Matematski model — Mathematical model |
|-----------------------------------|--|
| 53 01 | $y = 35.34 + 24.44x + 222.6x^2 - 72.68x^3$ |

U jednadžbi parametar x predstavljen je površinom elementa izraženom u milimetrima. Kako je parametar x predstavljen umnoškom dužine i širine elementa koji se furnira, to se zavisno od kombinacija koje nastaju između tih dimenzija iz cijelog područja primjene dobivaju vrijednosti operativnih vremena.

Jednoetažna protočna preša — One floor uninterrupted presser

Na tom radnom mjestu načinjeno je ukupno 360 snimaka. Snimano je na stroju koji se sastoji od tri dijela. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike s kojim je određen režim obrade su slijedeće:

Stroj za nanošenje ljepila:

| | |
|----------------------------------|----------|
| Radna širina ljepila | 1300 mm |
| Minimalna dužina obratka | 300 mm |
| Minimalna debljina obratka | 80 mm |
| Proizvođač: BURKLE, tip VAK-1300 | |
| Brzina pomaka | 18 m/min |

Miješalica za ljepilo:

| | |
|---------------------------------|------------|
| Kapacitet posude za miješanje | 80—100 lit |
| Izvedba za hladno miješanje | |
| Proizvođač: BELIŠČE, tip ML-100 | |

Protočna preša s transporterom:

| | |
|----------------------------------|----------------------|
| Etaža dimenzije | 3300 x 1900 mm |
| Kontaktni pritisak do | 6 kp/cm ² |
| Uređaji za oblaganje hidraulički | |
| Proizvođač: PE-BO, Italija | |

Metoda rada kod promatrane operacije sastoji se od slijedećih zahvata:

1. uzimanje s paleta folija i ulaganje u stroj za nanošenje ljepila (t_p-ruč.)
2. mazanje (t_{os}-stroj.-ruč.)
3. uzimanje folija i formiranje ploča za prešanje (t_p-ruč.)

- 4. ulaganje na transporter prije prešanja (t_p-ruč.)
- 5. prešanje (t_{os}-stroj.)
- 6. odlaganje (t_{os}-stroj.)

Rade četiri radnika: osnovni kvalificirani i tri pomoćna polukvalificirana. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom je određen najprikladniji izraz za formiranje konačnog matematskog modela, uz postavljena ograničenja, a naveden je u tabeli 35.

Tab. 35

| Šifra operacije Operation code | Matematski model — Mathematical model |
|-----------------------------------|---|
| 54 01 | $y = 67.53 - 12.28 \cdot x + 0.8925 \cdot x^2 - 0.2132 \cdot 10^{-1} \cdot x^3$ |

U jednadžbi parametar x predstavljen je brojem elemenata u preši.

Dvovaljčana brusilica — Double drum sanding machine

Na tom radnom mjestu načinjeno je ukupno 330 snimaka. Snimano je na stroju tipa SNC 1300, talijanske proizvodnje CREMONA. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike s kojima je određen režim obrade su slijedeće:

- radna širina 1350 mm
- maksimalna debljina obratka 610 mm
- brzina pomaka podešavajuća 6—8 m/min
- radna brzina prilikom snimanja 10—12 m/min
- snaga motora 10 kW

Metoda rada kod promatrane operacije brušenja — egaliziranje sastoji se od slijedećih zahvata:

- 1. uzimanje s palete i ulaganje u stroj (t_p-ruč.)
- 2. brušenje — egaliziranje (t_{os}-stroj.)
- 3. odlaganje na paletu (t_p-ruč.)

Rade dva radnika: osnovni kvalificirani i pomoćni polukvalificirani. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom je određen najprikladniji izraz za formiranje konačnog matematskog modela, uz postavljena ograničenja, a naveden je u tabeli 36.

Tab. 36

| Šifra operacije Operation code | Matematski model Mathematical model |
|-----------------------------------|---|
| 55 01 | $y = 9.269 + 10.22 \cdot x + 36.02 \cdot x^2$ |

U jednadžbi parametar x predstavljen je površinom elementa izraženom u m². Kako je parametar x predstavljen umnoškom dužine i širine elementa, to se zavisno od kombinacija koje nastaju između tih dimenzija iz područja primjene, dobivaju vrijednosti operativnih vremena.

Automatski dvostrani profiler — Fully automatic double-end profiler

Na tom radnom mjestu načinjeno je ukupno 1510 snimaka. Snimano je na stroju tipa TSA-200, talijanske proizvodnje CELASCHI. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike s kojima je određen režim obrade su sljedeće:

- minimalna širina obratka 200 mm
- maksimalna širina obratka 2500 mm
- brzina pomaka 2,5—25 m/min
- radna brzina pomaka prilikom snimanja u proizvodnji kuhinja 12—15 m/min
- radna brzina pomaka prilikom snimanja u proizvodnji furniranog namještaja 18—20 m/min
- agregat za piljenje s podizačem

Metoda rada kod promatranih operacija sastoji se od sljedećih zahvata:

1. uzimanje s paleta (t_p -ruč.)
2. prolaz kroz stroj (t_{os} -stroj.)
3. odlaganje na palete (t_p -ruč.)

Rade dva radnika: osnovni kvalificirani i pomoćni polukvalificirani. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom su određeni najprikladniji izrazi za formiranje konačnog matematskog modela za promatrane operacije, uz postavljena ograničenja, a navedeni su u tabeli 37. U jednadžbama parametar x predstavljen je dužinom elementa izraženom u milimetrima.

Tab. 37

| Šifra operacije Operation code | Matematski model — Mathematical model |
|-----------------------------------|--|
| 56 01 | $y = 4.301 + 0.5728 \cdot 10^{-1} \cdot x - 0.5353 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0.1815 \cdot 10^{-7} \cdot x^3$ |
| 56 02 | $y = 4.094 + 0.9410 \cdot 10^{-2} \cdot x + 0.1087 \cdot 10^{-5} \cdot x^2$ |
| 56 03 | $y = 6.578 - 0.1974 \cdot 10^{-2} \cdot x + 0.1123 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 0.3028 \cdot 10^{-8} \cdot x^3$ |
| 56 04 | $y = 5.074 + 0.6288 \cdot 10^{-2} \cdot x$ |
| 56 05 | $y = 2.572 + 0.1759 \cdot 10^{-1} \cdot x$ |

Automatski stroj za oblaganje — Fully automatic veneer presser

Na tom radnom mjestu načinjeno je ukupno 1260 snimaka. Snimano je na stroju tipa ARIETE 5a/DI, talijanske proizvodnje MANEA. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike stroja s kojim je određen režim obrade su sljedeće:

Dimenzije obratka:

- minimalna širina 200 mm
- maksimalna širina 2000 mm
- debljina 8—50 mm
- debljina rubne obloge 0,2—10 mm
- brzina pomaka 6—32 m/min

Stroj sadrži:

- uređaj za prikraćivanje s obradom kosine
- glodalicu za grubu i finu obradu
- čistač za ljepljivo i polirane kolutove

Metoda rada kod promatranih operacija sastoji se od slijedećih zahvata:

- uzimanje s palete obratka i ulaganje u stroj (t_p-ruč.)
- obrada rubova (t_{os}-stroj.)
- odlaganje na paletu (t_p-ruč.)

Rade dva radnika: osnovni kvalificirani i pomoćni polukvalificirani. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom su određeni najprikladniji matematski izrazi za formiranje konačnog matematskog modela za promatrane operacije, uz postavljena ograničenja, a navedeni su u tabeli 38. U jednadžbama parametar x predstavljen je dužinom elementa izraženom u milimetrima.

Tab. 38

| Šifra operacije Operation code | Matematski model — Mathematical model |
|-----------------------------------|---|
| 57 01 | $y = 4.273 + 0.9158 \cdot 10^{-2} \cdot x + 0.1142 \cdot 10^{-5} \cdot x^2$ |
| 57 02 | $y = 7.655 - 0.1954 \cdot 10^{-2} \cdot x + 0.1423 \cdot 10^{-4} \cdot x^2$ |
| 57 03 | $y = 10.10 + 0.2081 \cdot 10^{-1} \cdot x - 0.5742 \cdot 10^{-5} \cdot x^2$ |

Automatski stroj za lijepljenje rubnih letvica — Fully automatic edge lipping and bonding machine

Na tom radnom mjestu načinjeo je ukupno 540 snimaka. Snimano je na stroju tipa KANTENANLEIMMASCHINE 350, njemačke proizvodnje HOLZ-HER. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike stroja s kojim je određen režim obrade su slijedeće:

- vruće i hladno jednostrano lijepljenje letvica
- debljina letvice do 25 mm
- maksimalna visina obratka do 66 mm
- minimalna širina obratka 75 mm
- brzina pomaka podešavajuća 10, 13, 16 m/min
- dvije glodalice; snaga motora 2 x 2,2 kW
- broj okretaja motora 9300 o/min
- dvije poprečne pile; snaga motora 2 x 0,75 kW
- broj okretaja motora 3000 o/min

Metoda rada kod promatrane operacije lijepljenje rubnih letvica sastoji se od slijedećih zahvata:

1. uzimanje s palete i ulaganje u stroj (t_p-ruč.)
2. obrada (t_{os}-stroj.)
3. odlaganje na paletu (t_p-ruč.)

Rade dva radnika: osnovni kvalificirani i pomoćni polukvalificirani. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom je određen najprikladniji matematski izraz za formiranje konačnog matematskog modela, uz postavljena ograničenja, a naveden je u tabeli 39. U jednadžbi parametar x predstavljen je dužinom elementa kojim se lijepi rubna letvica, izraženom u milimetrima.

Tab. 39

| Sifra operacije Operation code | Matematski model — Mathematical model |
|-----------------------------------|--|
| 58 01 | $y = 19.81 + 0.4013 \cdot 10^{-2} \cdot x + 0.5123 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0.4946 \cdot 10^{-9} \cdot x^3$ |

Glodalica — Milling machine

Na tom radnom mjestu načinjeno je ukupno 540 snimaka. Snimano je na stroju tipa G-25, čije su osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike s kojima je određen režim obrade date u prethodnim stavkama.

Metoda rada kod promatrane operacije sastoji se od slijedećih zahvata:

1. uzimanje s palete i postavljanje na radni stol glodalice (t_p-ruč.)
2. obrada (t_{os}-str.-ruč.)
3. odlaganje na paletu (t_p-ruč.)

Radi jedan kvalificirani radnik. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom su određeni najprikladniji izrazi za formiranje konačnog matematskog modela za promatrane operacije, uz postavljena ograničenja, a navedeni su u tabeli 40. U jednadžbama parametar x predstavljen je dužinom glodane kote, izraženom u milimetrima.

Tab. 40

| Sifra operacije Operation code | Matematski model — Mathematical model |
|-----------------------------------|---|
| 59 01 | $y = 13.89 + 0.4901 \cdot 10^{-2} \cdot x + 0.6391 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 0.2872 \cdot 10^{-7} \cdot x^3$ |
| 59 02 | $y = -9.067 + 0.8110 \cdot 10^{-1} \cdot x - 0.5756 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0.1602 \cdot 10^{-7} \cdot x^3$ |

Strojna obrada pločastog namještaja II — Machine working out of board furnitur

Naljevačica laka — Lacquer pouring machine

Na tom radnom mjestu načinjeno je ukupno 870 snimaka. Snimano je na stroju tipa M-81, njemačke proizvodnje HYMMEN. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike stroja s kojima je određen režim obrade su slijedeće:

| | |
|--|--------------|
| — radna širina | 1300 mm |
| — maksimalna debljina obratka | 100 mm |
| — minimalna dužina obratka | 300 mm |
| — širina podešavanja otvora za lijevanje | 0—3 mm |
| — brzina pomaka podešavajuća | 20—150 m/min |
| — radna brzina pomaka prilikom snimanja | 50—60 m/min |

Metoda rada kod promatrane operacije nalijeivanja laka sastoji se od slijedećih zahvata:

1. uzimanje s palete i ulaganje u stroj (t_p -ruč.)
2. prolaz kroz stroj (t_{os} -stroj.)
3. odlaganje na paletu (t_p -ruč.)

Rade dva radnika: osnovni kvalificirani i pomoćni polukvalificirani. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom je određen najprikladniji izraz za formiranje konačnog matematskog modela, uz postavljena ograničenja, a naveden je u tabeli 41.

Tab. 41

| Šifra operacije Operation code | Matematski model Mathematical model |
|-----------------------------------|--|
| 60 01 | $y = 6.225 + 31.69x - 11.31x^2 + 4.215x^3$ |

U jednadžbi parametar x predstavljen je površinom nalijeivanja laka izraženom u m^2 . Kako je parametar x predstavljen umnoškom dužine i širine elementa to se, zavisno od kombinacija koje nastaju između tih dimenzija, iz cijelog područja primjene dobivaju operativna vremena.

Dvovaljčana brusilica-egalizirka ploha — Double drum sanding machine

Na tom radnom mjestu načinjeno je ukupno 450 snimaka. Snimano je na stroju tipa EPS-3, njemačke proizvodnje ERNST. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike stroja s kojim je određen režim obrade su slijedeće:

| | |
|---|---------------|
| — dva brusna valjčana agregata promjera i četka za otprašivanje | ϕ 420 mm |
| — maksimalna radna širina | 1250 mm |
| — maksimalna debljina obratka | 60 mm |
| — minimalna debljina obratka | 4 mm |
| — brzina pomaka | 7—17 m/min |
| — radna brzina pomaka prilikom snimanja | 12 m/min |
| — snaga 2 motora | 2 x 5 kW |

Metoda rada kod promatrane operacije finog brušenja lakiranih ploha sastoji se od slijedećih zahvata:

1. uzimanje s palete (t_p -ruč.)
2. brušenje (t_{os} -str.)
3. odlaganje na paletu (t_p -ruč.)

Rade dva radnika: osnovni kvalificirani i pomoćni polukvalificirani. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom je određen najprikladniji izraz za formiranje konačnog matematskog modela, uz postavljena ograničenja, a naveden je u tabeli 42. U jednadžbi parametar x predstavljen je dužinom elementa izraženom u milimetrima.

Tab. 42

| Šifra operacije Operation code | Matematski model — Mathematical model |
|-----------------------------------|--|
| 61 01 | $y = 19.49 + 0.3482 \cdot 10^{-1} \cdot x + 0.1183 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 0.3787 \cdot 10^{-8} \cdot x^3$ |

Stolna tračna brusilica — Table belt sander

Na tom radnom mjestu načinjeno je ukupno 750 snimaka. Snimano je na stroju tipa UTB, jugoslavenskog proizvođača BRATSTVO. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike stroja s režimom obrade i metoda rada su date u prethodnim stavkama. Radi jedan kvalificirani radnik. Kibernetički model je zatvoreno radno mjesto.

Analizom je određen najprikladniji izraz za formiranje konačnog matematskog modela, uz postavljena ograničenja, a naveden je u tabeli 43.

Tab. 43

| Šifra operacije Operation code | Matematski model Mathematical model |
|-----------------------------------|--|
| 62 01 | $y = 5.749 + 11.02x + 3.771x^2 - 5.316x^3$ |

U jednadžbi parametar x predstavljen je površinom elementa izraženom u m^2 . Kako je parametar x predstavljen umnoškom dužine i širine elementa to se, zavisno od kombinacija koje nastaju između ovih dimenzija u području primjene, dobivaju vrijednosti operativnih vremena.

Diskusija — Discussion

Rezultatima ovih istraživanja dokazana je određena radna hipoteza da je u strojnoj obradi pri proizvodnji namještaja moguće izraditi, uz postavljena ograničenja, matematske i kibernetičke modele za sve vremenske dimenzije transformacionih procesa materijala u tehnološkom sistemu čovjek — stroj. Budući da je ovaj rad prvi kompleksni pokušaj rješavanja navedene problematike u proizvodnji namještaja, teško je dati usporedbe s rezultatima drugih istraživanja na svim radnim mjestima i operacijama za koje su dati matematski i kibernetički model. Uspoređenje dobivenih operacionih vremena u ovim istraživanjima obavljeno je s dostupnim operativnim vremenima iz domaće i strane literature. Iz analize pojedinih operacija i radnih mjesta proizlazi da je operaciono vrijeme u prosjeku, u odnosu na ova istraživanja, prema:

| | | |
|-------------------|-------------|--|
| Blankensteinu | veće za | 23 ⁰ / ₀ —198 ⁰ / ₀ |
| ČSSR — Šolaji | veće za | 49 ⁰ / ₀ —252 ⁰ / ₀ (osim jednog izuzetka) |
| Starčeviću | veće za | 42 ⁰ / ₀ —108 ⁰ / ₀ |
| Fabrickij-Lobmanu | veće za | 4 ⁰ / ₀ (mali uzorak) |
| CNIIMOD-u | kreće se od | —17 ⁰ / ₀ do + 69 ⁰ / ₀ |

Ovakve razlike mogu se tumačiti kod Blankenstein, Šolaje i Starčevića kao posljedica toga što su njihovi radovi rađeni u vremenskom periodu između 1959. i 1962. godine i što su rađeni na empirijskim istraživanjima, bez matematičkih izjednačenja podataka. To upravo potvrđuje i činjenicu da je rad na izradi standardnih vremena konstantan posao, jer tendencija razvoja tehnologije i organizacije povlači za sobom i smanjenje vremenske dimenzije transformacionog procesa materijala u sistemu čovjek — stroj. Međutim, rezultati prema CNIIMOD-u, koji su objavljeni 1973, pokazuju manje razlike u odnosu na ova istraživanja, iako su također rađena empirijskim metodama. To ujedno znači da će i rezultati ovih istraživanja razvojem tehnologije morati biti s vremenom korigirani. No, jedna od osnovnih vrijednosti rezultata izloženih u ovome radu jest činjenica da dobiveni rezultati mogu poslužiti kao temeljna vremenska dimenzija koja služi za usporedbu bilo danas u praksi bilo u budućnosti, kao determinirana vrijednost koja će moći poslužiti i kao osnova za registriranje bilo racionalizacije tehnologije, bilo racionalizacije organizacije radnog mjesta.

Druga osnovna vrijednost postavki izloženih u ovome radu jest činjenica što je ovo prvi pokušaj da se matematskim metodama sveobuhvatno pristupi problematici režima rada i operativnih vremena u strojnoj obradi pri proizvodnji namještaja, te da je razrađena metodologija koja do tih potrebnih podataka dolazi na racionalniji, brži i egzaktniji način nego što su danas upotrebljavani. Brzina dobivanja podataka je osigurana upotrebom elektroničkog računala, a predpostavljeni tipovi funkcija upravo su prilagođeni takvoj tehnici rada.

Mogućnost da se operacije iz plana rade određenim postupkom obrađuju na elektroničkom računalu i mogućnost da se programski uključe u kompleks poslova na području planiranja, kalkulacija, izvođenja i obračuna, dovodi do racionalizacije poslovanja i oslobađanja stručnog kadra od masovnog pisanja i računanja. Zbog toga ovaj rad treba promatrati kao pokušaj doprinosa novim shvaćanjima u cilju unapređenja rada drvno-industrijskih radnih organizacija. Prema tome, izložena metoda, uz primjenu elektroničkog računala, osnovna je vrijednost rada, jer je zadovoljen cilj tih istraživanja da se argumentima osvijetli značenje razvoja metoda istraživanja u studiju i analizi vremena, kao osnovnog preduvjeta unapređenja sistema čovjek — stroj, što je dio proizvodnog procesa.

Razmatranja dobivenih rješenja ukazuju da je izvjesna krutost koja se na prvi pogled nameće upotrebom ovih rezultata samo prividna. Eventualno neuklapanje u unaprijed definirane kriterije (režim rada, vrsta materijala, tehnološka ograničenja itd.) prije će ukazati na neadekvatno odabranu tehnologiju rada, opreme i nedovoljno proučiranu organizaciju rad-

nog mjesta, nego na »specijalno složene« uvjete u kojima »mora« izvođač raditi, jer nema drugog rješenja. Vremenske vrijednosti u tabelama u prilogu treba korigirati jedino koeficijentima, ukoliko su ulazi u sistem čovjek — stroj različiti od navedenih. Budući su to najčešće režimi obrade koji su determiniranog tipa, matematskim izrazima moguće je doći do traženog koeficijenta.

Sva operativna vremena izložena u ovome radu utrošak su vremena pri serijskoj proizvodnji, te se mogu upotrebljavati jedino za nju bez korekcionih faktora. Pod serijom se u ovome radu podrazumijeva ako se na jednom radnom mjestu u jednom navratu obradi 100—1000 obradaka ili sklopova. Osim toga to mora biti 100% kvalitetan rad, uz prosječnu kvalitetu materijala koji se obrađuje.

ZAKLJUČAK — CONCLUSION

Ova istraživanja sprovedena su u 8 radnih organizacija proizvođača namještaja, na 31-nom radnom mjestu, a snimano je 77 radnih operacija. Istraživanjem su obuhvaćeni različiti radnici s različitim radnim iskustvima, osobnim dohocima, navikama, stupnjem stručnosti i u različitim klimatskim okolnostima na radu, zbog čega su dobiveni rezultati reprezentativni za stvarno stanje u proizvodnji namještaja. Istraživane su sve vrste materijala u proizvodnji pločasta namještaja koje su u vrijeme snimanja obrađivane na radnim mjestima i bukovina u proizvodnji masiva, bez obzira na proizvođača, kvalitetu itd.

Na osnovi rezultata proračuna obavljenih na opisanim radnim mjestima i karakterističnim operacijama, određeni su konkretni oblici funkcionalne ovisnosti između režima rada, operativnog vremena i dimenzija dijelova koji se mogu obrađivati u odabranom tehnološkom sistemu čovjek — stroj. Matematičkom interpretacijom ovih ovisnosti za određeno područje obrade dobivene su dovoljno točne tehnološke podloge za praktičnu upotrebu. Analizom svih odredivih utjecajnih činilaca i kvantifikacijom njihovih vrijednosti za određenu vrstu obrade stvorene su realne osnove za formiranje sličnih modela i za druge vrste obrade. Time se ukazuje na mogućnost matematskih predočavanja stvarnih tehnoloških sistema koji su na taj način i s mnoštvom nepoznanica rješivi. Na osnovi iznijetog mogu se izvesti sljedeći zaključci:

1. Moguće je uz određena ograničenja izraditi matematske i kibernetске modele za sve transformacione procese pri strojnoj obradi u proizvodnji namještaja. Funkcionalne ovisnosti između operativnog vremena i najutjecajnijih činilaca mogu, uz određena ograničenja predočiti u vidu jednadžbi i primjeniti na području studija rada pri strojnoj obradi u proizvodnji namještaja. Utvrđivanje matematskih oblika ovih ovisnosti na osnovi snimljenih podataka bio je krajnji cilj ispitivanja za izabrana radna mjesta i operacije.

2. Ograničavanje područja matematskog izraza objektivna je granica primjene. Pri postavljanju jednadžbi nastojalo se svaki put zanemariti pojedinosti koje nisu bitne za određeni problem. Zbog toga izostavljanje nekih

ograničavajućih uvjeta može prouzročiti rezultate koji nisu potpuno relevantni za aktualnu situaciju, no takvi slučajevi svedeni su na najmanju mjeru dodatnim objašnjenjima.

3. Na osnovi teoretskih i praktičkih istraživanja koja su izložena, te zaključaka koji su izvedeni na osnovi provedenih analiza, u ovom je radu razrađena i izložena analitička metoda konstrukcije tipskih standardnih vremena operacija. Zahvaljujući takvim razmatranjima postavljene su osnove za analitički način određivanja operativnog vremena i omogućena je racionalna primjena u radnim organizacijama proizvođača namještaja. Ova metoda zasniva se na principu racionalnog određivanja operativnog vremena i univerzalnosti primjene pri strojnoj obradi u proizvodnji namještaja, uz primjenu na elektroničkom računalu FACOM 230—45. Iznijeti stavovi pokušaji su znanstvene verifikacije efikasnosti i funkcionalnosti određenih matematičkih modela na osnovi utvrđenog vremena za izradu predstavnika grupe dijelova. Prema tome, ova istraživanja su prilog objektivnijem određivanju operativnog vremena pri strojnoj obradi u proizvodnji namještaja.

4. Operativna vremena pri strojnoj obradi u proizvodnji namještaja na istim radnim mjestima, a u različitim radnim organizacijama drvne industrije, ista su u granicama određenih tolerancija i moguće ih je upotrebljavati u svrhu određivanja vremena izrade.

5. Zbog općenito nedovoljne zastupljenosti ove materije potrebna je daljnja razrada i za primjenu u više radnih organizacija proizvođača namještaja. U tom je smislu ovom radom učinjen jedan od početnih koraka u nastojanju ka što većoj primjeni iznijetih postavki, principa i rezultata istraživanja u praksi i time objektivnijeg operativnog vremena, odnosno vremena izrade i norme. To upućuje da se prikazani načini i postupci, uz nužan kritički osvrt, mogu koristiti i na druge slučajeve u praksi. Ostvarivanje takvih ciljeva bit će moguće samo ako se tokom daljnjeg rada i razvoja osiguraju posebni elementarni podaci.

6. Unatoč obimnosti materije, izradom priloženih tabela date su najneophodnije podloge i smjernice u oblicima pogodnim za daljnja istraživanja, razvoj i praktičku primjenu, a mogu poslužiti i kao upute za određivanja optimalnih režima rada i podloga za izbor redoslijeda operacija itd. Na taj način sakupljeni su podaci potrebni pri istraživanju, razradi i izračunavanju vrijednosti karakterističnih veličina tehnološkog sistema.

7. Prilikom obrađivanja i ispitivanja utjecaja pojedinih činilaca na veličinu operativnog vremena potrebno je napomenuti da je broj utjecajnih činilaca teoretski neograničen, pa ih se stoga mora ograničiti na karakteristične. Koliki će biti taj broj ovisi o složenosti i karakteru zahvata ili operacije. Stoga se za svako radno mjesto, odnosno operaciju, moraju posebno određivati karakteristični činilaci. Mnogi od njih su, međutim, karakteristični za sve ili većinu radnih mjesta, u većini radnih organizacija, a to olakšava selekciju utjecajnih činilaca. Iz navedenog slijedi da su poznavanje prirode utjecaja pojedinih činilaca i veličina njihova utjecaja uvjet za utvrđivanje režima rada i operativnih vremena, te se ovdje iznosi mišljenje da upravo na tom području treba vršiti daljnja istraživanja. U ovome

radu karakteristični utjecajni činioci pri strojnoj obradi proizvodnje namještaja za pojedine operacije i radna mjesta izabrani su na osnovi istraživanja autora u magistarskom radu, Figurić, 1974.

8. Uočavajući važnost, a sa željom da se ostvare realna standardna operativna vremena za pojedina radna mjesta, pri strojnoj obradi u proizvodnji namještaja, cilj je ovoga rada da potakne na razmišljanja o tome da se u radnim organizacijama drvne industrije pristupi organiziranoj akciji stvaranja elementarnih standardnih podataka o operativnim vremenima i režimima rada za pojedine operacije na pojedinim radnim mjestima. Zajedničkom akcijom racionalnog sređivanja metodom rada, određivanjem zajedničkih planova snimanja i akcijom koordiniranom s jednog mjesta, umanjio bi se problem nedostatka stručnih kadrova na tom području i postigli pozitivni rezultati u relativno kratkom vremenu. Kasniji zadatak u radnim organizacijama bi bio jedino da sami organiziraju snimanja dodatnih i pripremno-završnih vremena, jer ona ovise o nivou organizacije rada pojedinih radnih organizacija i potrebno ih je stalno pratiti i korigirati.

9. Kako je operativno vrijeme elementarne norme i kako će se vjerovatno rezultatima ovih istraživanja koristiti u operativi prilikom normiranja, ističe se i ovom prilikom stajalište da je radna norma isključivo organizaciono mjerilo, a nikako mjerilo za utvrđivanja osobnog dohotka zaposlenih.

10. Ovim radom ukazano je na još neke probleme uočene tokom istraživanja, ali nisu rješavani, jer bi njihovo rješavanje zahtijevalo nova dodatna istraživanja. Zato autor smatra da rad na tom problemu nije ovim završen, već ga treba nastaviti i proširiti. Želja je da ovaj rad bude poticaj da se na području studija i analize vremena vrše daljnja istraživanja toga problema s ciljem unapređenja proizvodnje u drvnjoj industriji.

LITERATURA — REFERENCES

- Blankenstein, C., 1956.: Holztechnisches Taschenbuch. Carl Hanser Verlag, München
- Blankenstein, C., 1959.: Stückzeitermittlung der Holzindustrie. Richtwerte und Kalkulationsbeispiele, München
- Borojević, S., 1974.: Metodologija eksperimentalnog naučnog rada. »Radivoj Čirpanov« — Novi Sad
- Bronštejn, L. N., Semendjajev, K. A., 1964.: Matematički priručnik za inženjere i studente. Tehnička knjiga, Zagreb
- Fabrickij, H. B., 1956.: Tehničeskoe normirovanie v lesopilno-derevoobrabatvajuščem proizvodstve, Moskva
- Fabrickij, H. B., Lobman, S. M., 1963.: Spravočnik normirovšika mebeljnogo proizvodstva — Goslesbumizdat, Moskva
- Figurić, M., 1974.: Utjecaj pojedinih činilaca na veličinu operativnog vremena na nekim strojevima u finalnoj obradi drva — Magistarski rad, Zagreb
- Jovanović, S., 1975.: Organizacija proizvodnje, II knjiga, ICS — Beograd
- Maynard, H. B., 1973—1975.: Industrijski inženjering, knjiga I, II, III i IV, Privredni pregled, Beograd
- Perić, A., 1966.: Proučavanje rada. ZPZ — Sarajevo
- Perović, B., 1965.: Proučavanje rada, mjerenje vremena i standarda vremena izrade kao baza za uvođenje tehnološke pripreme i povećanje produktivnosti rada, na nivou radnog mjesta, poduzeća i grane. Beograd

- Purić, V., 1970.: Priručnik za normiranje — mjerenje rada. Privredni pregled, Beograd
- Quick, J. H., 1962.: Work — factor time standards. New York — Toronto — London
- Radošević, D., 1975.: Teorija sistema i teorija informacija. Fakultet organizacije informatike — Varaždin, Varaždin
- Rajkov, M., 1945.: Elementi teorije sistema. Fakultet organizacionih nauka — Beograd
- REFA, 1974.: Lexikon des Arbeitsstudiums und der Planung und Steurund. Beut Verlag GmbH, Berlin
- Starčević, J., 1971.: Metod tabličnog normiranja. Zagreb
- Šolaja, V., 1962.: Tehničke norme i važnije upute za rad na nekim mašinama za finalnu obradu drveta. Poslovno udruženje, Sarajevo
- Taboršak, D., 1974.: Prilog objektivnijem određivanju vremena izrade — Doktorska disertacija, Zagreb
- Vodenik, F., 1969.: Studij i analiza vremena izrade. Tehnička knjiga, Zagreb
- Zaharov, N. N., 1964.: Tehničko normiranje procesa rada. »Panorama« — Zagreb
- Žaja, M., 1973.: Problematika sinteze teorije efikasnosti i teorije pouzdanosti sistema poduzeća. Strojarsstvo 3/4, Zagreb

MLADEN FIGURIĆ

WORK SCHEDULES AND OPERATION TIMES
WITH MACHINE WOODWORKING
IN FURNITURE MANUFACTURE*Summary*

The investigations stated out in this paper were conducted in 8 furniture producing enterprises at 31 working places and 77 working operations were analysed. In the research different workers with various working experience, income, habits, professional degree and in various microclimatic working conditions were included because of which the obtained results have been representative of the real situation in furniture manufacture.

Based on calculation results at described working places and at characteristic operations — definite forms of functional dependences of work schedule, operation time and part dimensions which may be processed in a chosen man-machine technological system have been determined. By mathematical presentation of these dependences for a definite field of woodworking rather precise technological terms for practical use in determining work times have been obtained.

So a real basis in forming similar models for other types of woodworking has been created by analysing all determinable factors of influence and by quantification of their values for a definite woodworking type. All this shows the possibility of mathematical presentation of definite technological systems which can be in spite of a lot of the unknown solved this way.

This work proves that it is possible to make mathematical and kibernetic models with certain restrictions for all transformational processes with machine woodworking in furniture manufacture. The restriction of mathematical term field sets an objective application limit. When setting equations it has been tried each time to neglect details not being essential for a given problem. Accordingly dropping out certain restrictive conditions may cause not entirely relevant results for present situation. However such cases are by additional explanations minimized.

Based on theoretical and practical investigations stated out here and on conclusions achieved by conducted analysis an analytic method of typical standard operation time construction has been worked out in detail. Owing to such considerations the basis for analytic way of operation time determination has been stated out so making a rational application in furniture producers working organizations possible.

The method is based on the principle of rational operation time determination using the electronic computer FACOM 230—45 data processing and on universal application with machine woodworking in furniture manufacture. These attitudes represent an attempt of scientific efficiency and functionality verification of so created mathematical models based on determined time for representative part groups manufacture. Accordingly these investigations have been a contribution to a more objective operation time determination with machine woodworking in furniture manufacture.

VLADIMIR SERTIĆ

FIZIKALNO-KEMIJSKA SVOJSTVA SMOLE
ALEPSKOG BORA
(*PINUS HALEPENSIS* MILL.)
DOBIVENE RAZLIČITIM TEHNOLOŠKIM
POSTUPCIMA

THE PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF GUM
OLEORESIN OF ALEPPO PINE
(*PINUS HALEPENSIS* MILL.) OBTAINED
BY VARIOUS TECHNOLOGICAL METHODS

U radu su istražene ekstraktivne tvari alepskog bora (*Pinus halepensis* Mill.) dobivene različitim tehnološkim postupcima: smolarenjem, ekstrakcijom sječke i kao sporedni produkt u toku proizvodnje celuloze. Istraživanja su provedena na uzorcima alepskog bora s lokaliteta: Rab, Hvar, Zadar i Makarska. Određena su fizikalno-kemijska svojstva terpentinskog ulja, kolofonija i tal ulja. Kvalitativna determinacija sastojaka terpentinskog ulja izvršena je plinsko-kromatografskom metodom na osnovu uspoređivanja vremena zadržavanja pojedinog standarda u odnosu na vrijeme zadržavanja α -pinena i internom standardizacijom s poznatim spojevima. Kvantitativna određivanja izvršena su postupkom normaliziranja površina dobivenih intergratorom u odnosu na vrijednosti površina smjese monoterpena poznatog postotnog sastava. Istraživanje sastava smolnih kiselina izvršeno je pomoću plinske i tanko-slojne kromatografije.

Ključne riječi: smola, kolofonij, terpentinsko ulje, terpeni, alepski bor, smolne kiseline, tal ulje, smolarenje, ekstraktivne tvari

UVOD — INTRODUCTION

U toku nekoliko posljednjih desetljeća, sve do 1973. godine kada je cijena nafte naglo porasla, nije se poklanjala dovoljna pažnja istraživanju kemijske prerade drva. Jedino je u SSSR-u postojao kontinuitet u istraživanju u toj oblasti.

U 1973. godini naglo je porastao interes za kemijskim tvarima dobivenim iz drva. Vidljivo je porastao broj objavljenih radova na osnovi završenih istraživanja, a zapažen je i broj međunarodnih konferencija s istom tematikom i velikim brojem sudionika.

Materijali s tih konferencija i druge publikacije, a posebno pažnja koju međunarodne organizacije poklanjaju kemijskim tvarima dobivenim iz drva, svjedoče o interesu koji za tu oblast vlada u cijelom svijetu.

Kemijski proizvodi koji se potencijalno mogu dobiti iz drva mogu se podijeliti u dvije kategorije:

1. tvari koje se stvaraju prirodnim putem
2. proizvodi degradacije drvene tvari

I za jednu i za drugu kategoriju kemijskih tvari razrađeni su programi istraživanja i brojni instituti u svijetu intenzivno rade na pronalaženju optimalnih postupaka u kemijskoj preradi kore, lišća, lignina, ekstraktivnih tvari, zatim na postupku plinifikacije, pirolize i hidrolize drva.

Sve češće se čuju mišljenja da će u budućnosti drvo biti osnovna sirovina za organsku sintezu.

Svi ti razlozi motivirali su i nas da se počnemo baviti ekstraktivnim tvarima alepskog bora, tim više što se zna da je to najraširenija vrsta u primorskom pojasu, a do sada nije provedeno istraživanje fizikalno-kemijskog sastava smole alepskog bora na znanstvenoj osnovi.

Inače, tu istu vrstu drva koriste za dobivanje smole zemlje koje su manje tehnički razvijene i imaju manje rasprostranjene površine alepskog bora.

Naša zemlja, kao veliki potrošač kolofonija za papirnu industriju, uvozi kolofonij iz susjednih zemalja (čak i iz Kine).

Do sada se alepski bor uglavnom smolario, a mogućnost da se ekstrakcijom dođe do smole, a zatim sječka upotrijebi za celulozu, nije kod nas obrađena.

S obzirom da se smola dobiva iz četinjača smolarenjem i ekstrakcijom, a poznavajući anatomsku građu četinjača i smještaj smolnih stanica odnosno smolnih kanala, pretpostavlja se da postoje razlike u svojstvima smole iz kambijskog dijela i sržnog dijela drva. Razlike mogu biti u fizikalnim i kemijskim svojstvima, odnosu terpena i smolnih kiselina, a svakako i u pratećim dijelovima kod smolarenja: nečistoće, voda, tanin, organske kiseline, a kod ekstrahirane smole i masne kiseline, fitosterini, pinosilvin, drvene gume i dr. Pri tome treba uzeti u obzir utjecaj svijetla, atmosferilija, godišnje doba i druge ekološke faktore.

Posebno se žele ispitati razlike koje postoje kod dva glavna proizvoda iz smole tj. kod terpentinskog ulja i kolofonija, a s obzirom na fizikalno-kemijska svojstva i tehnološko-upotrebnu vrijednost.

U svijetu se mnogi znanstvenici intenzivno bave istraživanjem ekstraktivnih tvari pojedinih vrsta drva, a u nas se tom području nije poklanjala dovoljna pažnja.

Ovim radom nastojali smo dati prilog izučavanju u ovom području kemijske prerade drva.

OPĆI DIO — GENERAL PART

Akcesorne tvari u drvu — Accesories in wood

Poznata je razlika između tvari koje tvore stijenku stanica (sastavljenih iz polisaharida i lignina) i akcesornih tvari. Akcesorne tvari ne ulaze u strukturu stijenke stanice ili srednje lamele. Mnoge od akcesornih tvari topive su u neutralnim organskim otapalima ili hladnoj vodi — to su ekstraktivne tvari.

Neke druge akcesorne tvari kao bjelančevine i anorganske tvari su djelomično ili potpuno netopljive u otapalima u kojima se otapaju ekstraktivne tvari.

U ekstraktivnim tvarima uključen je vrlo velik broj različitih sastojaka, od kojih su neki nađeni u većim količinama samo u nekim vrstama ili rodovima. Na taj način drvo je mnogo bolje karakterizirano prirodom i količinom ekstraktivnih tvari nego odnosom sastojaka koji tvore stijenku stanica (Brown i ng, 1967).

Ekstraktivne tvari nalaze se u kori, lišću i iglicama, grančicama, cvjetovima, plodovima i sjemenkama i često u većim količinama nego u drvu.

Istraživanja ekstraktivnih tvari u drvu motivirana su otkrivanjem i definiranjem novih organskih kemijskih struktura, taksonomskom klasifikacijom vrsta, procesima rasta drveća, potrebom za novim komercijalnim proizvodima i rješavanjem problema zaštite drva (Brown i ng, 1967).

Po Kurthu (Brown i ng, 1967) ekstraktivne tvari mogu se podijeliti na: 1. tvari koje destiliraju s vodenom parom, 2. tvari topljive u etil eteru, 3. tvari topljive u etilnom alkoholu i 4. tvari topljive u vodi.

U tvarima koje destiliraju s vodenom parom nalaze se: ciklički ugljikovodici (terpeni i terpenoidi), alkoholi, eteri, aldehidi, ketoni, kiseline, laktoni, alifatski ugljikovodici i fenoli.

Ekstraktivne tvari topljive u organskim otapalima su: smolne i masne kiseline i njihovi esteri, voskovi, neosapunjive tvari, boje i dr.

Tvari topljive u vodi su: anorganske soli, šećeri, polisaharidi, cikloze, ciklitoli i neke fenolne tvari. Neke od ovih tvari su više ili manje topljive u mnogim organskim otapalima.

Jedna od najvažnijih ekstraktivnih tvari je smola, koja se dobiva smolarenjem živih stabala. Po kemijskom sastavu smola predstavlja otopinu krutih smolnih kiselina i neosapunjivih tvari u terpentinskom ulju. Svježa smola u momentu izlaza iz smolnih kanala sadrži do 35 % terpena, svijetla je i prozirna tekućina. Na zraku terpentinsko ulje hlapi, smolne kiseline kristaliziraju, smola postaje gusta, pri tom se onečišćuje korom, insektima i vodom.

Tehnološki proces prerade smole sastoji se u destilaciji smole s vodenom parom. Na taj način se dobije komponenta koja destilira s vodenom parom — terpentinsko ulje i kruti ostatak — kolofonij.

Osim smole kao sirovina za dobivanje kolofonija i terpentinskog ulja služe panjevi i korijenje raznih vrsta borova.

Pripremljena sječka ekstrahira se organskim otapalima, a dobiveni ekstrakt dalje prerađuje radi proizvodnje terpentinskog ulja i kolofonija.

Treći način proizvodnje smolnih tvari je obrada crnogoričnih vrsta drva vodenim otopinama lužina pri sulfatnom i natronskom postupku proizvodnje celuloze. Na taj način smolne tvari dobivaju se kao sporedni proizvodi u obliku sulfatnog terpentinskog ulja i sulfatnih sapuna. Njihovim čišćenjem i daljnjom preradom dobiva se široki asortiman proizvoda koji služe kao zamjena za skuplje proizvode dobivene smolarenjem i ekstrakcijom.

Postupci za dobivanje ekstraktivnih tvari — Methods for the obtaining extractives

Smolarenje — Tapping

Smola alepskog bora, kao i svaka smola četinjača, nalazi se u drvnom tkivu, a nastaje u stanicama smolenicama. Skuplja se u smolnim kanalima, koji su, u stvari, tanke cjevčice i u vertikalnom smjeru mogu doseći dužinu do 1 m, a njihov promjer iznosi oko 0.1 mm. Smolni kanali koji se protežu u horizontalnom smjeru dugački su i do nekoliko centimetara, a promjer im je oko 0.05 mm. Vertikalni i horizontalni smolni kanali čine smolni sustav u stablu bora u kojem se smola kreće. U bijeli je smola tekuća, dok je u srži kruća (srž je i bogatija smolom).

Prema U g r e n o v i ć u (1928) na presjeku panjeva posječenih stabala bijel se nakon izvjesnog vremena prevuče krutom korom otvrdnute smole. Na srži te smole nema ili se nađe samo izuzetno. Razlika u konzistenciji uvjetovana je općim fiziološkim zadacima perifernog i centralnog dijela stabla. Periferni tj. kambijski dio vrši važne biokemijske reakcije koje omogućuju sve životne uvjete stabla, dok srž i centralni dijelovi imaju mehanički zadatak.

Tehnološka osnova smolarenja morala se prilagoditi osnovnim fiziološkim momentima stvaranja i kretanja smole u živom stablu.

Ranjavanjem stabla iz smolnih kanala istječe smola koja se skuplja u posude.

Kretanje smole u smolnim kanalima je vrlo sporo i odvija se po zakonima kapilariteta i viskoziteta. Nakon otvaranja smolnih kanala smola će najintenzivnije istjecati u prva 24 sata uz povoljnu temperaturu i relativnu vlažnost zraka.

Za smolarenje je povoljna temperatura iznad 10 °C, jer se pri nižim temperaturama smola teže kreće u stablu.

Da bi se spriječilo zatvaranje smolnih kanala, stalno se obnavljaju rane u cijelom toku smolarenja. Kod toga dolazi do borbe stabla da se zaštiti i nastojanja čovjeka da dobije što više smole. Biljka u cilju svoje zaštite na mjestu ranjavanja izlučuje smolu. Pri tom se stvaraju i novi smolni kanali tzv. »patološki smolni kanali« u kojima se stvaraju nove količine smole.

S obzirom da fiziološka produkcija patološke smole kod neprekidnog ranjavanja iscrpljuje životnu snagu stabla, to se u određeno vrijeme mora obustaviti smolarenje da se stablo oporavi ili se nastavi s intenzivnim smolarenjem, ako su smolarena stabla predviđena za sječu.

U toku smolarenja ne mijenja se sadržaj krute smole u srži. Izgleda da ona sudjeluje direktno u zaštiti perifernih rana, ali može se pretpostaviti da je ona rezervna obrana ako dođe do prodora mikroorganizama koji bi napali na sržni dio tj. umanjili mehanička svojstva stabla, a kasnije i oblovine.

Smolarenje je posljedica patoloških promjena u normalnom periferenom dijelu drva četinjača. Najmlađi godovi najaktivnije reaguju na ranjavanje njihovog tkiva i daju najviše smole. Isto tako dublje ranjavanje bijeli daje veći prinos smole. Sušenjem smole zaustavlja se proces istjecanja smole i rane treba obnavljati i proširivati.

S obzirom da sve vrste stabala ne reaguju na ranjavanje odnosno proizvodnju smole jednako, a s druge strane osnovno je da se ranjavanjem stvori što više patoloških smolnih kanala, to treba omogućiti što veći broj smolnih kanala na jedinici ranjene površine bijeli.

Na osnovi ovih konstatacija danas se smolarenje u praksi vrši na nekoliko načina.

Tehnološki postupci smolarenja — Technological methods of tapping

Postupak kod smolarenja sastoji se u tome da se pri dnu stabla skinu kora i drvo obrađuje jednom od metoda smolarenja. Na dnu rane — bjeljenice, učvrsti se pocinčani lim na koji se skuplja istekla smola, a zatim se smola cijedi u lončić (pocinčani, glineni ili plastični) koji je smješten ispod lima.

Postoje dva osnovna načina smolarenja: francuski i američko-njemački i niz modifikacija tih osnovnih postupaka. Razlike osnovnih postupaka su u veličini i izgledu bjeljenice.

1. Po francuskom postupku otvara se bjeljenica zakrivljenim nožem apšoom (l'hapchott) 20—50 cm iznad tla te odavle produžava okomito uz deblo. Širina bjeljenice je 14 cm, a dubina 1—1.5 cm, dok njena dužina tokom jedne godine smolarenja dostigne dužinu od 70 cm. Bjeljenica se obnavlja svaka 3—4 dana u periodu smolarenja.

2. Američko-njemački način, također, otvara ranu pri dnu stabla i produžuje uz stablo. Bjeljenica se sastoji iz jednog centralnog žljeba dubokog 2—2.5 cm koji teče u smjeru uzdužne osi debla, te nizu postranih rebara koji su nanizani pod kutem od 45° lijevo i desno od centralnog žljeba. Rana je široka oko 28 cm, a jednogodišnja rana obično je visoka oko 25 cm.

Ovdje je površina bjeljenica oko 2 puta veća nego kod francuske metode.

U Jugoslaviji se najviše smolari po francuskoj metodi, iako je u literaturi modificirana francuska metoda nazvana — jugoslavenska metoda.

Bjeljenice se, u pravilu, otvaraju na sjevernoj i južnoj strani stabla.

Prilikom smolarenja zapažene su velike razlike u prinosu smole između pojedinih smolarenih stabala. Istjecanje smole je zapravo rezultat reakcije stabla na ranjavanje. Međutim, na prinos smole utječu mnogi faktori. Neki se mogu regulirati: dimenzija stabla, broj i vrijeme zarezivanja,

oblik i smještaj bjeljenice, starost stabla. Na druge čovjek ne može utjecati: stanište, klima, individualne kvalitete stabla. Zapažene su razlike u prinosu do dvostruke količine smole.

Da bi se povećali prinosi smole, izvršeni su pokusi prskanjem bjeljenica kemijskim sredstvima. To je tzv. stimulirano smolarenje koje se pokazalo kao rentabilniji način za dobivanje smole.

Kod stimuliranog smolarenja bjeljenice se otvaraju na jedan od prije navedenih načina, prskaju se 40—60 %-tnom H_2SO_4 . Bjeljenice se obnavljaju svakih 8—10 dana.

Prskanjem s H_2SO_4 umrtvljuju se žive stanice koje okružuju otvor smolnih kanala. (One i inače prikazuju stalnu težnju stiskanja i zatvaranja čim unutrašnji pritisak smole samo malo popusti). Metoda stimulativnog smolarenja interesantna je za alepski bor jer omogućuje rad s kraćim otvorima rana, što je važno radi dužeg rada sa zemlje, jer su stabla alepskog bora kriva i krhka.

Oudin (1955) je u Francuskoj na osnovi pokusa u USA izvršio pokuse stimuliranog smolarenja prskanjem bjeljenice sa 40%-tnom H_2SO_4 . Pri tome se ne vrši zarezivanje bjeljenice. Istjecanje smole vrši se samo preko horizontalnih smolnih kanala jer su vertikalni nepovrijeđeni. Oudin smatra da povećanje prinosa smole stimuliranjem iznosi 25—30%. Druga prednost je u povećanom intervalu zarezivanja koji iznosi 14 dana.

Daljnja ispitivanja pokazala su da 40%-tna H_2SO_4 ne djeluje štetno na vitalnost smolarenih stabala, a i svojstva smole nisu smanjena u znatnijem opsegu.

Prema načinu izvođenja tehniku smolarenja u cilju iskorištenja sastojina možemo podijeliti na:

1. Smolarenje na živo, gdje se radi samo sa jednom bjeljenicom, a često se vrše prekidi smolarenja da se stablo ne iscrpi. Smolarenje na živo može trajati 30—40 godina prije sječe, a prestaje 4 godine prije sječe.

2. Smolarenje na mrtvo, a vrši se na stablima koja su predviđena za skoriju sječicu, bilo kao proreda, bilo kao zrela stabla. Smolarenje se vrši s više bjeljenica, a ukupno smolarenje traje oko 4 godine prije sječe.

3. Smolarenje crpljenjem je, u stvari, smolarenje na živo tj. sa jednom bjeljenicom, ali se provodi kroz jedan do tri perioda od 4 godine (10—15 godina). Vodi računa o deformaciji stabla.

Tehnološki proces prerade smole počinje čišćenjem smole, a zatim odjeljivanjem terpentinskog ulja. Čišćenje smole počinje otapanjem vrućom vodom. Istovremeno s otapanjem provodi se osvjetljavanje smole, u koju svrhu služi vodena otopina fosforne kiseline. Poslije odjeljivanja vodenog sloja u kojem se nalaze mehaničke nečistoće i filtriranja, smola se na kolonama razdjeljuje na terpentinsko ulje i kolofonij.

Ekstrakcija smolnih tvari iz drva — Extraction of resin substances from wood

Ekstrakcija terpentinskog ulja i kolofonija provodi se, uglavnom, iz panjeva raznih vrsta borova. Smola proizvedena na taj način zadovoljava potrebe standarde.

U tehnološki proces ulazili su panjevi koji su odležali 10—15 godina poslije sječe stabla. Međutim, kako se sve većom primjenom tehnike uništavaju mladice, prelazi se na korištenje svježih panjeva. To ima za posljedicu smanjenje količine smole i povišenje sadržaja masnih kiselina i neutralnih tvari, što se nepovoljno odražava na ekonomiku proizvodnje.

Panjevi se izvlače iz zemlje ručno, eksplozivom ili mehanički.

Poslije čišćenja od zemlje i truleža, panjevi se strojno prerade u sječku dimenzije 5—25 mm (Slavjanski i Mednikov, 1970).

Sječka se zatim ekstrahira otapalima, uglavnom s benzinom. U svrhu ekstrakcije smolnih tvari iz sječke otapalo mora prodrijeti u sječku. To se odigrava pod utjecajem kapilarnih sila, elektrokinetičkog potencijala koji se javlja pri prijelazu tekućina kroz kapilare i pod utjecajem sila difuzije para otapala koje difundiraju u zrak koji se nalazi u porama sječke.

Smolne tvari se otapaju u otapalu po zakonu mokelukarne difuzije (Slavjanski i Mednikov, 1970). Brzina otapanja ovisi o površini smolnih tvari, o gradientu difuzije koji je određen koncentracijom otapala i o temperaturi pri kojoj se vrši ekstrakcija.

Ta saznanja su novijeg datuma, jer se ekstrakcija smolnih tvari iz drva odvijala na empirijskoj osnovi.

Glavni faktori koji utječu na ekstrakciju u tehnološkom postupku su: način i stupanj usitnjenja sječke, vlažnost sječke, količina smolnih tvari u sječci, temperatura, pritisak, hidrodinamski uvjeti, vrijeme ekstrakcije i vrsta otapala.

Tehnološki postupci ekstrakcije — Technological methods of extraction

U tehnološkom procesu postoje tri vrste ekstrakcije: periodički, batchovski i kontinuirani (Slavjanski i Mednikov, 1970).

Svakim od ova tri postupka može se vršiti ekstrakcija pri atmosferskom ili povišenom tlaku, pri izmjeni volumena i pritiska, na hladno ili pri povišenoj temperaturi s cirkulacijom ili recirkulacijom otapala, s protokom sječke i otapala ili paralelno s predimpregnacijom sječke itd.

Dobiveni ekstrakt koji se, uglavnom, sastoji od otapala 90—92%, terpentinskog ulja 1.5—2%, kolofonija 7—8%, frakcionira se na odgovarajućim kolonama u svrhu proizvodnje produkata pogodnih za primjenu ili daljnju preradu.

Dobiveni ekstrakcijski kolofonij je tamne boje, niske temperature omekšanja i ne nalazi široku primjenu. Zato se ekstrakcijski kolofonij modificira radi povišenja temperature omekšanja i osvijetljava radi dobivanja kolofonija svijetlog standarda.

Zahvaljujući takovoj pripremi ekstrakcijski kolofonij se može upotrijebiti u celulozno-papirnoj industriji.

Istraživanja na području primjene ekstrakcijskog kolofonija i proširenja asortimana nastavljaju se posebno u SSSR-u.

Istraživanja su usmjerena i na pronalaženje novih sirovina, zatim na povećanje produkcije smole u stablima pred sječju tretiranjem pomoću kemijskih sredstava.

Smolne tvari kao sporedni proizvodi celulozne industrije — Resin substances as a by product of cellulose industry

Smolne tvari mogu se izvući iz drva obradom vodenim otopinama lužine. Pri sulfatnom i natronskom postupku dobivanja celuloze iz drva crnogoričnih vrsta smolne se tvari dobivaju kao sporedni produkti u obliku sulfatnog terpentinskog ulja i sulfatnih sapuna. Njihovim čišćenjem i daljnjom preradom dobiva se široki asortiman proizvoda: tal ulje, kolofonij, masne kiseline, talni sapun, fitosterin, dimetilsulfid, dimetilsulfoksid itd.

Smolne kiseline se za vrijeme sulfatnog kuhanja osapunjuju i u obliku topljivih natrijevih sapuna prelaze u crni lug. Masne kiseline i njihovi esteri, koji se nalaze u drvu u obliku glicerida oleinske, linolne, linolenske i palmitinske kiseline, tokom kuhanja se hidroliziraju i zatim osapunjuju i prelaze u crni lug također u obliku natrijevih sapuna. Uz sapune masnih i smolnih kiselina u crnom lugu se nalaze i neosapunjive tvari. Ova otopina smolnih tvari u crnom lugu predstavlja, zapravo, koloidni sistem. U određenim uvjetima, pod utjecajem elektrolita u lugu, natrijeve soli masnih i smolnih kiselina se koaguliraju i isplivaju na površinu crnog luga s koje se odstranjuju. Takav proizvod se naziva sirovi sulfatni sapun.

U sirovom sulfatnom sapunu nalaze se i manje količine neutralnih i oksidiranih tvari: lignin, mineralne tvari, metilsumporni spojevi, fenoli i druge tvari.

Tehnološki postupci prerade smolnih tvari — Technological methods of treatment of resin substances

Sirovi sulfatni sapuni obrađuju se sumpornom kiselinom u svrhu proizvodnje tal ulja koje predstavlja smjesu smolnih i masnih kiselina s neutralnim tvarima i proizvodima oksidacije crnog luga.

Tal ulje podvrgava se destilaciji i rektifikaciji, a dobiveni proizvodi upotrebljavaju se u industriji lakova, kemijskoj industriji i industriji celuloze i papira (Slavjanskij i Mednikov, 1970).

KEMIJSKI SASTAV I FIZIKALNA SVOJSTVA SMOLA — CHEMICAL COMPOSITION AND PHYSICAL PROPERTIES OF RESINS

S gledišta kemije smola dobivena smolarenjem predstavlja otopinu krutih smolnih kiselina u smjesi terpentina koje nazivamo terpentinsko ulje. Pored toga smola sadrži još i vodu, a i razne mehaničke primjese. U svježem stanju tj. neposredno dok izlazi iz smolnih kanala, sadrži oko 35—36% terpena, a ostalo je kiseli dio — kolofonij, voda i nečistoće. Na zraku, stajanjem, smola kristalizira, postaje neprovidna, gusta, odnosno po izgledu dobiva konzistenciju meda. U času sabiranja tj. kroz 3—6 dana sadržaj terpentinskog ulja opada do 16—20%. Kad smola, bogata terpentinskim uljem, stoji na zraku, u zatvorenoj posudi nastane na površini tekući sloj žute boje koji sadrži 50% terpentinskog ulja, a ispod njega nalazi se kiseli dio smole koji je gust i kristaliziran.

Odvajanje hlapljivih terpena od nehlapivih krutih kiselina provodi se destilacijom s vodenom parom ili destilacijom u vakuumu.

Osnovni princip rada je da se što više sačuva prvobitni kemijski sastav, izgled i fizikalna svojstva destilata — terpentinskog ulja i krutog ostatka — kolofonija.

Tokom prerade smola je vrlo osjetljiva i njezini sastojci vrlo lagano podliježu izomerizaciji, bilo pod utjecajem topline, kemikalija, bilo dužim stajanjem na svijetlu i zraku.

Kemijski sastav terpentinskog ulja — Chemical composition of turpentine

Terpentinsko ulje predstavlja smjesu terpena različitog sastava a empirijske formule $C_{10}H_{16}$. Sastav se više mijenja u kvantitativnom odnosu pojedinih terpena nego u njihovoj vrsti.

Na osnovi analize terpena, tj. po količini pojedinih terpena, ne može se odrediti iz koje vrste četinjača je dobiven terpentini koji se nalazi u trgovini. Razlog tome je što se već u toku smolarenja miješaju smole iz raznih vrsta drva, a zatim stajanjem na skladištu dolazi do promjena koje iskrivljuju sliku analize u odnosu na početni sastav u času destilacije.

Osim toga, na tržište dolazi terpentinsko ulje pod nazivima zemalja, a ne vrste drva: španjolsko, grčko, francusko, američko, sovjetsko, bugarsko itd.

U sastavu terpentinskog ulja nalaze se najčešće slijedeći monociklički i biciklički terpeni:

α -pinen, β -pinen, Δ^3 -karen, limonen, kamfen, mircen, α -terpinen, γ -terpinen, α -felandren, β -felandren, silvestren, terpinolen, zatim seskviterpeni (kadinen) i terpeni alkoholi empirijske formule $C_{10}H_{17}OH$ (terpineoli, borneoli i dr.).

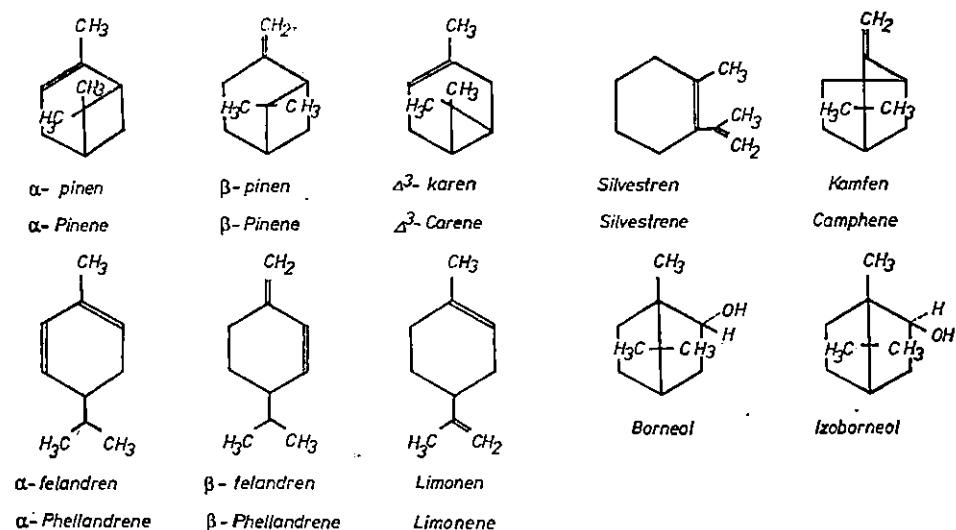
Vjerojatno je da ima više od 100 raznih organskih spojeva u terpentinskim uljima, od kojih je 30 poznatog sastava. Veći broj nepoznatih spojeva nađen je u vrlo malim količinama koje ne dozvoljavaju određivanje njihovih fizikalnih svojstava (M i r o v, 1961).

Fizikalna svojstva glavnih sastojaka terpentinskog ulja dani su u tablicama 1, 2 i 3.

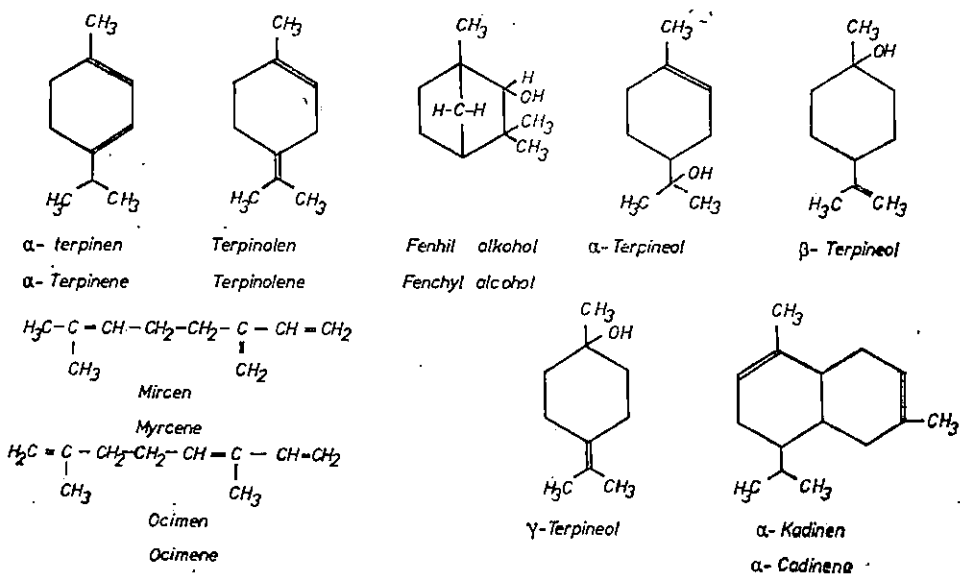
Kemijski sastav kolofonija — Chemical composition of rosin

Kolofonij se nakon prerade nalazi u amorfnom stanju, ali uz izvjesne uvjete rada u temperaturnom intervalu prelazi u kristalno stanje. U kristalnom stanju molekule su u prostoru raspoređene pravilno i ta pravilnost ponavlja se u svim smjerovima. Čestice su u ravnotežnom položaju povezane privlačnim i odbojnim interakcijskim silama obližnjih čestica.

Kao kod svih kristala, tako i kod kolofonija stvaranje kristala može se razjasniti na slijedeći način: kada se rastaljeni kolofonij hladi, srednja kinetička energija molekula opada. Kod neke određene temperature energija kretanja molekula nije više dovoljna da nadvlada privlačne sile među molekulama i one zauzimaju pravilan raspored u prostoru izgrađujući kris-



Sl. — Fig. 1. Strukturne formule terpena — Structural formulas of terpenes



Sl. — Fig. 2. Strukturne formule terpena — Structural formulas of terpenes

Tab. 1. Fizikalna svojstva spojeva u terpentinskom ulju (prema Slavjanskij, Mednikov, 1970.) — Physical properties of compounds of turpentine (after Slavjanskij, Mednikov, 1970.)

| | Vrelište Boiling point °C | Gustoća Density g/cm ³ | n _D ²⁰ | [α] _D ²⁰ |
|--|------------------------------------|---|------------------------------|--------------------------------|
| α-pinen — α-Pinene | 155—156 | 0.8578 | 1.4653 | +48 |
| β-pinen — β-Pinene | 162—163 | 0.8712 | 1.4786 | Od —22 Do —44 |
| Δ ³ -karen — Δ ³ -Carene | 170—171 | 0.8645 | 1.4723 | 17.1 |
| Dipenten — Dipentene | 175—176 | 0.8420 | 1.475 | 0.0 |
| Limonen — Limonene | 175—176 | 0.8420 | 1.475 | Od +123 Do —125 |
| Silvestren — Silvestrene | 176—177 | 0.848 | 1.476 | +66.3 |
| α-felandren — α-Phellandrene | 173—175 | 0.848 | 1.4769 | 84 |
| β-felandren — β-Phellandrene | 171—172 | 0.8413 | 1.4868 | — |
| α-terpinen — α-Terpinene | 173—175 | 0.835 | 1.4794 | 0.0 |
| Terpinolen — Terpinolene | 183—185 | 0.8623 | 1.486 | 0.0 |
| Kamfen — Camphene | 158—160 | 0.8422 | 1.4551 | +18 |
| Fenhil alkohol — Fenchyl alcohol | 201—202 | — | — | — |
| Borneol — Borneol | 214 | 1.01 | — | +37 |
| Izoborneol — Isoborneol | — | — | — | — |
| α-terpineol — α-Terpineol | 218—220 | — | — | — |
| Kadinen — Cadinene | 261—272 | 0.9183 | 1.5073 | —110.9 |

stale. Budući da su rastojanja među molekulama točno određena, to je i energija kristalnih rešetki točno određena. Posljedica toga je da kristali kolofonija imaju talište kod kojeg oscilatorna energija nadvlada energiju kristalne rešetke pa se ona raspada.

Međutim, kolofonij se u toku proizvodnje javlja, a to se i želi, u amorfnom stanju. Kao kod svih amorfnih stanja, tako i kod kolofonija ovaj oblik krute tvari nastane tako da viskozitet tekućeg stanja, koji se povećao sniženjem temperature, ne dozvoljava molekulama da se pravilno rasporede u prostoru pa čestice ostanu u onakvom položaju u kakvom su bile u tekućem stanju. Amorfno stanje je, u stvari, podhlađena tekućina u krutom stanju. Budući da podhlađeni kolofonij nema određeni raspored molekula, a ni sile nisu jednake određene veličine, to amorfno stanje kolofonija nema određeno talište kao kristalna tijela. Ona pri zagrijavanju najprije omekšavaju u jednom određenom intervalu temperature i poprimaju plastične osobine, a kada se pređe interval temperature, amorfni kolofonij prelazi u tekuće stanje.

Kolofonij je metastabilan, što znači da može preći iz amorfnog stanja u stabilnije kristalno stanje, ako se za takav prelaz stvore uvjeti. Ako kolofonij stoji duže na zraku ili je izložen djelovanju sunčanog, a naročito ultravioletnog svjetla, tada dolazi do zamućenja odnosno neprovidnosti jer se stvaraju kristali. Često se ovo stanje ne uočava jasno.

Tab. 2. Fizikalna svojstva terpena (prema Gluhareva i dr., 1974.) — Physical properties of terpenes (after Gluhareva et al., 1974.)

| | Gustoća Density d_4^{20} | Talište Melting point °C | Vrelište Boiling point °C | n_D^{20} | $[\alpha]_D^{20}$ |
|---|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------|--------------------|
| dl-kamfen dl-Camphene | 0.879 | 50 | 160—161 | — | — |
| d-kamfen d-Camphene | 0.8466 ⁵⁰ | 51 | 160—162 | 1.4606 ⁵⁰ | +99.60 |
| l-kamfen l-Camphene | 0.8425 ⁵⁴ | 51.5—52 | 159—160 | 1.4564 ⁵⁴ | —137.1 |
| d- Δ^3 -karen d- Δ^3 -Carene | 0.8650 | — | 170—171 | 1.4722 | +18.25 |
| l- Δ^3 -karen l- Δ^3 -Carene | 0.8606 ^{30/30} | — | 166—167 | 1.4684 ³⁰ | —5.3 ³⁰ |
| dl-limonen dl-Limonene | 0.8462 0.8435 | —89.03 | 180—182 176.5 | 1.4740 1.4726 | 0.0 |
| d-limonen d-Limonene | 0.8419 | — | 177.7 | 1.4726 | +126.8 |
| l-limonen l-Limonene | 0.8422 | — | 177.7 | 1.4725 | —126.3 |
| dl- α -pinen dl- α -Pinene | 0.8576 | —55 | 155—156 ⁷⁴¹ | 1.4654 | 0.0 |
| d- α -pinen d- α -Pinene | 0.8585 | —50 | 155 ⁷⁵⁵ | 1.4657 | +51.3 |
| l- α -pinen l- α -Pinene | 0.8562 | — | 155—156 ⁷⁴⁰ | 1.4642 | —51.27 |
| d- β -pinen d- β -Pinene | 0.8673 | — | 162—163 | 1.4775 | +29.53 |
| l- β -pinen l- β -Pinene | 0.8709 | — | 167 | 1.4786 | —23.4 |
| α -terpinen α -Terpinene | 0.8403 0.8443 | — | 174; 180 | 1.4690 1.4720 | — |
| γ -terpinen γ -Terpinene | 0.8490 | — | 178—179 180 | 1.4785 ¹⁸ | — |
| dl- α -felandren dl- α -Phellandrene | 0.841 ²² | — | 175—176 | 1.4771 | 0.0 |
| d- α -felandren d- α -Phellandrene | 0.8410 ²² | — | 175—176 | 1.4771 | +115 ¹⁵ |
| l- α -felandren l- α -Phellandrene | 0.8324 | — | 173—175 | 1.4732 | —177.4 |
| d- β -felandren d- β -Phellandrene | 0.8562 | — | 170—172 | 1.4775 | +18.54 |
| l- β -felandren l- β -Phellandrene | 0.8409 | — | 175—177 | 1.4882 | —15.8 |

Tab. 3. Fizikalna svojstva terpena (prema Klein, 1932.) — Physical properties of terpenes (after Klein, 1932.)

| | Gustoća Density d_D^{20} | Vrelište Boiling point °C | n_D^{20} | $[\alpha]_D^{20}$ |
|-----------------------|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| α -terpinen | 0.8353 ^{18,9} | 175 | 1.4792 ^{18,9} | — |
| α -Terpinene | | | | |
| γ -terpinen | 0.853 ¹⁵ | 183 | 1.4765 ^{14,5} | — |
| γ -Terpinene | | | | |
| α -felandren | — | 67—68 ²² | 1.4725 ²⁵ | — |
| α -Phelandrene | | | | |
| β -felandren | 0.8520 | 57 ¹¹ | 1.4788 | — |
| β -Phelandrene | | | | |
| Terpinolen | 0.854 | 185—187 | 1.484 | — |
| Terpinolene | | | | |
| Limonen | — | 175—176 | 1.473 | — |
| Limonene | | | | |
| d-limonen | 0.8411 | — | — | +126° 8' |
| d-Limonene | | | | |
| l-limonen | 0.8422 | — | — | —122° 6' |
| l-Limonene | | | | |
| dl-limonen | 0.844 | 175—176 | 1.47194 | — |
| dl-Limonene | | | | |
| Santen | 0.8698 ¹⁵ | 140 | 1.46960 ^{19,2} | — |
| Santene | | | | |
| Sabinen | 0.842 | 163—165 | 1.4678 | +67° 5' |
| Sabinene | | | | |
| α -tujen | 0.8301 | 151 | 1.45150 | — |
| α -Thujene | | | | |
| Δ^2 -karen | 0.8586 ^{30/30} | 168—169 ⁷⁰⁵ | 1.469 ³⁰ | +7° 69' |
| Δ^2 -Carene | | | | |
| α -pinen | 0.8598 | 155—156 | 1.4648 ²⁵ | 50° |
| α -Pinene | | | | |
| β -pinen | 0.8675 ²² | 163—164 | 1.4749 ²² | —22° 5' |
| β -Pinene | | | | |
| Kamfen | 0.83808 ^{59,0} | 158.5—159.5 | 1.45314 ^{59,0} | — |
| Camphene | | | | |

Amorfno stanje kolofonija je bistro i prozirno, ali ako su kristali malih dimenzija ili međusobno slijepljeni, to će kolofonij, iako u stanju nastajanja kristalizacije, ostati u amorfnom obliku.

U praksi se određuje kristalizirani i amorfnu dio na temelju topljivosti u petroleteru. Što je kolofonij više izložen utjecaju atmosferilija tj. što je više nastupila kristalizacija u kolofoniju, to je i manja topljivost u petrol-eteru.

Istraživanje kemijskog sastava prirodnih smola, čiji su glavni sastojci smolne kiseline, počelo je još dvadesetih godina prošlog stoljeća (Slavjanski i Mednikov, 1970). Za odjeljivanje smjese smolnih kiselina iz smole primjenjivao se postupak kristalizacije iz raznih otapala. Taj postupak je samo djelomično zadovoljavao, jer je bilo moguće izdvojiti samo neke smolne kiseline, kao npr. abietinsku.

Posljednjih desetljeća uspjelo je razviti takve postupke koji omogućuju izdvajanje pojedinih smolnih kiselina iz njihove smjese. Uz pomoć modernih analitičkih postupaka uspješno se vrše istraživanja kemijskih i fizikalnih svojstava pojedinih smolnih kiselina.

Smolne kiseline su monokarbonske kiseline empirijske formule $C_{20}H_{30}O_2$, a sadrže dva dvostruka veza. One se mogu podijeliti na dva tipa: abietinski i pimarni tip.

Smolne kiseline abietinskog tipa karakterizirane su izopropilnom grupom na sedmom ugljikovom atomu. One imaju konjugirani dvostruki vez i zbog toga su vrlo podložne izomerizaciji utjecajem kiselina i povišene temperature a pokazuju i spektralnu apsorpciju u ultravioletnom području.

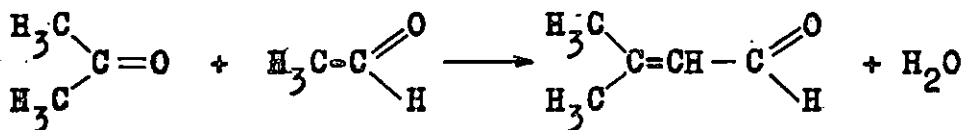
Smolne kiseline pimarnog tipa imaju vinilnu i metilnu grupu na sedmom ugljikovom atomu. One nemaju konjugirani dvostruki vez i relativno su stabilne na utjecaj topline i kiselina i ne pokazuju apsorpciju ultravioletnog svjetla (Brown i ng, 1967).

Kao sastavni dio kolofonija, osim smolnih kiselina, dolaze i masne kiseline. Masne kiseline koje se najviše nalaze u drvu su alifatske monokarbonske kiseline sa 16—24 ugljikova atoma. One dolaze u slobodnom obliku i kao esteri.

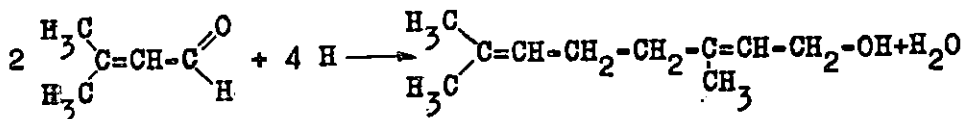
Fizikalna svojstva glavnih sastojaka kolofonija dana su u tablicama 4 i 5.

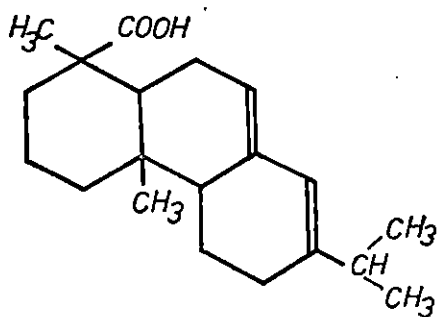
Biosinteza monoterpena — Biosyntheses of monoterpenes

Prema hipotezi Eulera (Trkovnik, 1964) terpeni mogu nastati iz nekih međuprodukata alkoholnog vrenja. Kao ishodne spojeve za ovu sintezu on je naveo aceton i acetaldehid iz kojih nastaje β -metil krotan aldehyd uz izdvajanje vode:



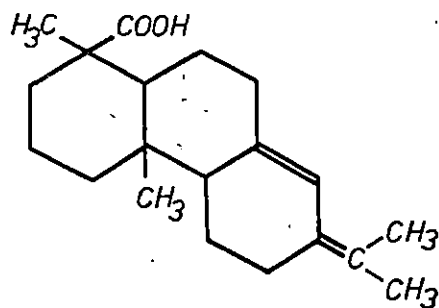
Iz dvije molekule β -metil krotan aldehyda redukcijom s vodikom (aldolnom kondenzacijom) nastaje terpeniski alkohol geraniol:





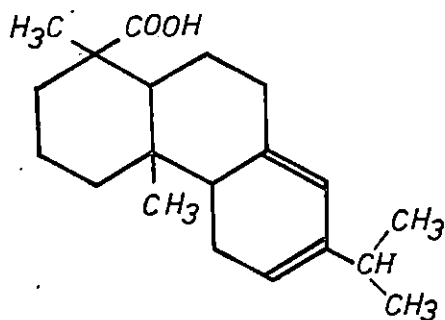
Abietinska kiselina

Abietic acid



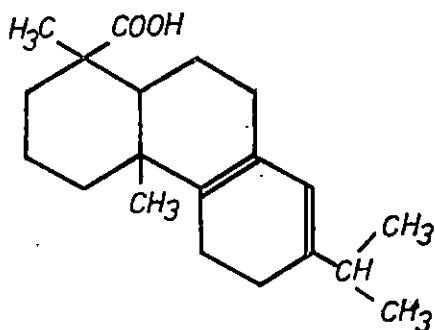
Neoabietinska kiselina

Neoabietic acid



Levopimarna kiselina

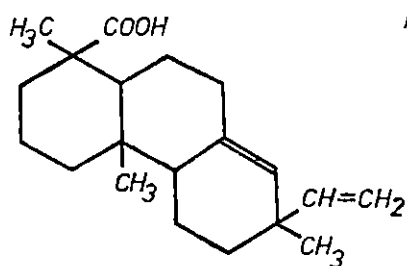
Levopimaric acid



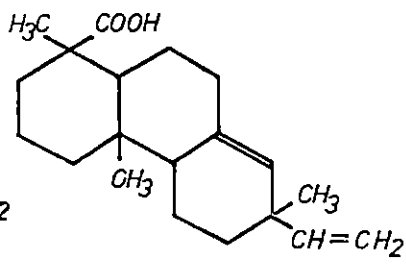
Palustrinska kiselina

Palustric acid

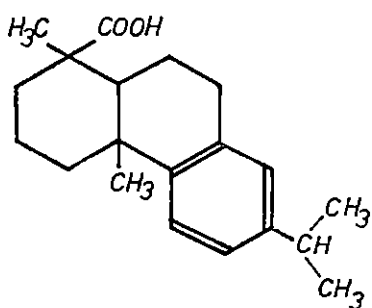
Sl. — Fig. 3. Strukturne formule smolnih kiselina — Structural formulas of resin acids



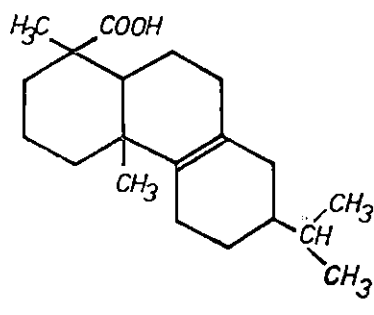
Pimarna kiselina
Pimaric acid



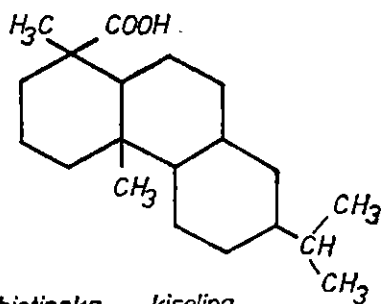
Izopimarna kiselina
Isopimaric acid



Dehidroabietinska kiselina
Dehydroabietic acid



Dihidroabietinska kiselina
Dihydroabietic acid



Tetrahidroabietinska kiselina
Tetrahydroabietic acid

Sl. — Fig. 4. Strukturne formule smolnih kiselina — Structural formulas of resin acids

Serijé V.: Fizikalno-kemijska svojstva smole alepskog bora (*Pinus halepensis* Mill.) dobivene različitim tehnološkim postupcima. Glasnik za šum. pokuse 22:87—181, 1984.

Tab. 4. Fizikalna svojstva smolnih kiselina i njihovih metilnih estera (prema Gluhareva i dr., 1974.) — Physical properties of resin acids and their methyl esters (after Gluhareva et al., 1974.)

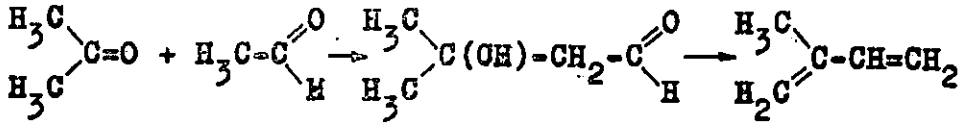
| Smolne kiseline Resin acids | Talište Melting point °C | n_D^{20} | $[\alpha]_D^{20}$ (etanol) |
|--|--------------------------------|----------------------|-------------------------------|
| Abietinska — Abietic | 173—174 | — | —114.8 |
| Metilni ester abiet. kis. Methyl ester of abietic acid | — | 1.5325 | —30.8 |
| Dehidroabietinska Dehydroabietic | 172.5—173 | — | +73.5 |
| Metilni ester dehidroab. kis. Methyl ester of dehydroabietic | 60 | — | +56.8 |
| Dihidroabietinska Dihydroabietic | 147—148 | — | +68.0 |
| Izopimarna — Isopimaric | 162.5—163 | — | 0.0 |
| Metilni ester izopim. kis. Methyl ester of isopimaric | 61.5—62 | — | 0.0 |
| Levopimarna — Levopimaric | 151—152.5 | — | —275.2 |
| Metilni ester levopim. kis. Methyl ester of levopimaric | 62—63 | 1.5083 ⁹⁵ | —268 (eter) |
| Neoabietinska — Neoabietic | 176—178 | — | +173.4 |
| Palustrinska — Palustric | 164—166 | — | +71.2 |
| Pimarna — Pimaric | 219—219.5 | — | +89.0 |
| Metilni ester pim. kis. Methyl ester of pimaric | 69 | 1.5205 | — |
| Tetrahidroabietinska Tetrahydroabietic | 165—166 | — | +27.3 |
| Metilni ester tetrahidroabiet. kis. Methyl ester of tetrahydroabietic | 99 | — | +20.6 |

Tab. 5. Fizikalna svojstva smolnih kiselina (prema Browning, 1967.) — Physical properties of resin acids (after Browning, 1967.)

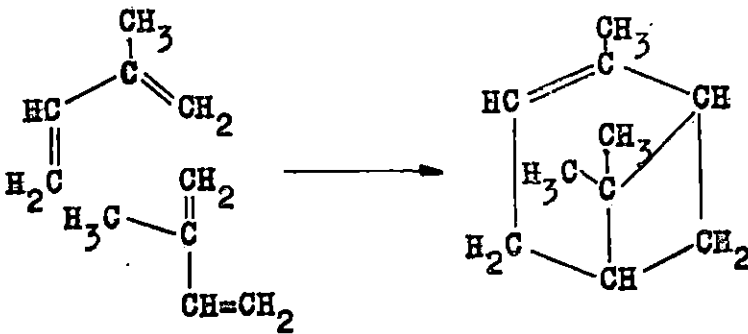
| Smolne kiseline Resin acids | Talište Melting point °C | $[\alpha]_D$ | UV apsorpcija UV absorption | |
|--|--------------------------------|--------------|--------------------------------|----------|
| | | | λ max. m μ | α |
| Abietinska — Abietic | 171—173 | —106 | 240—241 | 80.0 |
| Levopimarna — Levopimaric | 150—152 | —276 | 272 | 19.2 |
| Palustrinska — Palustric | 162—167 | +71.8 | 265—266 | 30.1 |
| Neoabietinska — Neoabietic | 166.5—169 | +159.8 | 250 | 80.0 |
| Dehidroabietinska — Dehydroabietic | 171—172 | +63 | 276 | 2.5 |
| Tetrahidroabietinska — Tetrahydroabietic | 183—184 | +6 | — | — |
| Pimarna — Pimaric | 212—213 | +75 | — | — |
| Izopimarna — Isopimaric | 162—164 | 0.0 | — | — |

Geraniol oksidacijom prelazi u citral, odnosno u monocikličke terpene.

O. A s c h a n (1929) također, postavlja hipotezu da od acetona i acetaldehida nastaje izopren iz kojeg se daljnjom kondenzacijom izvode svi ostali terpeni:

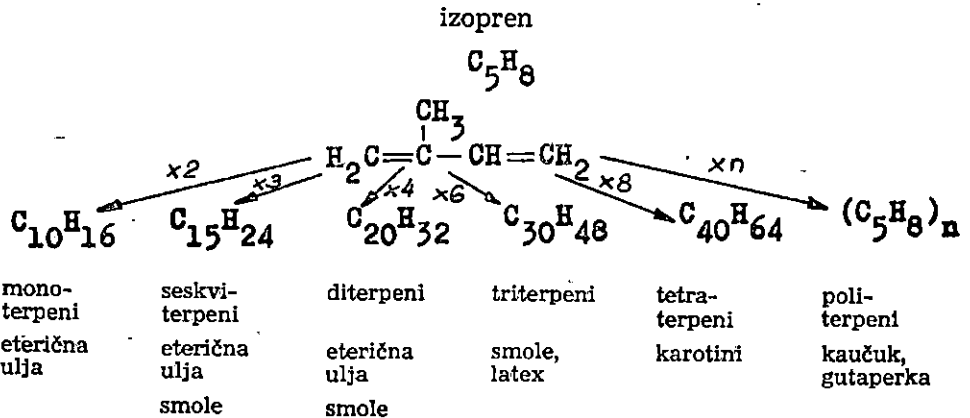


A s c h a n je uspio iz dvije molekule 2-metil butadiena dobiti biciklički terpen α -pinen:



Međutim, objašnjenja transformacije geranyl- ili neryl-pyrophosphata u pojedine monoterpe ne nisu zadovoljavala. Model koji je dao R u ž i č k a (Z a v a r i n, 1970), a koji je kasnije razrađen, mogao je objasniti kemijsku strukturu monoterpe na, ali sigurno uz mnoga pojednostavljenja. Nadalje, model ne uzima u obzir utjecaj enzima koji je, po G a s c o i g n u i R o b i n s o n u (Z a v a r i n, 1970), važan faktor u procesima stvaranja pojedinih terpe na.

Prema B o n n e r - u (K r a m e r i K o z l o w s k i, 1960) odnos različitih vrsta terpe na prema izoprenu prikazan je na slijedećem dijagramu:

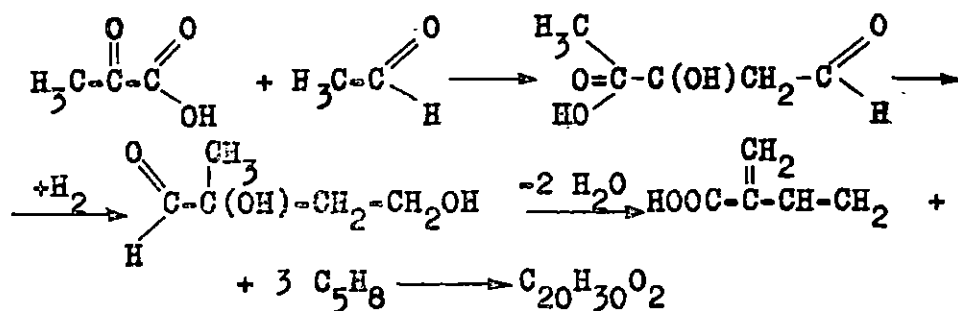


Eterična ulja su vrlo različitog sastava. Najbolji dokaz toj tvrdnji je izdvajanje iz njih preko 500 raznih spojeva (Kramer i Kozlowski, 1960). Međutim, većina eteričnih ulja sastavljena je od mnogo manjeg broja terpena. Oni su ravnih lanaca ili cikličke strukture i mogu biti monoterpeni ($C_{10}H_{16}$), seskviterpeni ($C_{15}H_{24}$) ili diterpeni ($C_{20}H_{32}$).

Za razliku od masti, eterična ulja ne služe kao rezervna hrana u bilju, ali su sporedni proizvodi metabolizma s neutvrđenom metaboličkom ulogom. Budući da su mnoga eterična ulja hlapiva, to se ona kontinuirano gube iz drveća evaporacijom, posebno preko dana.

Biosinteza smolnih kiselina — Biosyntheses of resin acids

O. Aschan postavio je hipotezu stvaranja smolnih kiselina koje su sastavni dio kolofonija (Trkovnik, 1964). On smatra da u toj sintezi sudjeluje pirogroždana kiselina koja aldolnom kondenzacijom s acetaldehidom daje preko nekoliko međuprodukata, α -vinil akrilnu kiselinu, koja zatim s tri molekule izoprena stvara smolne kiseline:



Ovu hipotezu nisu osporili ni Ružička ni Sander mann.

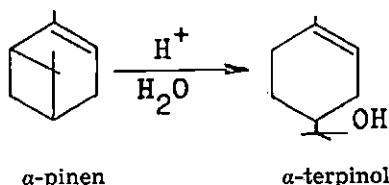
Uporaba terpentinskog ulja — Uses of turpentine

Do prije nekoliko desetljeća terpentinsko ulje se uglavnom upotrebljavalo kao otapalo u industriji boja. Smanjenjem cijena otapala na bazi nafte potrošnja terpentinskog ulja bila je jako reducirana. Danas se terpentinsko ulje pretežno koristi kao sirovina u kemijskoj industriji.

Za neke proizvode koristi se neprerađeno terpentinsko ulje (u industriji boja i lakova, različitih proizvoda za kućanstvo), ali za posebne svrhe terpentinsko ulje potrebno je frakcionom destilacijom razdijeliti na pojedine komponente.

α -pinen kao najvažnija komponenta terpentinskog ulja najvećim dijelom dobiva se iz frakcija nižeg vrelišta. Najveći dio α -pinena upotrebljava se u proizvodnji sintetičkog borovog ulja.

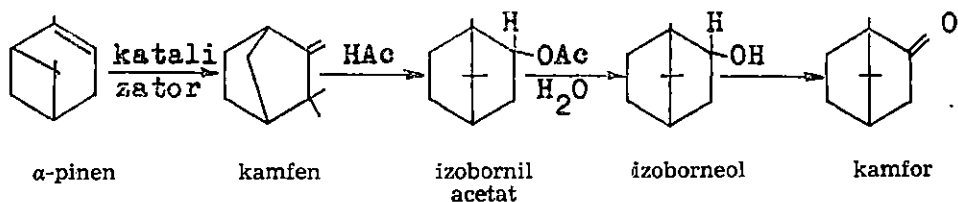
U prisutnosti mineralnih kiselina iz α -pinena dobiva se smjesa terpenkih alkohola pretežno α -terpinol:



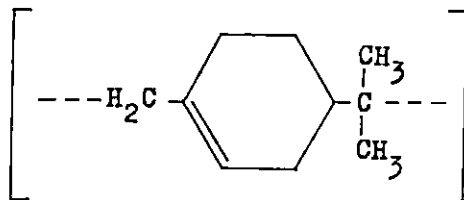
Danas se oko 80% borovog ulja proizvodi na taj način. Borovo ulje se koristi za proizvodnju sredstava za čišćenje, za mirise, za zdravstvene svrhe, u tekstilnoj proizvodnji, kao baktericid i u flotaciji ruda (Weissmann, 1978).

Druga glavna uporaba α -pinena je njegova izomerizacija u kamfen. Kloriranjem kamfena do sadržaja klora oko 65% dobiva se proizvod koji ima bruto formulu $\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{Cl}_8$ koji je jaki insekticid — toxaphen. Izomerizacijom α -pinena u prisutnosti octene kiseline dobiva se izobornil acetat, proizvod s karakterističnim mirisom borovih iglica.

Hidrolizom izobornil acetata dobiva se borneol čijom oksidacijom nastaje kamfor:



Terpentinsko ulje se također upotrebljava u proizvodnji politerpenskkih smola, β -pinen može uz katalizator stvarati nisko molekularne polimere, čija struktura je:



poli- β -pinenska smola

Takva terpenska smola upotrebljava se u proizvodnji ljepila, premaza, tiskarskih boja i donekle za proizvodnju žvakaćih guma (Weissmann, 1978).

U USA se proizvodi 38% svjetske produkcije terpentinskog ulja, od čega se 48% upotrebljava za proizvodnju sintetskog borovog ulja, 16% za proizvodnju insekticida i 16% za proizvodnju terpenskih smola.

Daljnijh 9% terpenskog ulja upotrebljava se u proizvodnji mirisa. Za tu svrhu služi uglavnom, β -pinen. α -pinen se može pomoću metalnog nobelija kao katalizator izomerizirati u β -pinen.

U jednom kompleksu kemijskih reakcija mogu se sintetizirati različite komponente mirisnih tvari (Weissmann, 1978).

Linalool i njegovi esteri imaju miris jorgovana, geraniol i nerol miris ruže. Aldehidi geraniol i nerol imaju intenzivan miris limuna, a hydroxycitronellal miris đurđice.

α -pinen može se koristiti kao ishodni materijal i za sintezu kamfora (Slavjanskij i Mednikov, 1970).

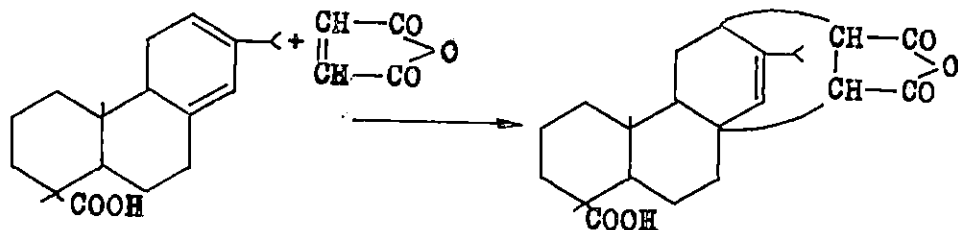
Uporaba kolofonija — Uses of rosin

Bez obzira na razlike u sastavu a isto tako i na izvor, kolofonij i njegovi derivati mogu se upotrijebiti u različite svrhe. U najviše slučajeva kolofonij se upotrebljava u nešto modificiranom obliku. U tako modificiranom obliku kolofonija u reakciju ulaze karboksilna grupa kao i dvostruki vezovi smolnih kiselina.

Kako karboksilna grupa smolnih kiselina nije tako reaktivna kao u masnih kiselina, to smolne kiseline zahtijevaju više temperature nego masne kiseline u nekim reakcijama, posebno u esterifikaciji.

Metalne soli smolnih kiselina (rezinati), međutim, lako se stvaraju reakcijom s metalnim oksidom ili hidroksidima.

Najveća potrošnja kolofonija je u industriji papira i to u obliku djelomične reakcije kolofonija s anhidridom maleinske kiseline ili fumarne kiseline:



Diels-Alder adukt
levopimarne kiseline

Tako dobiveni spoj ima bolja svojstva nego nemođificirane smolne kiseline.

Drugi rezinati kao olovni, manganovi i kobaltovi primjenjuju se kao sušila. Kalcijski rezinati ili smjesa kalcijjskih i cinkovih rezinata povećavaju konzistenciju jeftinih boja, a i povećavaju visok sjaj. Cinkovi rezinati se upotrebljavaju u proizvodnji tiskarskih boja.

Druga reakcija u kojoj učestvuje karboksilna grupa smolnih kiselina je esterifikacija. Glicerini i pentaeritritol esteri su najvažniji. Ti esteri se upotrebljavaju u proizvodnji premaza, veziva i nitroceluloznih lakova kojima povećavaju ljepljivost i sjaj.

Smolne kiseline abietinskog tipa imaju konjugirani dvostruki vez i vrlo su osjetljive na oksidaciju kisikom iz zraka. Različiti su postupci upotrebljeni da kolofonij bude stabilniji.

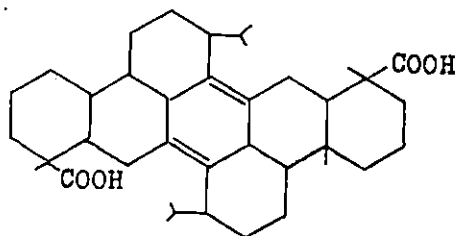
Hidrogenacija je najviše primijenjen postupak za smanjenje nezasićenosti kolofonija. Uz prisutnost pogodnih katalizatora smolne kiseline se djelomice hidriraju i dobivena smjesa kiselina stabilna je prema oksidaciji.

Esteri tako hidriranog kolofonija upotrebljavaju se u proizvodnji plastifikatora, ljepila i smola za lakove čije važno svojstvo je svijetla i stabilna boja.

Disproporcija kolofonija uključuje simultano dehidriranje i hidriranje smolnih kiselina. Disproporcija se događa pri zagrijavanju kolofonija iznad 200 °C u prisutnosti katalizatora (Weissmann, 1978).

Ti proizvodi su svijetle boje i imaju odličnu postojanost prema nemodificiranom kolofoniju. Njihova dobra svojstva omogućuju primjenu u alkidnim smolama, esterskim smolama, tiskarskim bojama, ljepilima i drugdje.

Slijedeća metoda za povećanje otpornosti na oksidaciju kolofonija je polimerizacija. Pod utjecajem kiselih katalizatora kao H_2SO_4 ili $ZnCl_2$ abietinska kiselina stvara, uglavnom, dimerne produkte slijedeće strukture.



dimer abietinske kiseline

Polimerizirani kolofonij ima višu točku omekšavanja i viskozitet nego nemodificirani kolofonij.

Može biti esterificiran kao normalni kolofonij i dodaje se alkidnim smolama za proizvodnju brzo sušućih lakova. Upotrebljava se i za proizvodnju ljepila, sušila i tiskarskih boja (Weissmann, 1978).

Biosinteza masnih kiselina — Biosyntheses of fatty acids

Ishodna tvar za sintezu masnih kiselina je acetyl-CoA koji nastaje aerobnom razgradnjom ugljikohidrata. Acetyl-CoA najprije se karboksilira u osobito aktivni malonil-CoA. Ova reakcija ovisi o prisutnosti ATP. Prema Lynen-u (Karlsón, 1974) sinteza se provodi na multienzimskom kompleksu. Svi međuprodukti ostaju vezani na enzimu.

Reakcija počinje prijenosom acetilnog ostatka s acetyl-CoA na SH-skupinu enzima. Malonil-CoA prenese se na drugu SH-skupinu. Zatim

Tab. 6. Fizikalna svojstva masnih kiselina (prema Gluhareva i dr., 1974.) — Physical properties of fatty acids (after Gluhareva et al., 1974.)

| Masne kiseline Fatty acids | Talište Melting point °C | Vrelište Boiling point °C | d_4^{20} | n_D^{20} |
|-------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------|------------|
| Laurinska — Lauric | 44.2 | 299.2 | 0.864 | 1.4304 |
| Miristinska — Myristic | 53.9 | 100 250.5 | 0.858 | — |
| Palmitinska — Palmitic | 63.1 | rasp. 339—356 | 0.853 | 1.4269 |
| Stearinska — Stearic | 69.6 | rasp. 370 | 0.8386 | 1.4300 |
| Arahidinska — Arachidic | 75.3 | rasp. 328 | 0.824 | — |
| Behenska — Behenic | 79.9 | — | — | — |
| Lignocerinška — Lignoceric | 84.2 | — | — | — |
| Oleinska — Oleic | 13.4 | 100 286 | 0.898 | 1.4582 |
| Linolna — Linoleic | —5 | 16 230 | 0.9025 | — |
| Linolenska — Linolenic | —10 do —11.3 | 17 230—232 | 0.9046 | — |

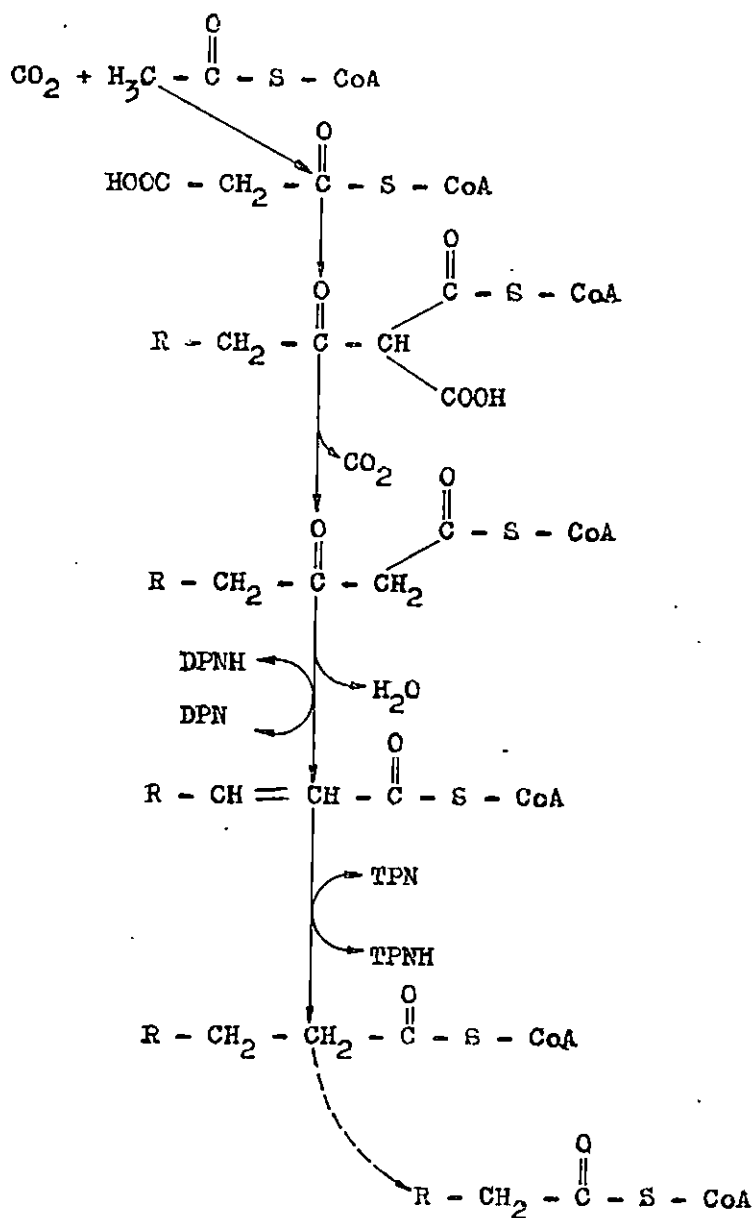
slijedi kondenzacija acetilne grupe s vrlo reaktivnom grupom CH_2 malonilnog ostatka u derivat β -ketokiseline i na taj se način ugljikov lanac produžuje za jednu C_2 jedinicu uz izdvajanje CO_2 . Nakon toga slijedi, uz prisutnost NADP-H, redukcija u hidroksi grupu, izdvajanje vode i redukcija dvostrukog veza. Produženi acilni ostatak prenese se na prvu SH-skupinu. Tako oslobođena centralna SH-skupina može ponovno primiti malonilni ostatak. Na kraju se acilni ostatak prenosi na koencim A i oslobađa kao masna kiselina. To se događa u momentu kada ugljikov lanac sadrži 16 ili 18 C atoma. Na taj način se i objašnjava velika količina palmitinske i stearinske kiseline u neutralnim mastima (Karlson, 1974).

Masne kiseline koje se nalaze u mastima drveća imaju nerazgranate lance s parnim brojem ugljikovih atoma.

Palmitinska kiselina je najraširenija zasićena masna kiselina u mastima drveća. Laurinska, stearinska, miristinska i arahidonska kiselina su ostale masne kiseline zasićene serije koje se nalaze u mastima drveća.

Veći dio masnih kiselina u mastima drveća je nezasićen. Dvije su najvažnije — oleinska i linolna. Nezasićene kiseline imaju sposobnost vezanja kisika iz zraka i upravo to svojstvo je pogodno za sušenje mnogih ulja.

Masti nekih drveća sadrže masne kiseline koje su karakteristične za botaničku vrstu kojoj pripadaju.



Sl. — Fig. 5. Biosinteza masnih kiselina (prema Karlson, 1974.) — Biosyntheses of fatty acids (after Karlson, 1974.)

Drveća hladnijeg klimata teže da proizvedu više nezasićenih masnih kiselina nego drveća toplijeg klimata. Nadalje, vrste koje se nalaze u širokom klimatskom području obično proizvode više nezasićenih masnih kiselina, kao linolnu i linolensku kiselinu, u hladnijim dijelovima njihovog areala nego u toplijem dijelu (Kramer i Kozłowski, 1960).

Svjetska proizvodnja kolofonija i terpentinskog ulja — World production of rosin and turpentine

Prema podacima Noval Stores Review i podacima Cleaver-a godišnja proizvodnja kolofonija u svijetu iznosi oko 1 milijun tona, dok je proizvodnja terpentinskog ulja oko 250 000 tona godišnje (Weissmann, 1978). Razvoj proizvodnje u posljednjih 25 godina prikazan je na slici 6. Uočljiv je stalan trend rasta proizvodnje u proteklom razdoblju a i očekuje se u budućnosti.

Glavni proizvođači kolofonija su USA (oko 400 000 tona), zatim slijedi NR Kina sa 200—250 000 tona i SSSR s proizvodnjom oko 180 000 tona. Glavni proizvođač u Evropi je Portugal, čija proizvodnja iznosi godišnje oko 100 000 tona. Ostale zemlje s jakom proizvodnjom kolofonija su Meksiko, Indija i Poljska. Dok je ukupna proizvodnja kolofonija i terpentinskog ulja rasla kontinuirano, udio pojedinih vrsta je promijenjen.

Od današnje ukupne proizvodnje 50% je dobiveno iz smole. Drugi veliki dio je kolofonij dobiven iz tal ulja (1/3), a 15—20% dobiveno je ekstrakcijom.

Količina kolofonija dobivena iz smole u USA drastično je smanjena. U 1963. udio kolofonija iz smole bio je 22%, kolofonij iz tal ulja 25% i kolofonij dobiven ekstrakcijom 53%. Tokom deset godina udio kolofonija iz smole pao je na 5%, a udio kolofonija iz tal ulja porastao je na više od 50%.

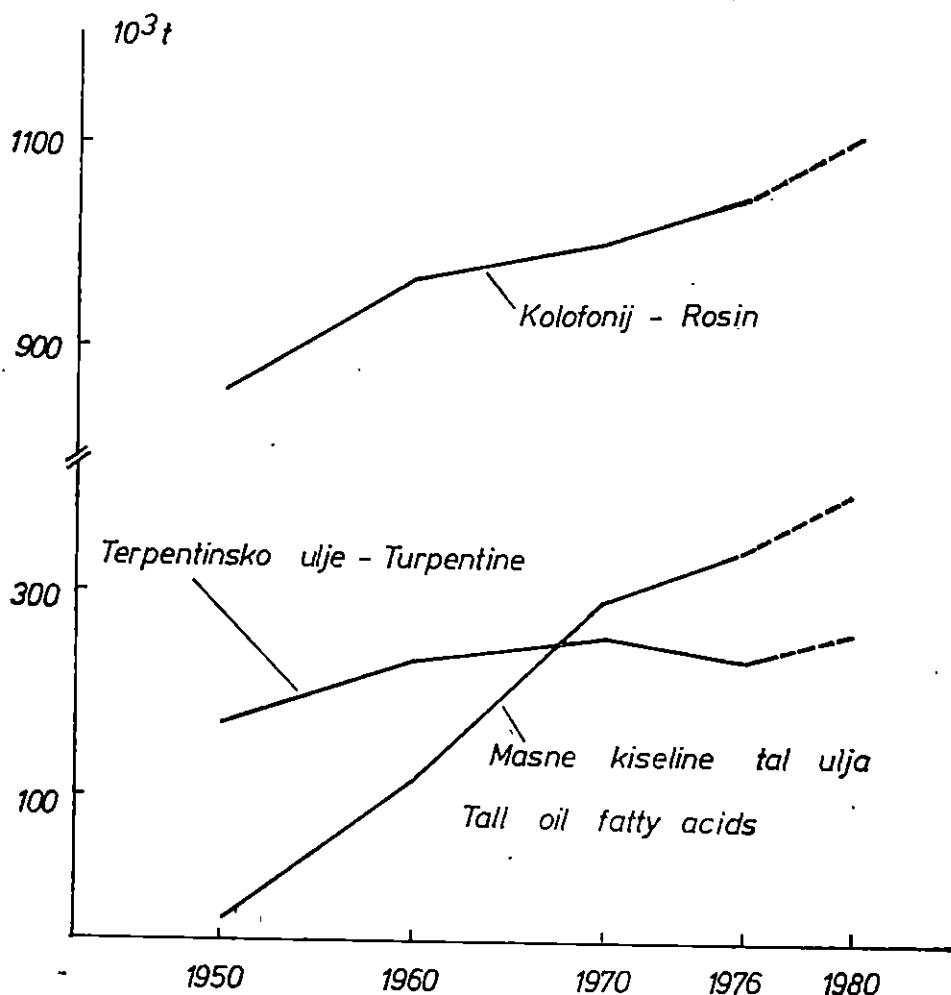
Proizvodnju smole u USA držali su, uglavnom, mali farmeri. U 1963. bilo je više nego 4 000 poduzetnika s oko 16 000 radnika (Weissmann, 1978). Deset godina kasnije ostalo je samo 1 000 poduzetnika s oko 3 600 radnika. Usprkos povećanju nadnica za smolarenje, odlazak radnika s farmi i borovih šuma nije se mogao spriječiti. Radnici su prelazili na lakši rad u industriju.

Iste posljedice zadesile su i tradicionalne proizvođače smole Španjolsku i Francusku.

Međutim, smola dobivena smolarenjem je bolje kvalitete u usporedbi s proizvodima dobivenim iz tal ulja i ekstrakcijom.

To je pogodnost da zemlje u razvoju preuzmu proizvodnju kolofonija i terpentinskog ulja.

U Hondurasu je 1976. godine puštena u rad destilacija smole kapaciteta 8 000 t godišnje. Drugi pogoni podignuti su u Guatemali i Belizeu. U Argentini je, također, izgrađen kapacitet od 3 000 tona prerade smole godišnje. U Brazilu je izgrađena destilacija smole kapaciteta 5 000 tona godišnje. Proizvodnja smole u zemljama Evrope je relativno skromna. Austrija proizvodi 5 000 tona godišnje, Turska 4 000 tona, Jugoslavija 3 200 tona, Albanija 3 100 tona i Bugarska 2 200 tona godišnje (Slavjanski i Mednikov, 1970).



Sl. — Fig. 6. Svjetska proizvodnja kolofonija, terpentinskog ulja i masnih kiselina tal ulja (prema Weissmann, 1978.) — World production of rosin, turpentine and tall oil fatty acids (after Weissmann, 1978.)

Proizvodnja terpentinskog ulja i kolofonija nastavit će se i u budućnosti, nastavit će se sve dok bude postojala mogućnost smolarenja borovih stabala i proizvodnja tal ulja i sulfatnog terpentina kao sporednih proizvoda u industriji celuloze. U USA se predviđa proizvodnja terpentinskog ulja i kolofonija ekstrakcijom borovih panjeva u količini 150 000 tona godišnje sve do 2.000 godine. U SSSR-u, također, postoji veliki potencijal ekstrakcije i sadašnja proizvodnja od 40 000 tona godišnje sigurno će se u budućnosti povećati (Weissmann, 1978).

Jedna nova metoda povećanja proizvodnje smole uvedena je u USA nedavno (1973.). Ta metoda se sastoji u tretiranju rana borovih stabala s herbicidom paraquat. Zapaženo je povećanje sadržaja smole u svim vrstama borova i do 200% u odnosu na netretirana stabla. Sadržaj masnih kiselina se ne povećava. Smola iz tretiranih stabala najvjerojatnije će se dobivati i kao sporedni produkt u proizvodnji celuloze.

Vrlo je teško procijeniti što će se dogoditi s proizvodnjom, potrošnjom i cijenama u slijedećih nekoliko godina. Cijene terpentinskog ulja i kolofonija bile su enormno kolebljive. U 1973/74. godini cijena za 1 tonu kolofonija iz tal ulja porasla je od 310 \$ na 570 \$. Cijene za 1 tonu kolofonija iz smole dostigle su u 9. mjesecu 1974. iznos od 880 \$. Ta je situacija dovela do zamjene terpentinskog ulja i kolofonija proizvodima na bazi derivata nafte. To je izazvalo nove poremećaje na tržištu, cijene su naglo padale i danas proizvodnja i potrošnja kolofonija još nije uravnotežena.

Posljednja slika tržišta u USA pokazuje povećanje potrošnje kolofonija i terpentinskog ulja u 1976. godini, a kako se očekuje porast cijena nafte, kolofonij i terpentinsko ulje ponovno će biti konjunktorni proizvodi (Weissmann, 1978).

MORFOLOŠKA I BIOLOŠKA SVOJSTVA ALEPSKOG BORA —
MORPHOLOGICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF ALEPPO PINE
(*PINUS HALEPENSIS* MILL.)

Alepski bor naraste u visinu 15—20 m. Deblo i grane su mu nepravilno razvijene, krivudaste. U starijoj dobi ima široko zaobljenu krošnju, dok je kod mladih primjeraka krošnja piramidalno razvijena. List ima oblik iglice koja je na rubovima blago nazubljena. Igllice redovno postižu dimenziju 6—10 cm duljine i oko 1 mm debljine. Na vrhu grana obično tvore guste, čuperaste formacije u obliku četke. U bazi iglice imaju kožast ovoj iz kojeg redovno izlaze dvije, a samo iznimno tri iglice. Igllice žive dvije godine, no mogu doživjeti i 3—4 godine, nakon čega požute i otpadaju. Mlade iglice brzo zamjenjuju otpale i na taj se način održava postojeća biološka ravnoteža u krošnji alepskog bora. Igllice su svijetlozelene boje. Alepski bor je jednodomna biljka. Muški rasplodni organi razvijaju se u združenim sastavima na vrlo kratkim ali izraženim snažnim stapkama. One se produžuju u relativno kratku os na kojoj izrastaju u osnovi nekoliko ljuskastih listića, što očigledno podsjeća na nerazvijeno cvijeće kao kod kritosjemenjača. Ženski rasplodni organi kod alepskog bora rastu združeno kao skupine sporofila u obliku gusto zbijenih češera okruglasta ili nešto produžena okruglasta izgleda, ljubičaste boje. Taj rasplodni češer izraste iz pazuška lisnih iglica na snažnoj i dosta dugoj stapci dužine 1—2 cm.

Oplodnja kod alepskog bora obavlja se uz pomoć vjetrova i to u toplijim regijama već u veljači, a u nešto hladnijim zonama u ožujku i travnju.

Češer je drvenast, dugoljasto-jajolikog oblika, 6—10 cm dug, crvenosmeđ, a pri bazi sivkasto zagasite boje, na 1—2 cm dugačkoj, razvijenoj

stapci visi prema dolje. Mogu biti do 3 češera zajedno. Sazrijeva početkom treće godine kada se češer otvara i sjeme pada na tlo. Otvoreni češeri ostaju na stablu i do pet godina. Apofiza češera je glatka, s malenom sivkastom grbicom bez šiljka. Sjemenke su okriljene, tamnosmeđe boje, piknjaste, do 6 mm duge, velike klijavosti koju zadrže 3—5 godina. Obilno rađa sjemenom svake godine. Kod klijanja, klica ima više kotiledona 4—15.

Žiljni sistem alepskog bora snažno je i bogato razvijen, a obično se razvija u dva osnovna oblika, koji su uvjetovani sastavom podloge na kojoj raste, no u oba slučaja je karakteristično da se obilno razvija generativno korijenje s mnogobrojnim korijenčićima brojnih redova.

U aridnoj klimi, i na tlima oskudnim hranjivima, alepski bor zahvaljuje svoj opstanak upravo korijenovom sistemu.

Na čvrstoj vapnenoj podlozi alepski bor razvija snažan glavni korijen u obliku žile srčanice, koja može dosegnuti dužinu veću od 2 metra. Srčanica je, u stvari, snažno svrdlo koje prodire u tvrde slojeve vapnenca u čijoj dubini biljka nalazi potrebne količine hranjiva i vode za svoj razvoj. Osim ove ima srčanica i mehaničku funkciju učvršćenja biljke protiv snažnih vjetrova, bure, (koji se često javljaju u prirodnom arealu alepskog bora.

Na mekim podlogama dolazi do izražaja snažniji razvoj postranog korijenja, dok se u dubinu probijaju dva ili više okomitih dubinskih korijena koji su tanji od srčanice i daleko manje prodiru u dubinu. Boja korijena je tamnosmeđa, s bakrenastim nijansama.

Alepski bor je izraziti kserofit i heliofit pa za svoje uspijevanje traži svijetla i toplinu. Prema Matkoviću otporan je na niske temperature zraka, ako ne traju dugo, te izdrži i do -20°C .

Odlično uspijeva u aridnoj klimi gdje se ponaša kao kserofitna biljka, no može uspijevati i na tlima obilno opskrbljenim vodom, pa ga možemo označiti kao »Kseromorfnihigrofit«.

Ipak, alepskom boru najbolje odgovara umjerena vlaga u zraku i tlu.

U pogledu zahtjeva prema tlu, alepski bor je vrlo plastičan. Uspijeva na tlima dobre proizvodne sposobnosti, a i na tlima slabog boniteta, kao i na potpuno degradiranim tlima krša koja su vrlo siromašna hranjivima i nose obilježja aridnosti.

Smatra se da su za uspijevanje alepskog bora, kao i njegov kvalitet i vitalitet, uz klimu, prilike tla odlučujući faktor, osobito u zonama izvan njegova prirodnog areala.

Alepski bor uspijeva na svim ekspozicijama.

U nas dolazi do 400 m/n. m., što je nešto više od višinskog prídolazjenja masline. U Alžiru i Maroku prídolazi do preko 1500 m/n. m.

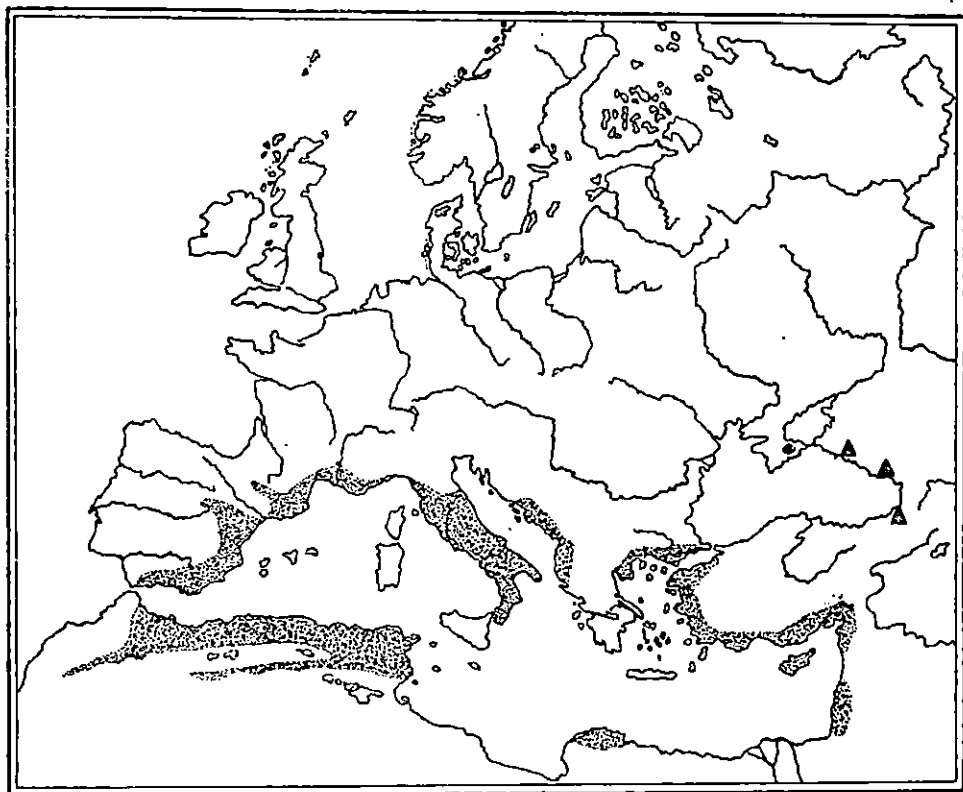
Pojavljuje se na svim mogućim nagibima, no najbolje podnosi brežuljkaste terene. Vrlo je otporan na vjetrove i ostale klimatske nepogode. Podnosi vrlo dobru posolicu, čak što više uspijeva uz samu morskobal, gdje mu korijen dolazi direktno u dodir s morskobal, što nema negativnih posljedica na njegov razvitak.

Vrlo dobro podnosi zagađenost atmosfere. U našim pedoklimatskim uvjetima prirodnog areala alepskog bora možemo ustvrditi da je ta vrsta vrlo plastična i da se prilagođava svim terenima, te je vrlo teško naći ekološki otporniju vrstu koja bi mu se mogla suprotstaviti. Izvan prirodnog areala traži južne ekspozicije i zaštićenije položaje, plodnije tlo, što mu osigurava povoljne uvjete razvoja.

Drvo alepskog bora je jedričavo, a smolni kanali su krupni i vidljivi, godovi markantni. Bjeljkovina je bjelkasta, a srževina crvenkasta. Volumen pora je u prosjeku 57%, a volumen drvenih stijenki 43%. Drvo je teško ($t_{15} = 0.71$, $t_0 = 0.65$ g/cm³), a uteže se osrednje ($a_p = 0.53\%$), srednje je tvrdoće (481 kg/cm²), a na pritisak srednje čvrsto (461 kg/cm²) i lako se obrađuje.

Drvo alepskog bora upotrebljava se kao građevno drvo, zatim za vodogradnje, pragove, stupove, kolarstvo. Kao sporedni proizvod kora oslobođena luba, tzv. snuba kora upotrebljava se za štavljenje.

Prirodno pridozajenje alepskog bora vezano je uz mediteransku klimu. Smatra se da je podrijetlom iz istočnog mediteranskog područja, a da je u doba Rimljana prenesen u zapadni Mediteran.



Sl. — Fig. 7. Geografska rasprostranjenost alepskog bora (prema Walter, 1954.) — Geographic distribution of Aleppo Pine (after Walter, 1954.)

Prema Walteru, alepski bor nalazimo u Maloj Aziji, sjevernoj Africi, Portugalu, Španjolskoj, Francuskoj, Italiji, Grčkoj, Jugoslaviji, istočnim područjima Crnog mora, a njegova najveća rasprostranjenost je u Tunisu, gdje zahvaća površinu od oko 400 000 ha (Pejoski, 1950).

Čini se da je svoje ime alepski bor dobio po sirijskom gradu Alepo, u čijoj su neposrednoj blizini nekada rasle prostrane šume alepskog bora.

U našoj domovini alepski bor se prirodno rasprostire uz obalu Jadranskog mora, kopnom južnije od Splita, a na otocima južnije od Šibenika. Vrlo lijepe sastojine alepskog bora susrećemo na otocima Mljetu, Lastovu, Hvaru, Šipanu, Lopudu, Lokrumu, za koje možemo reći da žive u svom optimumu. Ovaj bor izvan njegova prirodnog areala susrećemo diljem naše obale u Hrvatskom primorju, Istri i bližoj unutrašnjosti, gdje, također, dobro uspijeva, a što je vjerojatno uvjetovano edafskim i klimatskim faktorima dotičnog staništa.

Alepski bor prema nekim autorima (Rehder, Fukarek, Krüssmann, iz Vidaković i Krstinić, 1974) pripada skupini mediteranskih borova grupe *halepensis* i ima više varijeteta: var. *brutia* (Ten.) Henry, var. *eldarica* Medwed., var. *halepensis*, var. *pithyusa* (Stev.) Gord., i var. *stankewiczii* (Sukaczev.) Fitch.

Prema Nahalu (Vidaković i Krstinić, 1974) *P. halepensis* i *P. brutia* su dvije različite vrste. Isti autor na temelju morfologije polena razlikuje tri forme alepskog bora: zapadnu, istočnu i sjeverno-afričku. Po Nahalu brucijski bor je, također, kompleksna vrsta kojoj pripadaju podvrste subsp. *eldarica*, subsp. *pithyusa* i subsp. *stankewiczii*.

U nas su se proučavanjem morfološke varijabilnosti spontanih križanaca kao i populacija alepskog i brucijskog bora bavili Vidaković i Krstinić (1974). Oni su na osnovi mjerenja dužine, širine i debljine iglica, dužine češera, debljine češera na najdebljem dijelu, dužine stapke češera, kuta insercije češera, dužine sjemenki i anatomskih karakteristika iglica došli do slijedećih zaključaka:

1. Na mnogim lokalitetima na području našeg dijela Mediterana uz alepski bor dolazi i brucijski bor.

2. Ove dvije vrste se lako međusobno križaju, pa je tako bilo moguće u mješovitim kulturama alepskog i brucijskog bora dobiti hibridno sjeme. Kulture koje su se podizale s biljkama uzgojenim iz hibridnog sjemena (osobito na području Istre), predstavljaju hibridne rojeve alepskog i brucijskog bora.

3. Alepski i brucijski bor se međusobno razlikuju u mnogim morfološkim karakteristikama kao i u anatomskoj građi iglica.

4. F_1 generacija je intermediarna za većinu istraživanih morfoloških svojstava i anatomskih karakteristika iglica.

5. Vrijednost istraživanih morfoloških svojstava u tzv. istarskoj populaciji obuhvaćaju vrijednosti koje karakteriziraju alepski bor, hibride F_1 generacije, povratne hibride i brucijski bor.

FIZIKALNO-KEMIJSKA SVOJSTVA SMOLE ALEPSKOG BORA DOBIVENE
SMOLARENJEM — PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF RESIN OF
ALEPPO PINE OBTAINED BY TAPPING

Iako se u svijetu provode intenzivna istraživanja ekstraktivnih tvari, drva, ima relativno vrlo malo objavljenih podataka o fizikalno-kemijskim svojstvima smole alepskog bora.

U nas je prve analitičke podatke o smoli alepskog bora objavio Pejovski (1950). Autor iznosi rezultate sastava smole i balzama i to: smola je sadržavala 73.4% kolofonija, 20.3% terpentinskog ulja i 6.3% nečistoća i vode. Prosječni sastav balzama iznosio je 71.5% kolofonija 27.5% terpentinskog ulja i 1.0% gubitaka.

Rezultati mjerenja specifične težine pri 20 °C:

| | |
|-------------------|-------|
| balzam | 0.980 |
| kolofonij | 1.06 |
| terpentinsko ulje | 0.858 |

Refrakcioni indeksi pri 20 °C su:

| | |
|----------------------|-------|
| za balzam | 1.517 |
| za terpentinsko ulje | 1.468 |

Autor zaključuje da se terpentinsko ulje alepskog bora smatra jednim od najvrednijih. Terpentinsko ulje sadrži visok postotak pinenske frakcije kao ishodne tvari za sintezu kamfora. Autor navodi da prema Grozevu terpentinsko ulje alepskog bora grčke provenijencije ima α -pinena 92%, β -pinena 6%. Ovako visok postotak pinenskih frakcija nema niti jedno drugo terpentinsko ulje. Tako npr. terpentinsko ulje *Pinus maritima* ima pinenskih frakcija 60%, a terpentinsko ulje crvenog bora iz Bugarske 62%. Po Vasečkiju (1944) rusko terpentinsko ulje crvenog bora ima 65—76% pinenskih frakcija, a po Ugrenoviću i Šolaji (1937) domaće terpentinsko ulje crnog bora 84.2—88.2%, a crvenog bora 82.9—87.9% pinenskih frakcija.

Opachić i dr. (1967) istraživali su fizikalna svojstva smole i kolofonija alepskog bora dobivenih smolarenjem.

U zaključcima ovih istraživanja autori ističu da sirova smola sadrži znatne količine nečistoća i da postoje razlike u kvaliteti kolofonija dobivenog iz smole uzete s istog radilišta u raznim godišnjim dobima.

U uzorcima smole koji su prije analize stajali 7 mjeseci nađeno je netopljivih tvari u petroleteru 8.79—12.05%, a netopljivih tvari u benzenu 0.38—3.64%, što je znatno više od količina nađenih u svježim uzorcima smole.

Mirov (1961) donosi pregled istraživanja terpentinskog ulja: Vezes i Dupont istraživali su terpentinsko ulje *Pinus halepensis* iz regije Provence u Francuskoj. Gustoća tih uzoraka bila je $d^{25} = 0.8550$ do 0.8580 , a optička rotacija $\alpha_D = +41.92^\circ$ do $+41.29^\circ$.

Sastav je bio slijedeći: d- α -pinen 95%, a frakcija s višim vrelištem 5%.

Kasnije je Dupont istražio frakcije s višim vrelištem i našao 1.14% bornilacetata i 3.8% frakcije seskviterpena.

Fizikalne konstante frakcije seskviterpena bile su sljedeće:

$$d^{20} = 0.9056$$

$$n_D^{20} = 1.4977$$

$$\alpha_D = +7.24^\circ$$

$$MR_D = 66.02$$

Lacrué (1928) je analizirao terpentinsko ulje iz nekoliko lokaliteta u Španjolskoj. Fizikalne konstante tih uzoraka bile su:

$$d^{14} = 0.8561 \text{ do } 0.8590$$

$$n_D^{14} = 1.4661 \text{ do } 1.4669$$

$$[\alpha]_D^{25} = +42.83^\circ \text{ do } 48.52^\circ$$

Mirov zatim daje podatke o analizi smole alepskog bora iz Izraela:

$$d_4^{25} = 0.8575$$

$$n_D^{25} = 1.4658$$

$$[\alpha]_{578}^{25} = +44.25^\circ$$

A. Tschirch — E. Stock (1933) navode da se *P. halepensis* Mill. mnogo smolari u Grčkoj. Iskorištenja se kreću 17—27% za terpentinsko ulje i 67—79% za kolofonij. Grčki kolofonij se dijeli na tri vrste: prva vrsta odgovara američkoj marki B, druga odgovara marki F, a treća vrsta odgovara marki G-H. Istraživanja svojstava vršili su Dambergis i Comninos:

| | |
|--------------------|--------|
| kolofonij | 78.54% |
| terpentinsko ulje | 17.04% |
| gubitak kod 100 °C | 14.04% |
| pepeo | 0.14% |
| kiselinski broj | 149 |
| esterski broj | 6 |
| broj osapunjenja | 155 |

Terpentinsko ulje imalo je ova svojstva:

| | |
|-------------------------|--------|
| specifična težina 15 °C | 0.8672 |
| polarizacija | +73.4 |
| kiselinski broj | ϕ |
| esterski broj | ϕ |
| broj osapunjenja | ϕ |
| jodni broj | 357 |

Vezes (1924) je našao za smolu alžirskog alepskog bora ove podatke:

| | |
|-------------------|------------|
| terpentinsko ulje | 14.7—27.0% |
| kolofonij | 66.7—78.3% |
| onečišćenja | 0.8— 6.6% |
| voda i gubici | 4.2—21.0% |

a za terpentinsko ulje:

| | |
|-------------------------|---------------|
| specifična težina 25 °C | 0.8552—0.8568 |
| polarizacija | +46.6—+47.6 |
| indeks loma 25 °C | 1.4638—1.4652 |

Tschirch i Schulz (1933) istraživali su grčki balzam alepskog bora i našli:

| | |
|------------------|-------|
| kiselinski broj | 125.9 |
| broj osapunjenja | 145.3 |

S $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ može se iz eterne otopine izmučkati 8.4% sirove smole. Pročišćene kiseline tale se pri 70—72 °C, a s Pb-acetatom se ne talože i sve su jednobazične.

| | |
|----------------------------|--------|
| kiselinski broj direktno | 171.25 |
| kiselinski broj indirektno | 178.91 |
| broj osapunjenja hladno | 203 |
| broj osapunjenja toplo | 216.72 |

Sa sodom se može izmučkati 59% sirove smole. S Pb-acetatom može se odijeliti na taložni i netaložni dio. Netaložni dio kiselina tali se kod 78—80 °C, on je amorfan i osim u petroleteru topljiv je u uobičajenim otapalima. On je halepopinitalna kiselina $\text{C}_{16}\text{H}_{26}\text{O}_2$. Ona ima:

| | |
|----------------------------|---------------|
| kiselinski broj direktno | 188.6 |
| kiselinski broj indirektno | 188.16—207.48 |
| broj osapunjenja hladno | 207.48—221.39 |
| broj osapunjenja toplo | 246.64 |

Taložne kiseline kristaliziraju u bijelim sjajnim kristalima s talištem 148—149 °C i sastoje se od halepopinalne kiseline $\text{C}_{17}\text{H}_{26}\text{O}_2$ koja ima:

| | |
|----------------------------|---------|
| kiselinski broj direktno | 187.32 |
| kiselinski broj indirektno | 193.11 |
| broj osapunjenja hladno | 232—246 |
| broj osapunjenja toplo | 246 |

Ove kiseline su, također, jednobazne.

Eterično ulje (21—26%) ima spec. tež. 0.8971. Talište 150—152 °C, na zraku potamni i konačno se osmoli. Sadržaj resena je 0.6%. Oni su topljivi u etanolu, metanolu, eteru, etilacetatu, kloroformu, petroleteru i acetonu.

Dupont (1926) je dobio iz galipota jednog španjolskog alepskog bora topljenjem u alkoholu i frakcioniranim taloženjem s vodom talog koji prekrystaliziran iz toplog acetona daje dvije različito kristalizirane kiseline:

α -alepinska kiselina $C_{20}H_{30}O_2$ koja se sastoji iz ortorombskih prizmi, i ima $[\alpha]$ za žutu Hg liniju -66.2° , a za zelenu liniju -77.4° . Talište je $148^\circ C$. Na-sol topljiva u vodi, a u višku NaOH se istaloži. Ca-sol je bijela i želatinozna kao i Mg i Pb-soli. Ag-sol je bijela i na zraku postaje crvenkasta, dok kobaltna postaje ljubičasta, a bakrena zelene boje. Sve su one lagano topljive u organskim otapalima. Ove kiseline nalaze se naročito u prvim frakcijama. β -alepinska kiselina $C_{20}H_{30}O_2$ kristalizira iz acetona u klinu ili blizu ortorombskim prizmama. Talište kod brzog zagrijavanja je $157-159^\circ C$, $[\alpha]$ za žutu Hg liniju -88.2° , za zelenu liniju -80.3° . Na-sol je također lagano topljiva u vodi a i u višku NaOH. Dok je Cu-sol zelena i želatinozna, Mg-sol je bijela, a Ca-sol je crkvenkasta. Sve soli su lagano topljive u organskim otapalima.

Obadvije kiseline pokazuju izomerizaciju u alkoholnim otopinama i u prisutnosti HCl prelaze u α -abietinsku kiselinu.

Iz α -alepinske kiseline slijedi iz promjene rotacije da ona ima međuspoj alepoabietinska kiselina, koja ima kod žute Hg linije -10.50° . β -alepinska kiselina izomerizacijom prelazi u α -abietinsku kiselinu odmah bez međuspoja.

Iz podataka rotacije izračunao je autor da se galipot španjolskog alepskog bora sastoji 3/4 iz α , a 1/4 iz β -alepinske kiseline.

U zajednici s Desalbres-om izveo je Dupont istraživanja dalje. Ovi autori su našli da je jedan od osnovnih dijelova α -alepinska kiselina jedna primarna terpenaska kiselina, a β -alepinska kiselina da je samo jedna izomerna smjesa alepoabietinske i abietinske kiseline. Obadvije ove kiseline nastanu u smoli izomerizacijom α -alepinske kiseline.

Jasno je da se smola španjolskog alepskog bora sastoji samo od jedne primarne terpenaska kiseline koju autori nazivaju alepinska kiselina.

Primarne kiseline alepo-kolofonija postaju po Ronin-u iz alkoholne otopine kod $95^\circ C$ djelovanjem HCl na abietinsku kiselinu i to izomerizacijom preko Na-kisele soli djelovanjem CH_3COOH . Iskorištenje je 37% na upotrebljeni kolofonij $[\alpha]_D = -100^\circ$.

Uvođenjem čiste, suhe HBr u ledenu octenu kiselinu na otoplenu abietinsku kiselinu kod $-10^\circ C$, s iskorištenjem oko 30%, dobije se dibromhidrat abietinske kiseline, koji je identičan dibromhidratu koji je dobio Levy iz američkog kolofonija.

Talište je $170-175^\circ C$ jednog a drugog $146-151^\circ C$.

Kod oksidacije abietinske kiseline permanganatom dobije se tetraoksiabietinska kiselina s talištem $243-245^\circ C$, a pored nje još i mravlja, maslačna i valerijanska kiselina i aceton.

G. Dupont (1926) navodi da terpentinsko ulje alepskog bora ima ove karakteristike:

$$d_{20} = 0.8556$$

$$n_D = 1.4640$$

$$[\alpha]_D = +46.9^\circ$$

Dalje se navodi da su *Vezeš* i *Darmois* (1924) ustanovili da u terpentinskom ulju alepskog bora ima *d-α-pinena*.

Utvrđeno je da terpentinsko ulje svježeg dobiveno sadrži 95% terpena, a 5% drugih frakcija.

Terpentinska frakcija sastoji se samo od dekstrogirog pinena. Specifična težina $d_{12} = 0.8620$

| | žuto | zeleno | indigo |
|--------------------------------|---------|---------|---------|
| specifična rotacija $[\alpha]$ | +50.92° | +57.73° | +99.04° |
| indeks loma d_{12}^0 | 1.4650 | 1.4652 | 1.4656 |

Ostali dijelovi ovog ulja imaju ove konstante:

1. Seskviterpenski dieni imaju vrelište 253—254 °C

$$d_{20} = 0.9056$$

$$n_{20}^D = 1.4997$$

$$\alpha_D = -6.71^\circ$$

$$\alpha_v = -7.24^\circ$$

2. Inaktivni bornil acetat

Konačan sastav svježeg terpentinskog ulja:

| | |
|------------------------|-------|
| desnih pinena | 95% |
| inaktivni bornilacetat | 1.14% |
| seskviterpena | 3.84% |

U istom radu (*Dupont*, 1926) navode se podaci i za terpentinsko ulje dobiveno iz svježih i suhih pupova alepskog bora:

| | svježi pupovi | suhi pupovi |
|-----------------------------|---------------|--------------------------|
| iskorištenje | 0.681% | 0.517% |
| d_{15} | 0.881 | 0.896 |
| $[\alpha]_D^{15}$ | -26.51° | -22.55° |
| kiselost | ϕ | 5.43 (kaprilna kiselina) |
| esterna vrijednost | 7.9 | 8.27 |
| preračunato na bornilacetat | 2.77% | 2.92% |
| alkohol | | 11.9% |
| frakciona destilacija | | |
| 155—170 °C | 58% | 42% |
| α_D | -27.5° | -26.42° |
| 170—190 °C | 20% | 20% |
| α_D | -31.4° | -29.34° |
| ostatak | 20% | 37% |

Ovo eterično ulje pretežno je sastavljeno iz *d-α-pinena*. U alkoholnoj otopini *Belloni* je našao borneol, a *Grimol* je našao fenil-etil alkohol koji su nađeni i u ulju iz ruža.

Što se tiče karakteristika samog α -pinena Dupont (1926) navodi:

| | |
|-------------------------|-----------|
| specifična težina | 0.8620 |
| brzina kristalizacije | |
| pri 75 °C | 34 mm/min |
| n_d^{125} (natrijevo) | 1.4650 |
| n^{125} (Hg žuto) | 1.4652 |
| $[\alpha]_D$ | +48.08° |
| $[\alpha]_j$ (Hg) | +50° |
| $[\alpha]_v$ | +57.73° |
| $[\alpha]_i$ | +99.04° |

a Vezeš-Dupont (1924):

| | |
|--------------|--------|
| vrelište | 156 °C |
| d_{15} | 0.8556 |
| n_{D15} | 1.4638 |
| $[\alpha]_D$ | +48.4 |

Gildmeister i Hoffmann (1956) donose karakteristike terpentinskog ulja dobivenog smolarenjem *Pinus halepensis*:

| | |
|------------------------------|-----------------|
| Španjolsko terpentinsko ulje | |
| d | 0.8561 — 0.8591 |
| α_D | +40° — +49° |
| n | 1.4660 — 1.4699 |

Alžirsko terpentinsko ulje iz *Pinus halepensis*:

| | |
|------------|------------------|
| d_{15} | 0.8552 — 0.8568 |
| α_D | +46.6° — 47.6° |
| n_D | 1.4638 — 1.4652 |
| frakcija | 155 — 156 °C 80% |

U izvještaju Centralnog instituta za tehničko-šumske pokuse iz Madrida (1923) koji se bavi razlikama u veličini kuta skretanja polariziranog svjetla nalazimo ove podatke za terpentinsko ulje iz *Pinus halepensis* pojedinih regija:

| | n_{20} | d_{20} | $[\alpha]_D^{25}$ |
|------------------------------|---------------|---------------|-------------------|
| alžirsko terpentinsko ulje | 1.4663—1.4677 | 0.8586—0.8608 | +46.5 — +47.8° |
| talijansko terpentinsko ulje | 1.4661 | 0.8590 | +46.54° |
| grčko terpentinsko ulje | 1.4668 | 0.8594 | +45.20° |
| grčko terpentinsko ulje | 1.4660 | 0.8445 | +48.30° |
| španjolsko terpentinsko ulje | 1.4654 | 0.8590 | — 8.73° |
| španjolsko terpentinsko ulje | 1.4654 | 0.8590 | +2.84 — +3.05° |
| španjolsko terpentinsko ulje | 1.4691 | 0.8732 | + 1.61° |
| španjolsko terpentinsko ulje | 1.4675 | 0.8768 | + 4.25° |
| španjolsko terpentinsko ulje | 1.4663 | 0.8681 | + 0.82° |

U novijem radu R. Lamprecht i S. Martinez del Olmo (1975) nalazimo podatke za analizu terpentinskog ulja iz *Pinus halepensis* iz regije Albacete u Španjolskoj:

| | |
|-------------------|--------|
| $[\alpha]_D^{20}$ | +28.34 |
| n_D^{20} | 1.4693 |
| d_{20} | 0.864 |

Za taj uzorak određen je i sastav terpentinskog ulja modernom metodom plinske kromatografije:

| | |
|-------------------|--------|
| α -pinen | 93.52% |
| kamfen | 1.83% |
| β -pinen | 1.74% |
| Δ^8 -karen | 0.39% |
| limonen | 0.53% |
| terpinolen | 0.26% |
| neidentificirano | 1.73% |

U istom radu autori iznose podatak da je uzorak smole alepskog bora sadržavao 26% terpentinskog ulja i 74% kolofonija. Sastav kolofonija bio je 85% kiselina abietinskog tipa i 15% pimarnog tipa. Pojedine smolne kiseline abietinskog tipa bile su:

| | |
|---------------|--------|
| levopimarna | 14.68% |
| abietinska | 25.95% |
| neoabietinska | 24.66% |
| palustrinska | 19.71% |

N. T. Mir ov i dr. (1966) donose slijedeće podatke za terpentinsko ulje alepskog bora:

| | $[\alpha]_D^{25}$ | α -pinen | mircen | više frakcije |
|--------------------------------|-------------------|-----------------|--------|---------------|
| terpentinsko ulje iz Francuske | +48.55 | 95.0% | — | 3.86% |
| terpentinsko ulje iz Izraela | +41.25 | 94.0% | 2.0% | 4.00% |

terpentinsko ulje iz Grčke:

| | |
|----------------------|-------|
| α -pinen | 96.2% |
| kamfen | 0.7% |
| β -pinen | 0.8% |
| Δ^8 -karen | 0.2% |
| myrcen | 0.7% |
| limonen | 1.2% |
| β -phellandren | 0.1% |
| terpinolen | 0.1% |

METODA RADA — WORKING METHOD

Opis istraživanih lokaliteta i uzoraka smole i drva — Description of the investigated locality as well as resin and wood samples

Skupljanje uzoraka smole vršeno je smolarenjem stabala alepskog bora na četiri lokaliteta:

RAB — Šumarija Rab, lokalitet Kalifront, period smolarenja V—XI mjesec 1976.

HVAR — lokalitet Pelegrin, period smolarenja IX—XI mjesec 1976.

ZADAR — Šumarija Zadar, lokalitet Musap stan, period smolarenja IX—XI mjesec 1976.

MAKARSKA — Šumsko gospodarstvo, lokalitet Bašćanski Gaj, period smolarenja IX—XI mjesec 1976.

Smolarenje je vršeno na 10 stabala na svakom lokalitetu. Zarezivanje bjeljenice vršeno je svaki treći dan. Skupljena smola transportirana je u laboratorij gdje su izvršena sva ispitivanja.

Ekstrakcija terpentinskog ulja i kolofonija izvršena je na uzorcima sječke, dobivene sječkanjem po jednog trupčića i panja alepskog bora s četiri lokaliteta Rab, Hvar, Zadar i Makarska.

Ekstrakcija je vršena benzinom (55°—75 °C) na aparaturi za kontinuiranu ekstrakciju u trajanju od 20 sati. Vršeno je više ekstrakcija po jedinog uzorka, a pojedino punjenje bilo je 750—1700 g sječke. Vršeno je variranje uzorka s obzirom na vlažnost, kao i ekstrakcija uzorka sječke, s benzinom uz prethodnu destilaciju sječke s vodenom parom.

Uzorci tal ulja dobiveni su iz crnog luga neutralno sulfitnog polukemijskog postupka dobivanja poluceluloze iz alepskog bora. Iz trupčića stabala alepskog bora iz sva četiri lokaliteta dobivena je sječka koja je podvrgnuta kuhanju u laboratorijskom kuhaču pod sljedećim uvjetima: u kuhač volumena 10 l stavljeno je 1000 g a. s. sječke. Lug je sadržavao 10% Na₂SO₃ i 4.5% Na₂CO₃, a hidromodul je bio 1 : 4. Vrijeme kuhanja: 1 sat zagrijavanja do 165 °C i 3 sata kuhanje. Nakon izvršenog kuhanja dobiveno je crnog luga u količini od 2 l.

Položaj i ekološki odnosi na istraživanom lokalitetu alepskog bora na otoku Rabu — Position and ecological relations of the investigated locality of Aleppo Pine on the island of Rab

Otok Rab kao dio obronaka Dinarida pruža se u smjeru SZ — JI i ima tri paralelna ispona. Na najzapadnijem dijelu su predjeli Kalifront i Dundo. Najviša nadmorska visina ovih predjela iznosi 84 m. Reljef je na gornjim položajima uglavnom blago valovit. Tlo je srednje duboko i razmjerno dobro strukturno i plodno.

Klima otoka Raba je blaga, pod jakim utjecajem aktivnosti meridionalne monsunske cirkulacije s kontinentalnim varijantama i povremenim oceanskim varijantama. Srednje godišnje oborine iznose 1 122 mm, a sred-

nja godišnja temperatura u razdoblju 1946. — 1958. iznosila je 15.5 °C. Relativna vlaga zraka je prosječno godišnje 65.8%. Najčešći i najjači vjetar je jugo, zatim bura, a značajan je i maestral. Po svojim karakteristikama klima Raba je na prijelazu između maritimne i kontinentalne.

Na osnovu fitocenoloških istraživanja (Rauš, 1978) istraživani lokalitet se nalazi u Ass. *Orno-Quercetum ilicis* H-ić 1958. Subass.: *Orno-Quercetum ilicis typicum* H-ić 1958. Facies *Pinus halepensis*.

Položaj i ekološki odnosi na istraživanom lokalitetu alepskog bora na otoku Hvaru — Position and ecological relation of the investigated locality of Aleppo Pine on the island of Hvar

Otok Hvar pripada šumskogospodarskom području južnodalmatinskih zimzelenih šuma, koje područje zauzima površinu od 86 825 ha, a od toga na otoku Hvaru šume zauzimaju površinu od 15 953 ha.

Otok Hvar fitocenološki spada u područje česmине ili crnilke (*Orno-Quercetum ilicis* Hć) sa slijedećim vrstama *Quercus ilex* L., *Pinus halepensis* Mill., *Olea oleaster* L., *Phyllyrea* sp., *Myrtus communis* L., *Arbutus unedo* L., *Erica arborea* L., *Viburnum tinus* L., *Rhamnus alaternus* L., *Laurus nobilis* L., *Lonicera implexa* Art., *Lonicera etrusca* S., *Rosa sempervirens* L., *Smilax aspera* L., *Clematis flammula* L. i dr. (Klepac i Vidaković, 1977).

Istraživanja na lokalitetu Pelegrin — šumi alepskog bora (Klepac, 1960.) pokazala su da je maksimalni prirast u visinu alepskog bora oko 25. godine, a kulminacija volumnog prirasta je u 65. godini.

Gospodarenje u šumama Hvara ide u smjeru favoriziranja najvrijednijih vrsta među koje spada i alepski bor.

Brži i veći prirast pojedinih stabala alepskog bora kao i veća produkcija smole pripisuju se boljem položaju tih stabala u sastojini. Međutim, nađeno je da neka stabla naslijeđuju brži i veći prirast i veću produkciju smole.

Radi toga se i preporučuje da putem selekcije i oplemenjivanja dobijemo takove tipove koji će dati potomstvo koje će biti bolje od sada postojećih sastojina.

Autori zaključuju da je moguće postići pravilnim uzgojnim mjerama u šumama i kulturama alepskog bora na otoku Hvaru sveukupnu dobit s obzirom na navedena svojstva između 30 i 100%.

Položaj i ekološki odnosi na istraživanom lokalitetu alepskog bora na području Šumarije Zadar — Position and ecological relations of the investigated locality of Aleppo Pine in the region of the forestry district of Zadar

Pokusna ploha nalazi se u gospodarskoj jedinici Musap stan čija ukupna površina iznosi 176.58 ha. U ovoj gospodarskoj jedinici postavljeno je 70 primjernih ploha po 500 m² ili ukupno 3.5 ha. Kako je šuma jednodobna i podignuta sadnjom, to je površina primjernih ploha dovoljna da se procijeni ukupna drvena masa.

Na ovim primjernim plohama ustanovljeno je:

| | Broj stabala | Drvena masa | |
|---------------|--------------|-----------------------------|-----|
| Pinj | 1 734 | 442.40 m ³ | 65% |
| Alepski bor | 464 | 150.03 m ³ | 22% |
| Primorski bor | 135 | 50.11 m ³ | 8% |
| Crni bor | 189 | 15.40 m ³ | 2% |
| Cedar | 12 | 0.71 m ³ | — |
| Čempres | 345 | 19.74 m ³ | 3% |
| | <u>2 879</u> | <u>678.39 m³</u> | |

Smolarenje alepskog bora na ovoj lokaciji izvršeno je u odjelu 16 čija površina iznosi 6.45 ha.

Teren je ravan i kamenit s n. v. od 100 m. Ekspozicija je sjeverna. Najjači vjetar je bura.

Sastojina je podignuta pošumljavanjem sadnica i sjemenom. Sastojina je mješovita, sklop dobar.

Smjernice o budućem gospodarenju:

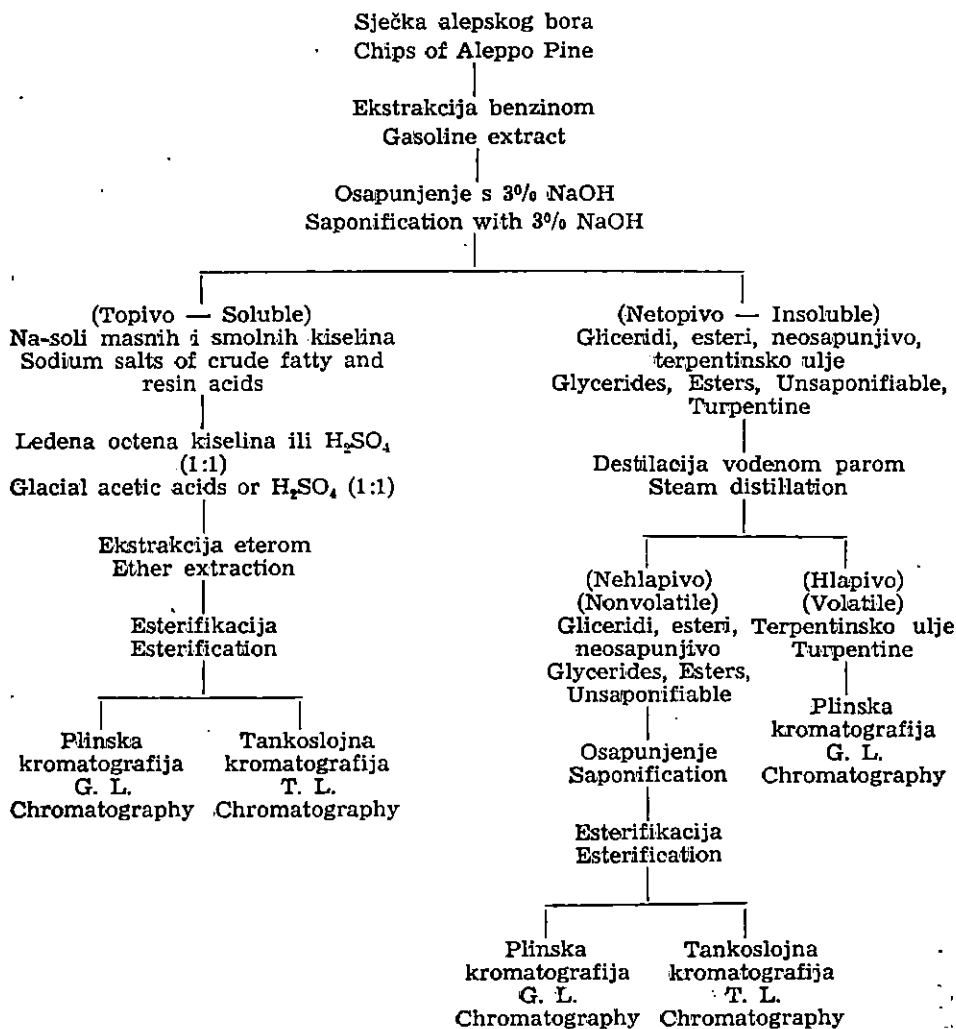
Pomlađivanje prirodnim putem i oplodnom sječom. Umjerenom proredom omogućiti razvoj pomlatka i to alepskog bora koji pokazuje najbolji prirast u visinu i debljinu, kao i sposobnost prirodnog pomlađivanja. Tu sposobnost treba omogućiti sječom pinja. Radi sačuvanja podmlatka treba zabraniti svaku ispašu. Završni sjek treba izvršiti kada podmladak bude star 10 godina kako bi se buduća sastojina sačuvala od oštećenja.

Opis pokusne plohe alepskog bora na području Šumarije Makarska — Description of the experimental surfaces of Aleppo Pine in the region of the forestry district of Makarska

Pokusna ploha nalazi se u gospodarskoj jedinici Baščanski Gaj, odjel 4 Donje Baško polje s ukupnom površinom 42.93 ha.

Teren je blago nagnut južne ekspozicije, nadmorske visine 40—60 m. Tlo sačinjava uglavnom bujični nanos i crvenica, mrvičaste strukture, dubina 15—30 cm s nešto malo humusa i mrtvog pokrova od sirovih iglica. Od grmlja uglavnom su zastupljeni elementi makije: *Pistacia lentiscus*, *Cistus* sp., *Phillyrea*, *Juniperus exycedrus*, *Erica arborea*. Vladajući vjetrovi su sa sjevera i juga.

Šuma alepskog bora podignuta je sadnjom od 1908. god. na tlu degradirane makije. U gornjem dijelu sklop je uglavnom potpun, stabla prava i zdrava, tek poneka napadnuta gljivom *Trametes pini*. U tom dijelu najviše su zastupljeni prva tri debljinska stepena s veoma dobrim i gustim ponikom. U donjem manjem dijelu sklop prekinut mjestimično s rijetkim plješinama i mladikom krivim, rašljatim i granatim. U ovom dijelu vršene su prorede za potrebe domaćinstva. U odjelu se od 1953. — 1963. vršilo smolarenje kombinacijom američke i francuske metode i upotrebom stimulatora. Smolarenje je bilo jedno od glavnih prihoda Šumarije.



Izdvajanje ekstraktivnih tvari iz sječke alepskog bora
Separation of extractives from wood chips of Aleppo Pine

ANALITIČKI POSTUPCI ZA ODREĐIVANJE SVOJSTAVA UZORAKA DRVA I SMOLE — ANALYTICAL METHODS FOR THE DETERMINATION OF THE PROPERTIES OF THE WOOD SAMPLES AND RESIN

Određivanje celuloze po Kürschner-u i Hoffer-u — Determination of cellulose by method of Kürschner and Hoffer

1 g zrakosuhog uzorka drva stavi se u tikvicu od 250 ml i tretira sa 25 ml smjese konc. HNO_3 i etanola 1 : 4. Sadržaj u tikvici zagrijava se na vodenoj kupelji uz povratno hladilo 1 sat. Nakon toga tekućina se odlije preko filter lončića, eventualno vrate čestice uzorka s filtera u tikvicu i uzorak ponovo prelije sa 25 ml smjese HNO_3 i etanola. Postupak se ponovi 3—4 puta. Za kontrolu služi negativna reakcija fluoroglucin-HCl ili klorcinkjod. Celuloza na filter lončiću ispere se sa 10 ml smjese HNO_3 -etanol, a zatim vrućom vodom do neutralne reakcije. Suši se na 105°C do konstantne težine i važe.

Određivanje lignina — Determination of lignin

Uzorak drva u količini 1—2 g prelije se u čaši od 800 ml sa 15 ml 72%-tnom H_2SO_4 i ostavi stajati 2 sata. Tada se razrijedi sa 560 ml vode, zagrije do vrenja i kuha 4 sata na malom plamenu. Poslije taloženja lignin se filtrira preko porculanskog filter lončića i ispire vrućom vodom do neutralne reakcije. Ostatak se suši pri 105°C do konstantne težine i važe.

Određivanje pepela — Determination of ash

3—5 grama uzorka stavi se u porculanski lončić i zagrijava u peći na 250°C 45 min, a zatim na 700°C 25 min. U slučaju zaostatka ugljika sadržaj se navlaži sa 3% H_2O_2 , tekućina ispari i postupak ponovi. Lončić s pepelom, nakon hlađenja, se vagne.

Određivanje vode postupkom destilacije — Determination of water by distillation

100 g uzorka stavi se u tikvicu aparature i prelije se toluenom, prethodno zasićenim vodom, da tekućina prekrije uzorak. Nakon toga sastavi se aparatura i tikvica s uzorkom zagrijava toliko da se toluen destilira brzinom 2—3 kapljice u sekundi. Grijanje je završeno kada se više ne skupljaju kapljice vode. Nakon hlađenja očitava se količina vode.

Određivanje ekstraktivnih tvari topivih u vodi — Determination of extractives soluble in water

2 g uzorka drva stavi se u Erlenmayer tikvicu od 300 ml i doda 100 ml vode. Tikvica se zagrijava na vodenoj kupelji 3 sata. Nakon toga uzorak se filtrira preko filter lončića, ispire vrućom vodom, suši pri 105°C i važe. Gubitak na težini suhog uzorka izračuna se kao postotak topljivog u vrućoj vodi.

Određivanje sadržaja terpentinskog ulja — Determination of the quantity of turpentine

Uzorak smole bez nečistoća od 150 g stavi se u tikvicu za frakcioniranje od 300 ml. Tikvica se zagrije na pješčanoj kupelji na 120 °C, a tada se uvodi vodena para. Tikvica se oprezno zagrijava do 150—160 °C. Azeotropna smjesa para vode i terpentinskog ulja nakon kondenziranja uvodi se u lijevak za odjeljivanje. Vodeni sloj se povremeno otpušta, a sama destilacija traje dok ne počne destiliranje čiste vode. Terpentinsko ulje iz lijevka za odjeljivanje odvoji se od vode i vagne.

Određivanje sadržaja kolofonija — Determination of the quantity of rosin

Ostatak uzorka nakon destilacije terpentinskog ulja zagrijava se na 160 °C, sve dok se ne odstrani zaostala voda i kolofonij ne postane homogen.

Poslije hlađenja tikvica s kolofonijem se vagne, a nakon oduzimanja težine prazne tikvice izračuna se količina kolofonija u uzorku.

Metiliranje smolnih kiselina — Methylation of resin acids

Smolne kiseline esterificirane su svježe destiliranom otopinom diazometana u eteru, koji je dodavan kap po kap u oko 1%-tnu otopinu smolnih kiselina u eter-metanolu (9 : 1) pri 0 °C. Završetak reakcije indicira pojava slabo žute boje ili prestanak pojave mjehurica.

Izolacija smolnih kiselina — Isolation of resin acids

200 g smole otopi se u 600 g gasolina (90—100 °C) pri 40 °C i zatim doda 41 g cikloheksilamina otopljenog u 41 g gasolina. Temperatura pri otapanju ne smije prijeći 50 °C. Stvoreni talog se pomiješa i suspenzija hladi na ledu. Talog se odfiltrira i ispire sa 200 g svježeg otapala. Talog se suši na zraku preko noći i zatim suspendira u eteru i uz zasićenu otopinu H₃BO₃ mučka sve dok se kristali amino soli smolnih kiselina ne otope. Eterska otopina se dva puta ispire vodom, suši i eter ispari ispod 50 °C.

Kiselinski broj — Acid number

Uzorak od 4 g stavi se u Erlenmayer-tikvicu od 250 ml, doda 100 ml 95% etanola i uzorak se zagrije po potrebi. Otopina se zatim titrira s 0.5 N NaOH ili KOH uz 1 ml 1%-tne otopine fenolftaleina.

$$\text{Kiselinski broj} = \frac{\text{ml NaOH} \cdot \text{normalitet NaOH} \cdot 56.1}{\text{g uzorka}}$$

Saponifikacijski broj — Saponification number

Uzorak od 4 g svježe usitnjenog kolofonija otopi se u 50 ml 95% etanola u Erlenmayer tikvici od 300 ml. Dodaje se 50 ml alkoholne otopine KOH (33 g KOH/1 l). Tikvica se s povratnim vodenim hladilom zagrijava na vodenoj kupelji 1 sat. Otopina se ohladi i titrira s 0.5 N H₂SO₄ s fenolftaleinom kao indikatorom.

$$\text{Saponifikacijski broj} = \frac{(b - a) \cdot N \cdot 56.1}{g \text{ uzorka}}$$

gdje je a = ml za titraciju uzorka, b = ml za titraciju slijepog uzorka, N = normalitet H₂SO₄.

Neosapunjive tvari — Unsaponifiable matter

2—2.5 g uzorka stavi se u Erlenmayer tikvicu od 200 ml s brušenim grlom. Dodaje se 25 ml etanola i 1.5 ml otopine KOH (60 g KOH otopljenog u 40 ml vode) i promiješa. Tikvica se uz povratno vodeno hladilo grije na vodenoj kupelji 30 min. Nakon hlađenja sadržaj se prenese u lijevak za odjeljivanje od 250 ml i ispiri sa 50 ml vode. Erlenmayer tikvica se ispire sa 50 ml etera koji se prenese u lijevak za odjeljivanje. Sadržaj lijevka se ohladi na 20—25 °C. Lijevak se zatvori i snažno mućka s povremenim otpuštanjem para etera. Nakon odvajanja slojeva donji vodeni sloj se ispusti u čašu, a eterski sloj se prenese u drugi lijevak za odjeljivanje koji sadrži 20 ml vode. Vodeni sloj se prenese u prvi lijevak za odjeljivanje i ekstrakcija ponovi dva puta sa 50 ml etera. Eterski ekstrakti se spoje u drugom lijeku za odjeljivanje.

Spojeni eterski ekstrakti laganim rotiranjem ispiru se s vodom. Vodeni sloj se ispusti. Eterski sloj se ispiri dva puta s po 20 ml vode, ali sada snažnim mućkanjem. Vodeni sloj se ispusti, a eterska otopina se ispiri tri puta s po 20 ml 0.5 N KOH (30 g KOH na 1 l) i tri puta uzastopno s po 20 ml vode. Konačno se eterska otopina ispiri s po 20 ml vode do neutralne reakcije s fenolftaleinom. Eter se ispari na vodenoj kupelji, a isparni ostatak suši do konstantne težine i važe.

Određivanje tal ulja u crnom lugu — Determination of tall oil in black liquor

Okolo 800 g homogenog crnog luga prenese se u plastičnu bocu od 4 l i razrijedi do specifične težine od 1.030 ili oko 5% suhe tvari. Ukupna količina suhe tvari razrijeđenog crnog luga odredi se sušenjem 10 ml pri 105 °C.

Alikvotni dio od 100 ml razrijeđenog crnog luga pipetira se u lijevak za odjeljivanje od 500 ml, dodaje se 5 ml otopine H₂O₂ (3 dijela 30% H₂O₂ sa dva dijela vode) i snažno promućka. Poslije 1 min dodaje se 5 ml otopine Na₂SO₃ (20 g Na₂SO₃ u 100 ml vode), promiješa i dodaje 10 ml 6 N HCl.

Zatim se dodaje 200 ml acetona, 50 ml metanola i dobro promućka. Lignin, koji se prilikom zakiseljavanja taložio, sada se otapa. Na to se dodaje

150 ml petroleum etera i lijevak mućka 10 minuta. Nakon stajanja od 5 minuta donji sloj se prenese u drugi lijevak za odjeljivanje. Petroleum eterski sloj se ispere dva puta sa 25 ml smjese voda-aceton-metanol (1 : 2 : 1) i vodeni sloj prenese u drugi lijevak za odjeljivanje.

Vodeni sloj se ekstrahira s novih 100 ml petroleum etera ispere sa smjesom i oba ekstrakta spoje. Petroleter se ispari i ostatak suši pri 105 °C 30 min, hladi i važe.

Određivanje sadržaja mehaničkih nečistoća — Determination of quantity of mechanical impurities

Od uzorka smole uzme se 700 g i zagrije na 80 °C. Nakon zagrijavanja uzorak se filtrira kroz emajlirani lijevak koji na dnu ima bakrenu mrežicu sa 100 otvora/cm². Lijevak se grije vodenom parom koja prolazi kroz zmijsoliku bakarnu cijev koja opkoljava lijevak. Nečistoće zaostale na mrežici isperu se benzenom, osuše i vagnu.

Određivanje temperature omekšanja kolofonija — Determination of the softening point of rosin

Ovo određivanje provedeno je prema metodici opisanoj po V. P. Smarkov i L. V. Gordonu (1956).

Uzorki kolofonija se zagriju na 130 °C i zatim kolofonij naliže u staklenu cjevčicu, koja se nalazi u posebnom stalku, do dubine od 5 mm. Poslije hlađenja zagrijanim nožem odstrani se višak kolofonija. Zatim se staklene cjevčice s kolofonijem stave u aparaturu i oprezno stave utezi promjera 5.8 mm i težine točno 8 g. Sada se u čašu stavi 350 ml destilirane vode zagrijane na 12—15 °C niže od očekivane temperature omekšanja i zatim vrši zagrijavanje brzinom 2 ± 0.3 °C na minutu. Ako je srednja brzina zagrijavanja manja od 1.7 °C ili viša od 2.3 °C na minutu, analiza se mora ponoviti.

Kada se kolofonij omekša, voda prodire odozdo i u tom momentu očita se temperatura. Mjerenja koja se razlikuju više od 1.2 °C od srednje aritmetičke vrijednosti moraju se zanemariti.

Priprema otopine diazometana — Preparation of solution of diazomethane

Otopi se 2.14 g p-tolylsulphonylmethylnitrosamida u 30 ml etera, ohladi na ledu i doda otopina 0.4 g KOH u 10 ml 96% etanola. Ako se stvori talog, dodaje se etanola do otapanja taloga. Poslije 5 minuta predestilira se eterska otopina diazometana. Eterska otopina sadrži 0.31—0.35 g diazometana.

Diazometan-eterska otopina mora biti bezvodna. U slučaju sumnje dodaju se zrnca KOH. Bezvodna otopina može se čuvati u hladnjaku oko 1 tjedan. Boca mora biti snabdjevena sa cijevi CaCl₂ ili pamukom.

Metiliranje s diazometanom — Methylation with diazomethane.

Otopi se 2—3 g spoja u malo bezvodnog etera ili apsolutnog metanola, ohladi na ledu i dodaje otopina diazometana u malim porcijama sve do prestanka razvijanja plinova ili do pojave svijetložute boje.

Plinska kromatografija terpentinskog ulja i smolnih kiselina — Gas-liquid chromatography of turpentine and resin acids

Analiza uzoraka terpentinskog ulja plinsko-kromatografskom metodom obavljena je u Institutu Ruđer Bošković, Centar za istraživanja mora u Rovinju. Uzorci su pripremljeni kao 10% otopina u CS_2 . Kolona je bila Apiezon L pri 60 °C 8 min., a zatim od 60 °C—150 °C 8 °C/min.)

Druga serija analiza uzoraka terpentinskog ulja plinsko-kromatografskom metodom izvedena je u Institutu OKI u Zagrebu na aparatu PYE UNICAM 204. Kolona FFAP SCOT 20 m, programirana 65 °C (4 min) i 6 °C/min do 120 °C. Plin nosilac je argon, a količina uzorka 0.2 μ l. Integrator SPECTRA PHYSICS.

Drugi dio uzoraka izrađen je na aparatu PYE UNICAM 204 na koloni SCOTT SP 1000 (CARBOWAX 20 M, obrađen s tereftalnom kiselinom) dužine 32 m, a ϕ 0.5 mm (Firma S. G. E. MELBOURNE).

»Split« injektor, omjer 20 : 1; temperatura kolone 90 °C/2 min, 8 °C/1 min \rightarrow 190 °C. Temperatura detektora i injektora 250 °C, plin nosilac argon 2 ml/min. Integrator VARIAN AEROGRAPH MODEL 485.

Plinsko-kromatografska analiza smolnih kiselina izvedena je u Institutu SOUR CHROMOS-KATRAN-KUTRILIN u Zagrebu. Aparat je bio marke HEWLETT PACKARD 5700 A. Detektor je bio plameno-ionizacijski na 250 °C, a injektor na 250 °C. Kolona je bila punjena s DEGS 10% na W. H. P. 80—100, dužine 6 FT. Plin nosilac je dušik 16.4 ml/min.

Tankoslojna kromatografija smolnih kiselina — Thin layer chromatography of resin acids

Na staklene ploče firme MERCK sa silika-gelom F₂₅₄, debljina sloja 0.25 mm, veličine 20 x 20 cm, nanášeno je u obliku spreja 12.5% $AgNO_3$. Ploče su sušene na zraku u tamnoj komori. Prije upotrebe ploče su aktivirane na 110 °C u toku 30 min.

Metilni esteri smolnih kiselina pripremljeni su svježom otopinom diazometanu u eteru. Ploče su zatim razvijene u benzenu.

Razvijene ploče tretirane su 10%-tnom otopinom $SbCl_5$ u kloroformu čime su mrlje poprimile skalnu boju, a zatamnjenje boja postignuto je zagrijavanjem ploča pri 100 °C u toku 10 min.

Druga serija razvijenih ploča podvrgnuta je UV analizi na aparatu DUAL-WAVELENGTH TLC SCANNER CS-900, firme SHIMADZU SEISAKUSHO LTD KYOTO JAPAN, u Institutu SOUR CHROMOS-KATRAN-KUTRILIN.

REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA — RESULTS OF INVESTIGATIONS AND DISCUSSION

Kemijski sastav uzoraka drva alepskog bora — Chemical composition of the wood samples of Aleppo Pine

Provedena su osnovna istraživanja kemijskog sastava uzoraka debla sa pojedinog lokaliteta: Rab, Hvar, Zadar i Makarska. Rezultati se nalaze u granicama vrijednosti za tu vrstu drva.

Tab. 7. Kemijski sastav uzoraka alepskog bora — Chemical composition of samples of Aleppo Pine

| | Ekstraktivna tvar Extractives soluble in organic solvents % | Celuloza Cellulose % | Lignin Lignin % | Pentozani Pentozans % | Vodeni ekstrakt Extractives soluble in water % | Pepeo Ash % |
|-------------------------------|---|----------------------------|-----------------------|-----------------------------|--|-------------------|
| Rab: | | | | | | |
| srž — Heartwood | 21.28 | 40.58 | 21.19 | 9.66 | 9.76 | 0.35 |
| bijel — Sapwood | 2.93 | 45.99 | 28.86 | 8.75 | 10.59 | 0.30 |
| srž+bijel — Heartwood+Sapwood | 11.38 | 41.92 | 22.85 | 9.07 | 9.88 | 0.42 |
| Hvar: | | | | | | |
| srž — Heartwood | 1.88 | 47.03 | 26.29 | 8.81 | 9.57 | 0.66 |
| bijel — Sapwood | 2.19 | 49.20 | 26.22 | 9.88 | 6.97 | 0.50 |
| srž+bijel — Heartwood+Sapwood | 2.18 | 50.96 | 24.13 | 9.76 | 8.54 | 0.55 |
| Zadar: | | | | | | |
| srž — Heartwood | 4.79 | 45.15 | 25.08 | 10.52 | 9.92 | 1.24 |
| bijel — Sapwood | 4.32 | 46.30 | 24.77 | 8.06 | 9.60 | 0.18 |
| srž+bijel — Heartwood+Sapwood | 4.65 | 44.84 | 25.40 | 9.59 | 12.25 | 0.28 |
| Makarska: | | | | | | |
| srž — Heartwood | 3.02 | 49.20 | 29.03 | 7.40 | 6.10 | 0.58 |
| bijel — Sapwood | 2.26 | 51.31 | 28.30 | 6.79 | 2.58 | 0.46 |
| srž+bijel — Heartwood+Sapwood | 5.33 | 47.89 | 28.88 | 6.79 | 7.63 | 0.55 |

Rezultati analiza za ekstraktivnu tvar ispitivanih uzoraka pokazuju da je uzorak s lokaliteta Rab imao najveću vrijednost od 21.28% u srži, a uzorak s lokaliteta Hvar najmanju vrijednost od 1.88% također u srži. Ako se uspoređuju rezultati u prirodnom odnosu srž + bijel, za istražene uzorke dobili smo najveću vrijednost u uzorku s lokaliteta Rab od 11.38%, a najmanju u uzorku s lokaliteta Hvar od 2.18%.

Najvišu vrijednost ekstraktivnih tvari u kori alepskog bora ima uzorak s lokaliteta Zadar od 8.84%, a najnižu vrijednost uzorak kore s lokaliteta Rab od 3.07%.

Tab. 8. Analiza kore alepskog bora — Analysis of bark of Aleppo Pine

| | Voda Water % | Ekstraktivna tvar Extractives soluble in organic solvents % | Pepeo Ash % | Tanin Tannin % | Netanin Non- tannin % | Netopivo Insoluble solids % | Pentozani Pentozans % |
|------------------------|--------------------|--|-------------------|----------------------|--------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| Rab | 33.53 | 3.07 | 3.27 | — | — | — | — |
| Rab | 35.40 | — | — | 8.68 | 1.99 | 53.93 | 7.53 |
| Hvar | 15.48 | 6.46 | 1.52 | — | — | — | — |
| Hvar — panj — stump | 10.00 | 7.65 | — | — | — | — | — |
| Zadar | 22.76 | 8.84 | 1.64 | — | — | — | — |
| Makarska | 12.50 | 3.83 | 2.61 | — | — | — | — |

Sastav i fizikalno-kemijska svojstva smole dobivene smolarenjem alepskog bora — Composition and physico-chemical properties of resin obtained by tapping of Aleppo Pine

Sastav smole na istraživanim lokalitetima prikazan je u tablici broj 9. Iz rezultata je vidljivo da je sadržaj terpentinskog ulja u smoli na lokalitetu Makarska 20.48—24.77% i lokalitetu Hvar 21.38—24.70% bio nešto viši nego na lokalitetima Rab 18.35—20.93% i Zadar 17.41—22.06%.

Sadržaj vode i nečistoća na istraživanim lokalitetima kretao se u granicama koje su bile uvjetovane prilikama u vrijeme smolarenja. Međutim, svi istraživani uzorci, na sva četiri lokaliteta — Rab, Hvar, Zadar i Makarska — mogu se svrstati u smolu I klase prema JUS standardu H. L. 2.020.

Iz tablice broj 10 u kojoj su prikazana fizikalna svojstva terpentinskog ulja, možemo zaključiti da su uzorci terpentinskog ulja iz lokaliteta Rab po svojim svojstvima najujednačeniji.

Veća odstupanja za vrijednost $[\alpha]_D^{20}$ od +14.99 do +48.31 nalazimo kod uzoraka lokaliteta Hvar.

Kod uzoraka terpentinskog ulja lokaliteta Zadar i Makarska nalazimo i negativne vrijednosti za $[\alpha]_D^{20}$, što kod uzoraka Rab i Hvar nije bio slučaj.

Vrijednosti za d^{20} i n^{20} za uzorke lokaliteta Zadar i Makarska, također, se kreću u većem rasponu nego kod uzoraka Rab i Hvar.

Sertić V.: Fizikalno-kemijska svojstva smole alepskog bora (*Pinus halepensis* Mill.) dobivene različitim tehnološkim postupcima. Glasnik za šum. pokuse 22:87—181, 1984.

Tab. 9. Sastav smole dobivene smolarenjem — Composition of resin obtained by tapping

| R A B | | Broj stabla — Tree number | | | | |
|--------------------------------|---|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Voda — Water | % | — | — | — | 0.16 | — |
| Nečistoće — Impurity | % | 0.11 | 0.38 | 0.10 | 0.03 | 0.05 |
| Terpentinsko ulje — Turpentine | % | 18.41 | 18.98 | 20.93 | 20.29 | 18.35 |
| Kolofonij — Rosin | % | 82.08 | 78.05 | 80.48 | 78.77 | 77.45 |
| H V A R | | Broj stabla — Tree number | | | | |
| | | 2 | 3 | 4 | 6 | 8 |
| Voda — Water | % | 5.86 | 4.74 | 3.12 | 3.23 | 2.56 |
| Nečistoće — Impurity | % | 0.15 | 0.34 | 0.09 | 0.38 | 0.14 |
| Terpentinsko ulje — Turpentine | % | 24.70 | 24.47 | 23.80 | 21.38 | 22.70 |
| Kolofonij — Rosin | % | 70.52 | 69.97 | 70.41 | 74.75 | 72.34 |
| Z A D A R | | Broj stabla — Tree number | | | | |
| | | 2 | 4 | 7 | 8 | 9 |
| Voda — Water | % | — | — | — | — | — |
| Nečistoće — Impurity | % | 0.56 | 1.64 | 0.91 | 0.63 | 0.45 |
| Terpentinsko ulje — Turpentine | % | 21.73 | 17.41 | 21.34 | 22.06 | 21.63 |
| Kolofonij — Rosin | % | 75.41 | 79.18 | 74.90 | 74.01 | 67.79 |
| M A K A R S K A | | Broj stabla — Tree number | | | | |
| | | 1 | 5 | 7 | 9 | 10 |
| Voda — Water | % | 1.88 | 3.20 | 2.32 | 3.72 | 2.73 |
| Nečistoće — Impurity | % | 0.17 | 0.21 | 0.14 | 0.11 | 0.07 |
| Terpentinsko ulje — Turpentine | % | 24.48 | 21.43 | 24.77 | 22.65 | 20.48 |
| Kolofonij — Rosin | % | 73.49 | 75.08 | 73.79 | 73.52 | 72.49 |

Tab. 10. Fizikalna svojstva terpentinskog ulja dobivenog smolarenjem — Physical properties of turpentine obtained by tapping

| RAB | Broj stabla — Tree number | | | | |
|-------------------|---------------------------|----------|----------|----------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| d^{20} | 0.8608 | 0.8603 | 0.8609 | 0.8605 | 0.8646 |
| n_D^{20} | 1.46707 | 1.46732 | 1.46678 | 1.47230 | 1.46836 |
| $[\alpha]_D^{20}$ | +49.27 | +51.69 | +48.39 | +48.07 | +48.24 |
| KB — Acid number | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.17 |
| HVAR | 2 | 3 | 4 | 6 | 8 |
| d^{20} | 0.8634 | 0.8620 | 0.8581 | 0.8793 | 0.9264 |
| n_D^{20} | 1.46846 | 1.46783 | 1.46678 | 1.47023 | 1.47886 |
| $[\alpha]_D^{20}$ | +48.31 | +39.84 | +47.57 | +40.44 | +14.99 |
| KB — Acid number | 0.77 | 0.60 | 0.21 | 0.71 | 2.93 |
| ZADAR | 2 | 4 | 7 | 8 | 9 |
| d^{20} | 0.8688 | 0.8586 | 0.8613 | 0.8707 | 0.8628 |
| n_D^{20} | 1.46927 | 1.46964 | 1.46927 | 1.47125 | 1.46927 |
| $[\alpha]_D^{20}$ | +43.40 | -37.86 | -45.15 | -38.28 | +45.39 |
| KB — Acid number | 0.0 | 0.47 | 0.43 | 0.85 | 0.0 |
| MAKARSKA | 1 | 5 | 7 | 9 | 10 |
| d^{20} | 0.8601 | 0.8607 | 0.9190 | 0.8590 | 0.9502 |
| n_D^{20} | 1.46777 | 1.46983 | 1.47753 | 1.46697 | 1.48239 |
| $[\alpha]_D^{20}$ | +48.46 | -34.28 | +22.69 | +39.48 | +14.61 |
| KB — Acid number | 0.21 | 0.95 | 1.49 | 0.47 | 2.81 |

Tab. 11. Kemijski sastav terpentinskog ulja dobivenog smolarenjem — Chemical composition of turpentine obtained by tapping

| Terpeni Terpenes | RRT | R1 % | H1 % | Z1 % | M1 % |
|--|------|---------|---------|---------|---------|
| α -pinen — α -Pinene | 1.00 | 95.29 | 96.03 | 80.21 | 97.31 |
| β -pinen — β -Pinene | 1.51 | 2.25 | 1.50 | 9.88 | 0.77 |
| Δ^3 -karen — Δ^3 -Carene | 2.00 | 0.16 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Limonen — Limonene | 2.16 | 0.25 | 0.25 | 4.20 | 0.67 |
| Terpinolen — Terpinolene | 2.56 | 0.08 | 0.12 | 0.0 | 0.13 |
| Nepoznato — Unknown | — | 1.97 | 2.10 | 5.71 | 1.12 |

Uzorci terpentinskog ulja — The samples of turpentine:

- R 1 — lokalitet — Locality — Rab, broj stabla — tree number — 3
- H 1 — lokalitet — Locality — Hvar, broj stabla — tree number — 4
- Z 1 — lokalitet — Locality — Zadar, broj stabla — tree number — 7
- M 1 — lokalitet — Locality — Makarska, broj stabla — tree number — 1
- RRT — relativno vrijeme zadržavanja, — Relative Retention Time

U tablici 11 prikazan je kemijski sastav po jednog uzorka terpentinskog ulja svakog lokaliteta. To su bila prethodna istraživanja metodom plinske kromatografije, provedena na ukupno 40 uzoraka, na koloni Apiezon L pri 60 °C 8 min., a zatim od 60 °C—150 °C 8 °C/min. Iz kromatograma bilo je moguće identificirati samo 5 monoterpena.

Ovim rezultatima nismo mogli biti zadovoljni pa smo nastavili istraživanje na novoj aparaturi i koloni za plinsku kromatografiju. Kolona je bila FFAD SCOT 20 m, programirana 65 °C — 4 min i 6 °C/min do 120 °C.

Tab. 12. Kemijski sastav terpentinskog ulja dobivenog smolarenjem — Chemical composition of turpentine obtained by tapping

| Terpeni Terpenes | RRT | R 2 % | H 2 % | Z 2 % | M 2 % |
|--|------|----------|----------|----------|----------|
| α -pinen — α -Pinene | 1.00 | 95.85 | 94.61 | 82.94 | 90.18 |
| Kamfen — Camphene | 1.05 | 0.90 | 0.92 | 1.15 | 1.01 |
| β -pinen — β -Pinene | 1.20 | 0.69 | 0.50 | 7.20 | 0.69 |
| Mircen — Myrcene | 1.26 | 0.05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Δ^3 -karen — Δ^3 -Carene | 1.40 | 0.19 | 0.02 | 0.04 | 0.99 |
| α -terpinen — α -Terpinene | 1.48 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Limonen — Limonene | 1.53 | 0.35 | 0.23 | 0.88 | 3.11 |
| γ -terpinen — γ -Terpinene | 1.74 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Terpinolen — Terpinolene | 1.87 | 0.36 | 0.32 | 3.34 | 1.26 |
| Nepoznato — Unknown | — | 1.61 | 3.40 | 4.45 | 2.76 |

Uzorci terpentinskog ulja — The samples of turpentine:

- R 2 — lokalitet — Locality — Rab, broj stabla — tree number — 1
- H 2 — lokalitet — Locality — Hvar, broj stabla — tree number — 2
- Z 2 — lokalitet — Locality — Zadar, broj stabla — tree number — 7
- M 2 — lokalitet — Locality — Makarska, broj stabla — tree number — 1

Rezultatima prikazanim u tablici 12 možemo biti vrlo zadovoljni jer po svojoj kvaliteti odgovaraju najnovijim podacima iz literature.

Na osnovi prethodnih istraživanja terpentinskog ulja, provedenih na uzorcima dobivenim destilacijom smole, odlučili smo da završna ispitivanja provedemo na aparaturi PYE UNICAM 204 s kapilarnom kolonom SCOTT SP 1000 (CARBOWAX 20 M obrađen s tereftalnom kiselinom) dužine 32 m, ϕ 0.5 mm, firme S. G. E. MELBOURNE, u Institutu OKI u Zagrebu.

Rezultati istraživanja prikazani su u tablicama 13 i 14.

Uzorci terpentinskog ulja iz lokaliteta Rab i Hvar odlikuju se visokim sadržajem pinenske frakcije: α -pinen + β -pinen u svim uzorcima iznosio je $> 90\%$, što daje posebnu vrijednost terpentinskom ulju alepskog bora.

Iako su neki autori *Mirov et al.* (1966) utvrdili za pojedine regije alepskog bora u Mediteranu da terpentinsko ulje ne sadrži Δ^3 -karen, naši podaci, kao i podaci iz Španjolske (*Lamprecht et al.*, 1965.), pokazuju suprotno. Međutim, možda bi se daljnjim detaljnijim istraživanjima mogao naći odgovor u mogućnosti utjecaja brucijskog bora, odnosno prije spomenuta mogućnost stvaranja spontanih križanaca ovih dviju vrsta. Uzorci iz lokaliteta Zadar i Makarska imaju visok sadržaj pinenske frakcije, ali u odnosu na uzorke iz lokaliteta Rab i Hvar imaju izrazito veći sadržaj β -pinena i Δ^3 -karena pa u slučaju ovih uzoraka terpentinskog ulja iz lokaliteta Zadar i Makarska možemo kemijski sastav tumačiti posljedica križanja alepskog i brucijskog bora.

Tab. 13. Kemijski sastav terpentinskog ulja dobivenog smolarenjem — Chemical composition of turpentine obtained by tapping

| Terpeni Terpenes | RRT | R 3 % | R 4 % | H 3 % | H 4 % |
|--|------|----------|----------|----------|----------|
| α -pinen — α -Pinene | 1.00 | 90.18 | 85.44 | 89.02 | 96.64 |
| Kamfen — Camphene | 1.10 | 3.41 | 4.86 | 0.0 | 0.0 |
| β -pinen — β -Pinene | 1.21 | 1.81 | 2.85 | 3.83 | 1.46 |
| Mircen — Myrcene | 1.26 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Δ^3 -karen — Δ^3 -Carene | 1.35 | 0.89 | 2.99 | 3.01 | 0.47 |
| α -terpinen — α -Terpinene | 1.44 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Limonen — Limonene | 1.51 | 0.16 | 0.56 | 2.65 | 0.29 |
| γ -terpinen — γ -Terpinene | 1.84 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Terpinolen — Terpinolene | 1.90 | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.09 |
| Nepoznato — Unknown | — | 3.49 | 3.21 | 1.41 | 1.04 |

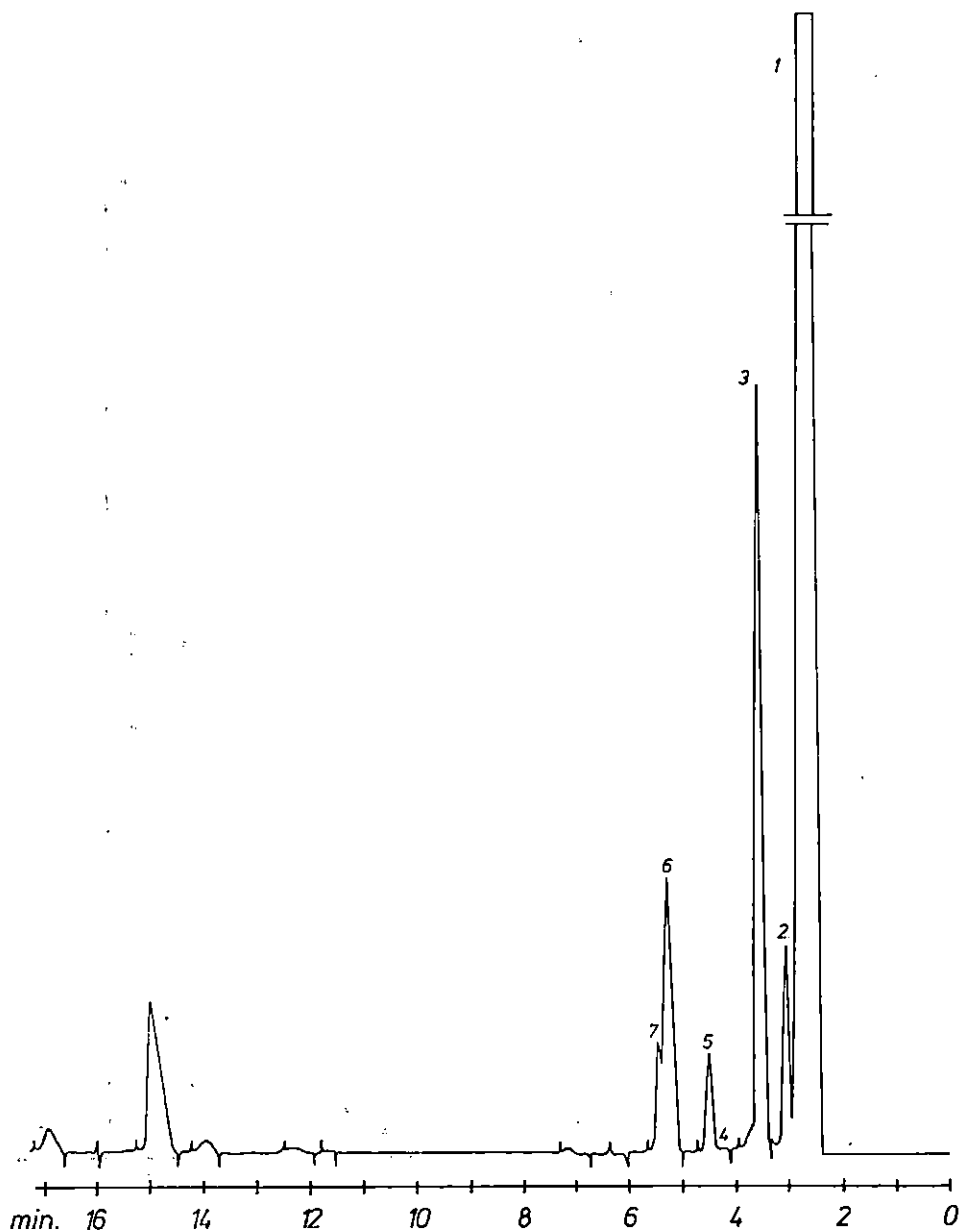
Uzorci terpentinskog ulja — The samples of turpentine:

R 3 — lokalitet — Locality — Rab, broj stabla — tree number — 2

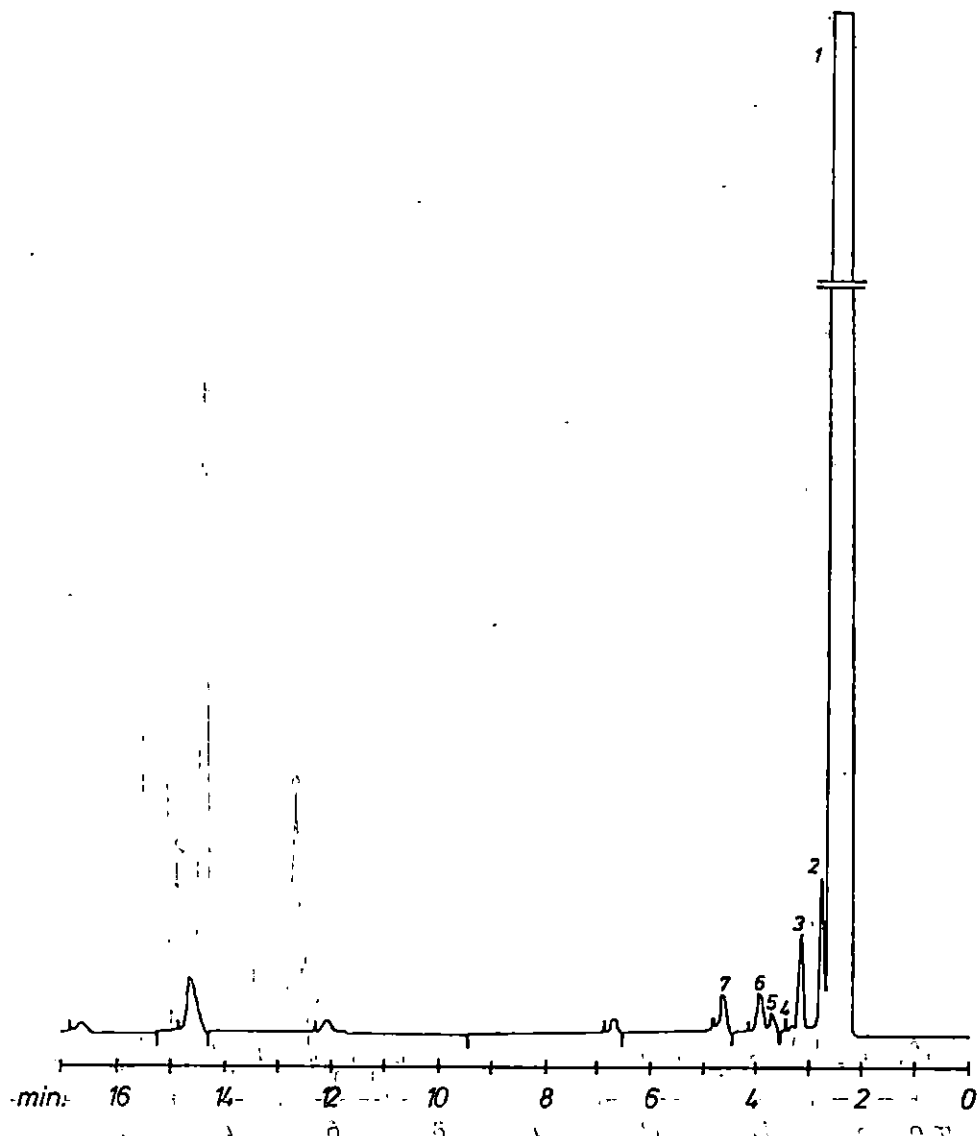
R 4 — lokalitet — Locality — Rab, broj stabla — tree number — 3

H 3 — lokalitet — Locality — Hvar, broj stabla — tree number — 3

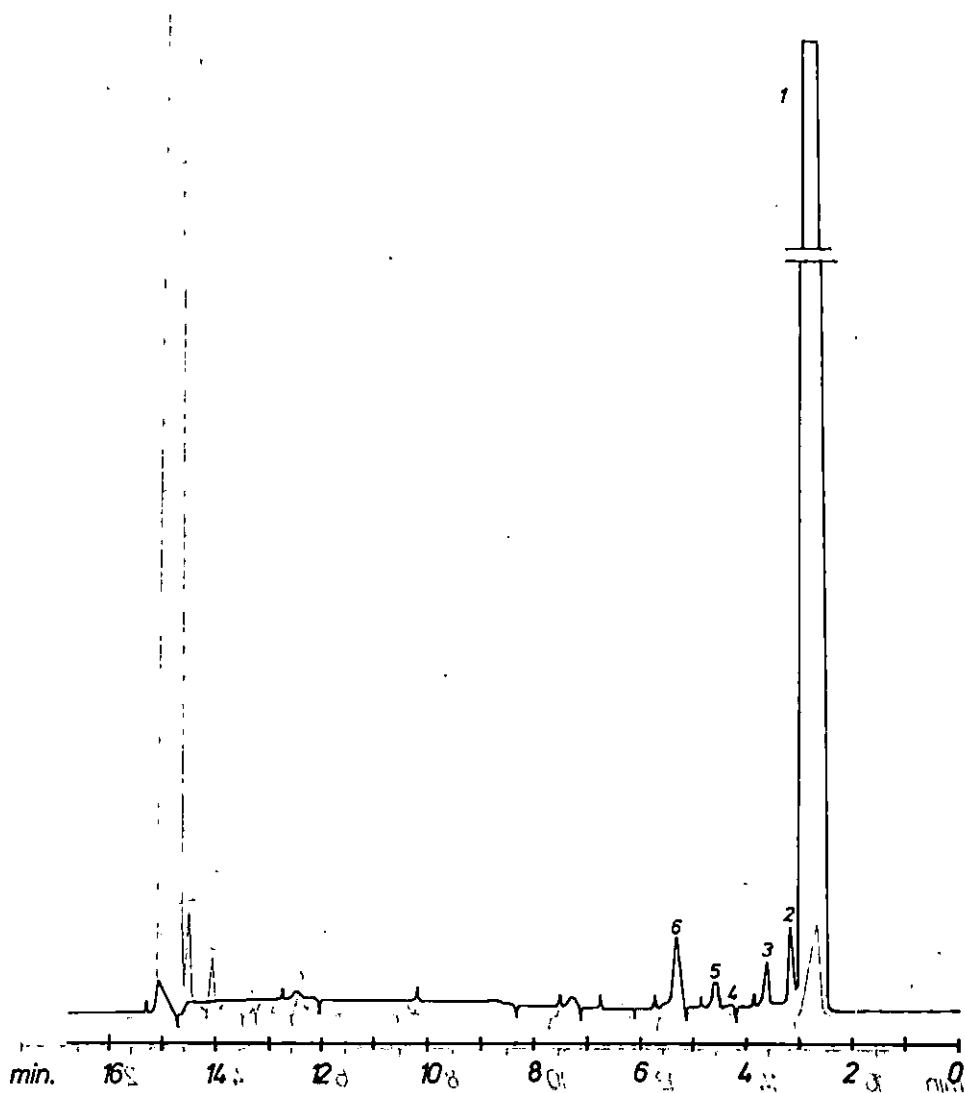
H 4 — lokalitet — Locality — Hvar, broj stabla — tree number — 4



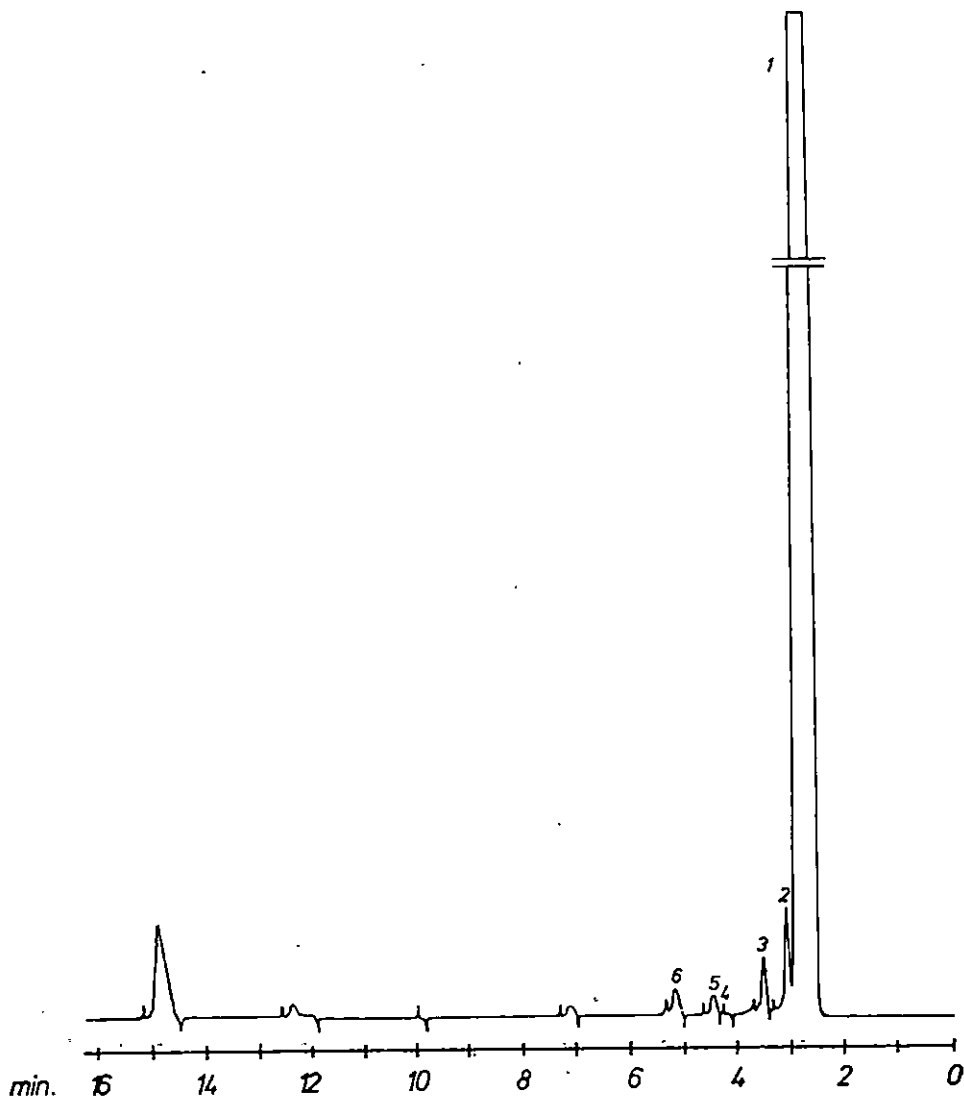
Sl. — Fig. 8. Kromatogram terpentinskog ulja Rab 2 — Chromatogram of turpentine Rab 2: 1 = α -pinen — α -Pinene, 2 = kamfen — Camphene, 3 = β -pinen — β -Pinene, 4 = mircen — Myrcene, 5 = Δ^3 -karen — Δ^3 -Carene, 6 = limonen — Limonene, 7 = terpinolen — Terpinolene



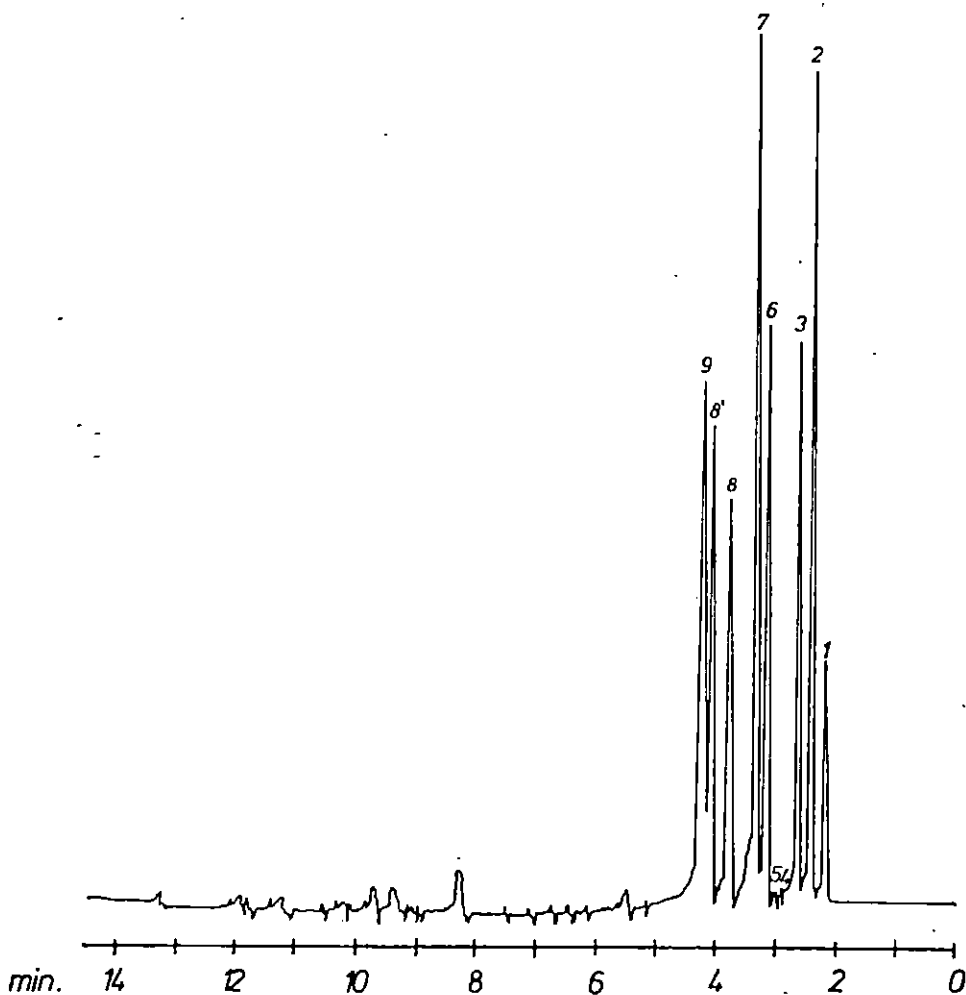
Sl. — Fig. 9. Kromatogram terpentinskog ulja Hvar 2 — Chromatogram of turpentine Hvar 2: 1 = α -pinen — α -Pinene, 2 = kamfen — Camphene, 3 = β -pinen — β -Pinene, 4 = Δ^3 -karen — Δ^3 -Carene, 5 = limonen — Limonene, 6 = terpinolen — Terpinolene



Sl. — Fig. 10.) Kromatogram terpentinskog ulja Zadar; 2) — Chromatogram of turpentine Zadar; 2) 1) = α -pinen — α -Pinene, 2) = kamfen — Camphene, 3) = β -pinen — β -Pinene; 4 = Δ^3 -karen — Δ^3 -Carene; 5) = limonen — Limonene, 6) = terpinolen — Terpinolene



Sl. — Fig. 11. Kromatogram terpentinskog ulja Makarska 2 — Chromatogram of turpentine Makarska 2: 1 = α -pinen — α -Pinene, 2 = kamfen — Camphene, 3 = β -pinen — β -Pinene, 4 = Δ^3 -karen — Δ^3 Carene, 5 = limonen — Limonene, 6 = terpinolen — Terpinolene



Sl. — Fig. 12. Kromatogram smjese monoterpena — Chromatogram of the mixture of monoterpenes: 1 = α -pinen — α -Pinene, 2 = kamfen — Camphene, 3 = β -pinen — β -Pinene, 4 = mircen — Myrcene, 5 = Δ^3 -karen — Δ^3 -Carene, 6 = α -terpinen — α -Terpinene, 7 = limonen — Limonene, 8 = γ -terpinen — γ -Terpinene, 9 = terpinolen — Terpinolene.

Tab. 14. Kemijski sastav terpentinskog ulja dobivenog smolarenjem — Chemical composition of turpentine obtained by tapping

| Terpeni Terpenes | RRT | Z 3 % | Z 4 % | M 3 % | M 4 % |
|--|------|----------|----------|----------|----------|
| α -pinen — α -Pinene | 1.00 | 87.86 | 76.53 | 69.23 | 84.40 |
| Kamfen — Camphene | 1.10 | tr. | 2.29 | 5.40 | 4.21 |
| β -pinen — β -Pinene | 1.21 | 5.55 | 10.57 | 12.09 | 2.42 |
| Mircen — Myrcene | 1.26 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Δ^2 -karen — Δ^2 -Carene | 1.35 | 4.08 | 4.39 | 6.54 | 2.15 |
| α -terpinen — α -Terpinene | 1.44 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Limonen — Limonene | 1.51 | 0.84 | 0.87 | 1.17 | 3.00 |
| γ -terpinen — γ -Terpinene | 1.84 | 0.0 | 1.23 | 0.20 | 0.01 |
| Terpinolen — Terpinolene | 1.90 | 0.08 | 0.03 | 0.02 | tr. |
| Nepoznato — Unknown | — | 1.59 | 5.00 | 5.35 | 3.79 |

Uzorci terpentinskog ulja — The samples of turpentine:

- Z 3 — lokalitet — Locality — Zadar, broj stabla — tree number — 2
- Z 4 — lokalitet — Locality — Zadar, broj stabla — tree number — 4
- M 3 — lokalitet — Locality — Makarska, broj stabla — tree number — 5
- M 4 — lokalitet — Locality — Makarska, broj stabla — tree number — 7

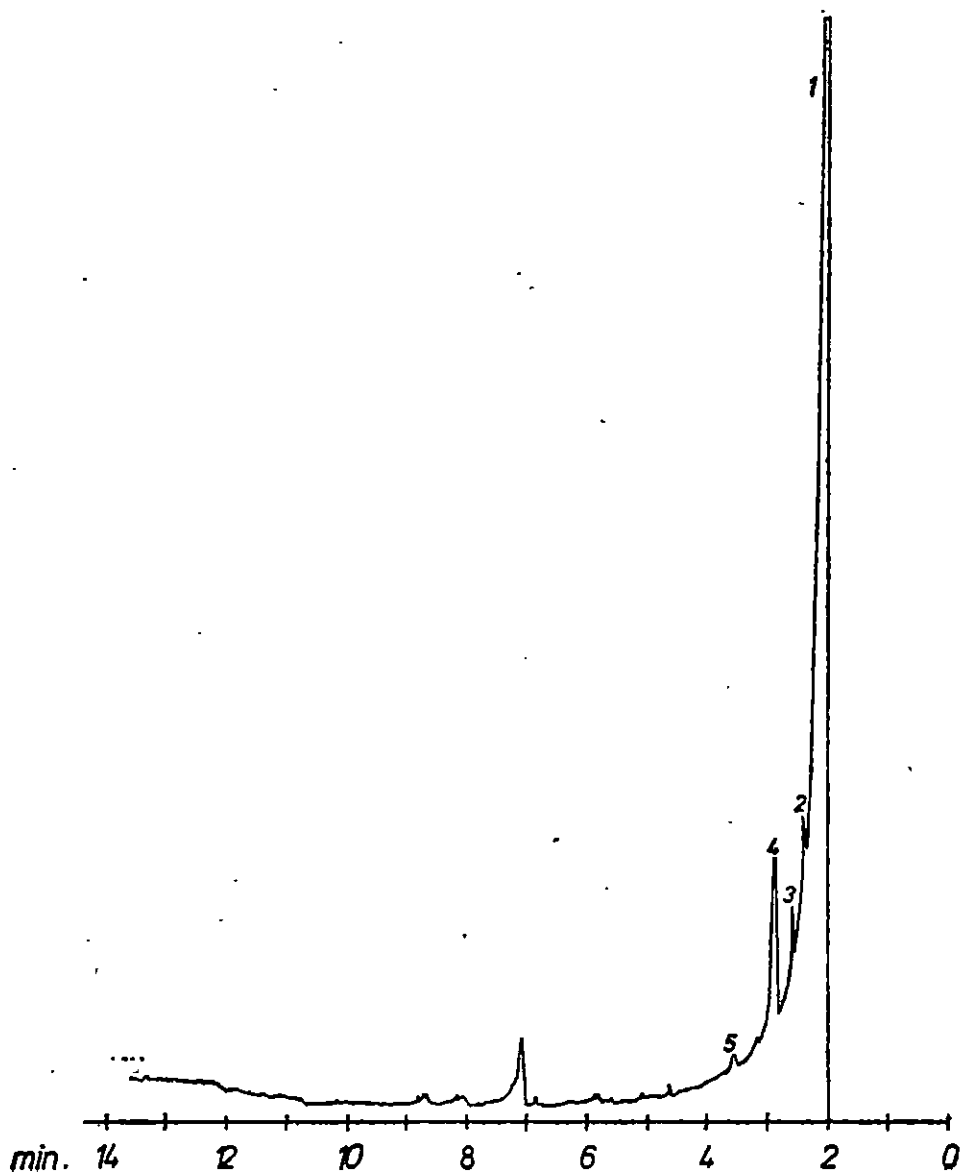
Fizikalno-kemijska svojstva terpentinskog ulja dobivenog destilacijom sječke alepskog bora s vodenom parom — Physico-chemical properties of turpentine obtained by steam distillation of pine-chips of Aleppo Pine

Da bi se dobio uvid u mogućnost korištenja svježije sječke alepskog bora za dobivanje terpentinskog ulja kuhanjem u vodi, izvedeni su pokusi sa svježom sječkom alepskog bora sa svakog lokaliteta.

U laboratorijskim uvjetima destilacije sječke s vodenom parom dobiveni su rezultati 0.02% terpentinskog ulja na apsolutno suhu (a. s.) sječku za uzorak Zadar, a 0.47% terpentinskog ulja na a. s. sječku za uzorak Rab — tablica 15.

Tab. 15. Sadržaj terpentinskog ulja dobivenog destilacijom s vodenom parom sječke alepskog bora — Quantity of turpentine obtained by steam distillation of pine chips of Aleppo Pine

| | Voda u sječci Water in the chips | Terpentinsko ulje/a. s. uzorak Turpentine/a. d. sample |
|-------------------------|-------------------------------------|---|
| | g/kg (g/100g) | % |
| RAB — panj — stump | 30.0 | 0.47 |
| HVAR — panj — stump | 27.3 | 0.10 |
| ZADAR | 42.5 | 0.25 |
| ZADAR — panj — stump | 49.5 | 0.02 |
| MAKARSKA — panj — stump | 19.0 | 0.14 |
| | 14.0 | 0.25 |



Sl. — Fig. 13. Kromatogram terpentinskog ulja Hvar 3 — Chromatogram of turpentine of the sample Hvar 3: 1 = α -pinen — α -Pinene, 2 = β -pinen — β -Pinene, 3 = Δ^8 -karen — Δ^8 -Carene, 4 = limonen — Limonene, 5 = terpinolen — Terpinolene



Sl. — Fig. 14. Kromatogram terpentinskog ulja Zadar 4 — Chromatogram of turpentine of the sample Zadar 4: 1 = α -pinen — α -Pinene, 2 = kamfen — Camphene, 3 = β -pinen — β -Pinene; 4 = Δ^3 -karen — Δ^3 -Carene, 5 = limonen — Limonene, 6 = γ -terpinen — γ -Terpinene, 7 = terpinolen — Terpinolene

Dobivene vrijednosti su niske s obzirom na odnos terpentinsko ulje : kolofonij = 1 : 4 prosječno u smoli dobivenoj smolarenjem i terpentinsko ulje : ekstraktivne tvari = 1 : 26 prosječno u sječki s istraživanih lokaliteta.

Fizikalna svojstva terpentinskog ulja dobivenog kuhanjem sječke s vodenom parom za istražene uzorke pokazuju slabije vrijednosti u odnosu na fizikalna svojstva terpentinskog ulja dobivenog smolarenjem.

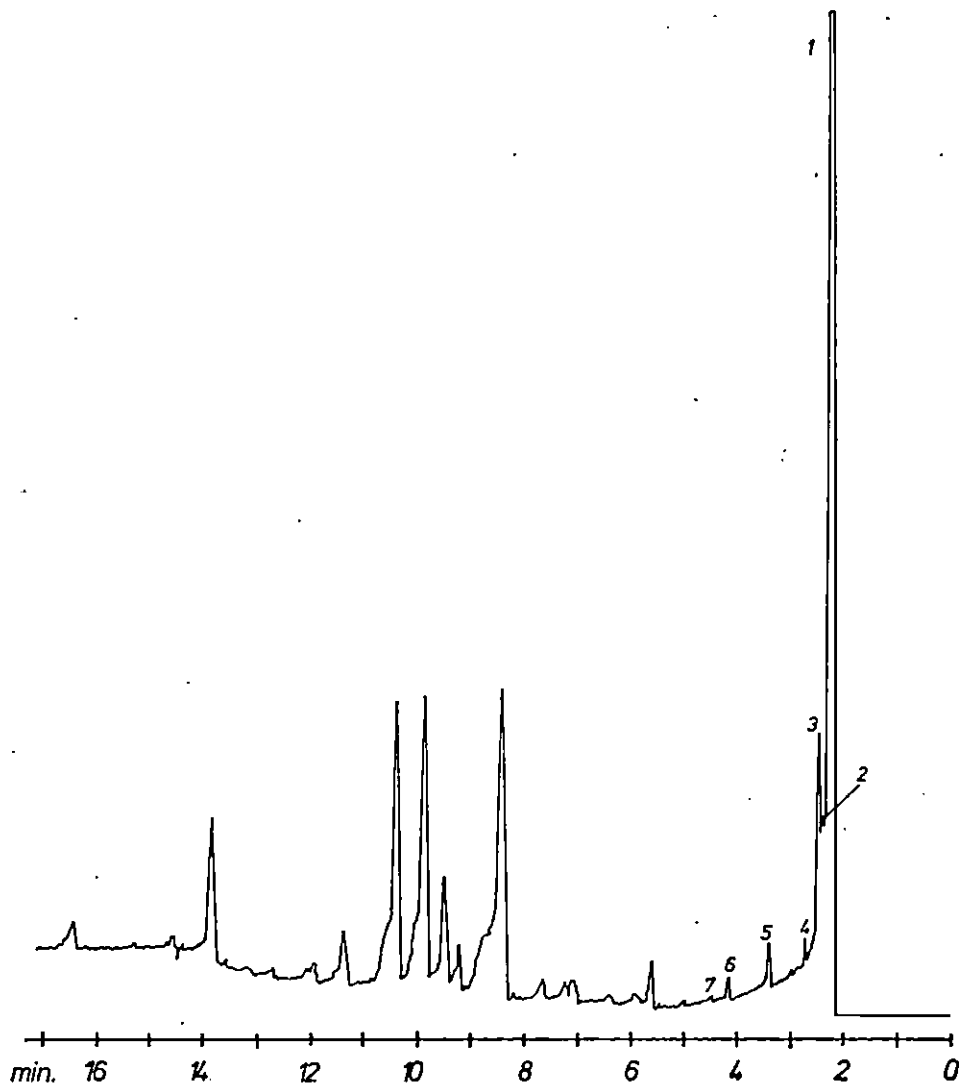
Kemijski sastav terpentinskog ulja dobivenog kuhanjem sječke prikazan u tablici 17 pokazuje da uzorci terpentinskog ulja s lokaliteta Rab i Makarska imaju relativno niske sadržaje α -pinena od 64.60% i 73.51%, a relativno veliki sadržaj tvari koje nismo mogli identificirati: uzorak s lokaliteta Rab 29.57% i uzorak s lokaliteta Makarska 16.53%. Ove neidentificirane tvari najvjerojatnije predstavljaju produkte oksidacije terpena, prije svega terpeneske alkohole, a zatim produkte hidratacije i izomerizacije s visokom temperaturom vrenja.

Tab. 16. Fizikalna svojstva terpentinskog ulja dobivenog destilacijom sječke alepskog bora s vodenom parom — Physical properties of turpentine obtained by steam distillation of pine chips of Aleppo Pine

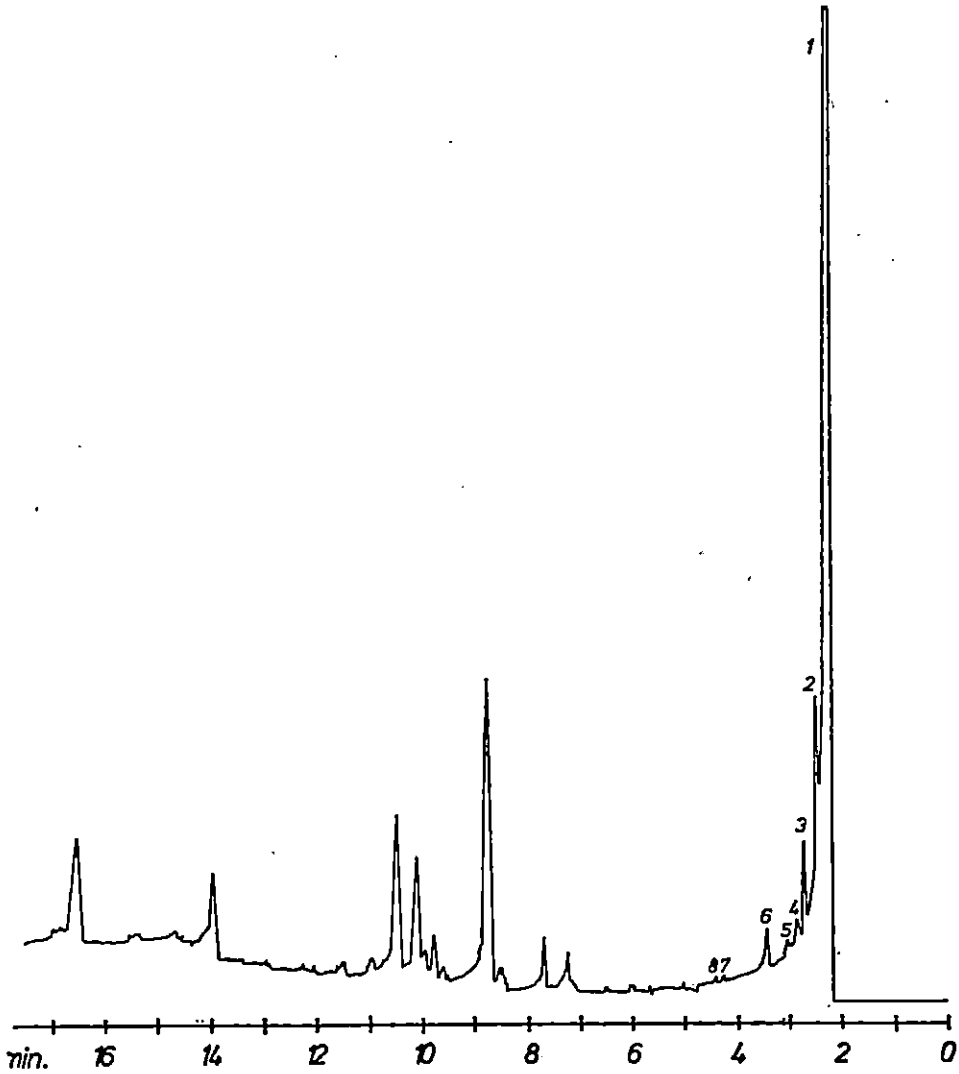
| RAB | Terpentinsko ulje iz sječke stabla broj 4 — Turpentine from chips of tree number 4 | Terpentinsko ulje iz sječke stabla broj 7 — Turpentine from chips of tree number 7 |
|-------------------|--|--|
| d^{20} | 0.9177 | 0.9286 |
| n_D^{20} | 1.47975 | 1.48365 |
| $[\alpha]_D^{20}$ | +16.65 | +11.66 |
| KB—Acid number | 5.27 | 6.80 |
| MAKARSKA | Terpentinsko ulje iz sječke panja — Turpentine from chips of stump | |
| d^{20} | 0.8794 | |
| n_D^{20} | 1.47407 | |
| $[\alpha]_D^{20}$ | +39.48 | |
| KB—Acid number | 0.84 | |

Naime, svi terpeni koji se nalaze u terpentinskom ulju posjeduju svojstvo autooksidacije već pri 20 °C uz prisustvo svjetla i vlage (Slavjanjski et al., 1970.). Po sadržaju tih tvari uzorci terpentinskog ulja, dobiveni destilacijom sječke alepskog bora, najviše se razlikuju od uzoraka terpentinskog ulja dobivenih smolarenjem, gdje je sadržaj neidentificiranih tvari nizak.

Uzorak terpentinskog ulja sječke panja s lokaliteta Hvar, iako dobiven destilacijom sječke, po svom kemijskom sastavu ne razlikuje se od terpentinskog ulja dobivenog smolarenjem na istom lokalitetu.



Sl. — Fig. 15. Kromatogram terpentinskog ulja Rab 5 — Chromatogram of turpentine of the sample Rab 5: 1 = α -pinen — α -Pinene, 2 = kamfen — Camphene, 3 = β -pinen — β -Pinene, 4 = mircen — Myrcene, 5 = limonen — Limonene, 6 = γ -terpinen — γ -Terpinene, 7 = terpinolen — Terpinolene



Sl. — Fig. 16. Kromatogram terpentinskog ulja Makarska 5 — Chromatogram of turpentine of the sample Makarska 5: 1 = α -pinen — α -Pinene, 2 = kamfen — Camphene, 3 = β -pinen — β -Pinene, 4 = mircen — Myrcene, 5 = Δ^3 -karen — Δ^3 -Carene, 6 = α -terpinen — α -Terpinene, 7 = γ -terpinen — γ -Terpinene, 8 = terpinolen — Terpinolene

Tab. 17. Kemijski sastav terpentinskog ulja dobivenog destilacijom sječke alepskog bora s vodenom parom — Chemical composition of turpentine obtained by steam distillation of pine chips of Aleppo Pine

| Terpeni Terpenes | RRT | R 5 % | M 5 % | H 5 % |
|--|------|----------|----------|----------|
| α -pinen — α -Pinene | 1.00 | 64.60 | 73.51 | 91.59 |
| Kamfen — Camphene | 1.10 | 3.45 | 4.38 | 2.95 |
| β -pinen — β -Pinene | 1.21 | 0.87 | 1.58 | 2.07 |
| Mircen — Myrcene | 1.26 | 0.99 | 1.27 | 0.0 |
| Δ^3 -karen — Δ^3 -Carene | 1.35 | 0.0 | 1.92 | 0.47 |
| α -terpinen — α -Terpinene | 1.44 | 0.0 | 0.0 | 0.08 |
| Limonen — Limonene | 1.51 | 0.39 | 0.76 | 0.0 |
| γ -terpinen — γ -Terpinene | 1.84 | 0.22 | 0.02 | 0.15 |
| Terpinolen — Terpinolene | 1.90 | tr. | 0.01 | 0.0 |
| Nepoznato — Unknown | — | 29.47 | 16.53 | 2.69 |

Uzorci terpentinskog ulja — The samples of turpentine:

- R 5 — lokalitet — Locality — Rab, sječka stabla — chips of tree
M 5 — lokalitet — Locality — Makarska, sječka panja — chips of stump
H 5 — lokalitet — Locality — Hvar, sječka panja — chips of stump

Tab. 18. Fizikalna svojstva terpentinskog ulja dobivenog ekstrakcijom sječke alepskog bora s benzinom — Physical properties of turpentine obtained by gasoline extraction of pine chips

| | R 6 | R 7 | R 8 | R 9 |
|-------------------|---|--|--|--|
| RAB | Ekstrakcija vlažne sječke — Extraction of wet chips | Ekstrakcija vlažne sječke panja — Extraction wet chips of stump | Ekstrakcija sječke panja poslije kuhanja — Extraction chips of stump after cooking | Ekstrakcija sječke panja poslije sušenja — Extraction chips of stump after drying |
| d^{20} | 0.8677 | 0.8252 | 0.8742 | 0.9369 |
| n_D^{20} | 1.46350 | 1.44521 | 1.46110 | 1.48239 |
| $[\alpha]_D^{20}$ | +24.00 | +16.83 | +15.88 | +16.30 |
| KB—Acid number | 3.43 | 8.11 | 3.82 | 7.62 |
| | M 6 | | M 7 | |
| MAKAR- SKA | Ekstrakcija vlažne sječke panja — Extraction wet chips of stump | | Ekstrakcija sječke panja poslije kuhanja — Extraction chips of stump after cooking | |
| d^{20} | 0.9206 | | 0.8770 | |
| n_D^{20} | 1.47956 | | 1.46963 | |
| $[\alpha]_D^{20}$ | +21.72 | | +31.04 | |
| KB—Acid number | 3.63 | | 0.84 | |

Fizikalno-kemijska svojstva terpentinskog ulja dobivenog ekstrakcijom sječke alepskog bora s benzinom — Physico-chemical properties of turpentine obtained by gasoline extraction of pine-chips

Fizikalno-kemijska svojstva treće grupe uzoraka terpentinskog ulja, koji su dobiveni ekstrakcijom sječke s benzinom, prikazana su u tablicama 18—20.

Tab. 19. Kemijski sastav terpentinskog ulja dobivenog ekstrakcijom sječke alepskog bora s benzinom — Chemical composition of turpentine obtained by gasoline extraction of pine chips

| Terpeni Terpenes | RRT | R 6 % | R 7 % | R 8 % | R 9 % |
|--|------|----------|----------|----------|----------|
| α -pinen — α -Pinene | 1.00 | 62.32 | 63.65 | 51.36 | 58.85 |
| β -fenhen — β -Fenchene | 1.03 | 8.38 | 7.95 | 6.41 | 4.01 |
| α -fenhen — α -Fenchene | 1.07 | 4.12 | 0.0 | 3.90 | 0.0 |
| Kamfen — Camphene | 1.10 | 7.09 | 3.81 | 3.04 | 2.04 |
| β -pinen — β -Pinene | 1.21 | 1.87 | 0.24 | 0.64 | 0.22 |
| Mircen — Myrcene | 1.26 | 1.09 | 0.08 | 0.19 | 0.06 |
| Δ^3 -karen — Δ^3 -Carene | 1.35 | 0.49 | 0.10 | 0.01 | tr. |
| α -terpinen — α -Terpinene | 1.44 | 0.0 | 0.01 | 0.0 | tr. |
| Limonen — Limonene | 1.51 | 0.74 | 1.66 | 1.12 | 1.60 |
| γ -terpinen — γ -Terpinene | 1.84 | 0.40 | 1.18 | 0.67 | 1.42 |
| Terpinolen — Terpinolene | 1.90 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Nepoznato — Unknown | — | 13.48 | 21.25 | 31.35 | 31.76 |

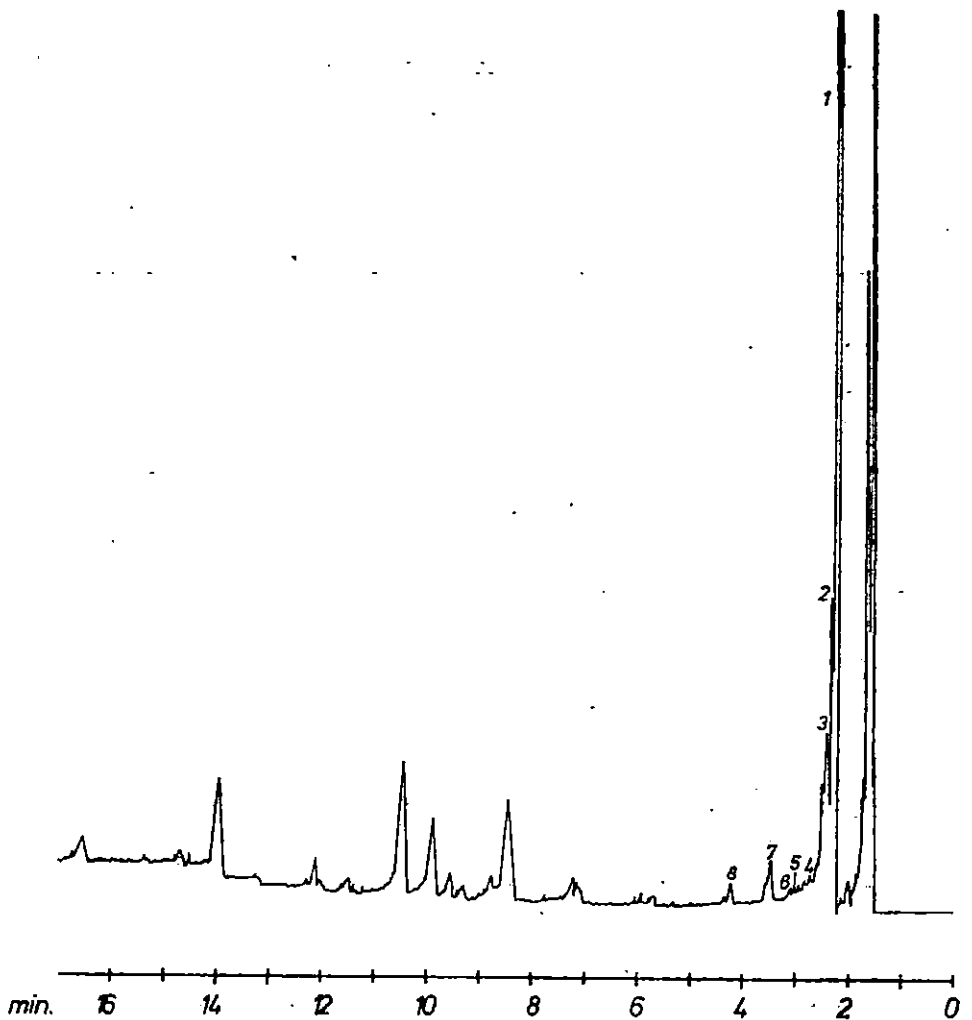
Uzorci terpentinskog ulja — lokalitet Rab — The samples of turpentine — Locality Rab:

- R 6 — vlažna sječka stabla — wet chips of tree
- R 7 — vlažna sječka panja — wet chips of stump
- R 8 — zrakosuha sječka panja poslije kuhanja — air dry chips of stump after cooking
- R 9 — zrakosuha sječka panja — air dry chips of stump

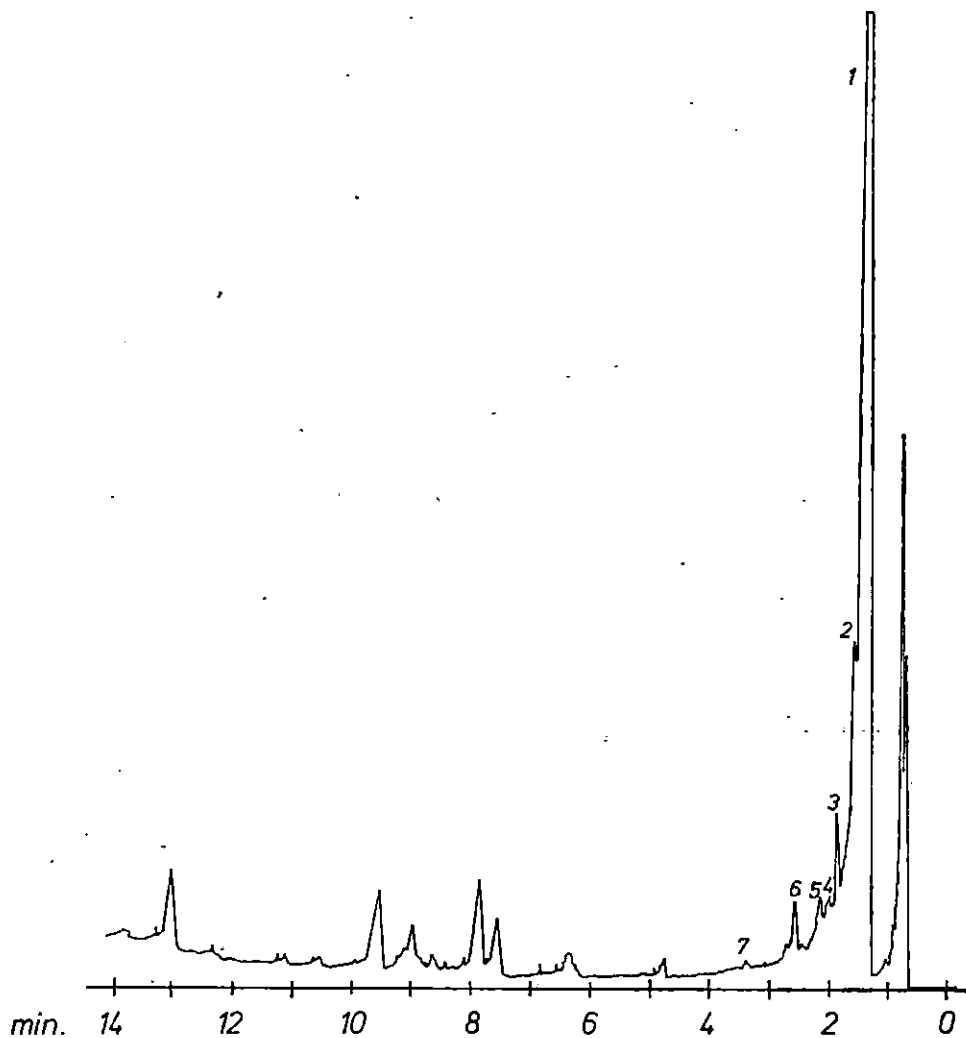
Na osnovi rezultata fizikalnih svojstava ovih uzoraka terpentinskog ulja možemo zaključiti da su mnogo bliži uzorcima dobivenim destilacijom sječke s vodenom parom, a da se razlikuju od uzoraka terpentinskog ulja dobivenih smolarenjem.

Za kemijski sastav ovih uzoraka terpentinskog ulja, dobivenih ekstrakcijom sječke benzinom, također je karakterističan udio neidentificiranih sastojaka koji se kreće od 13.48% za uzorak Rab 6 do 31.76% za uzorak Rab 9, odnosno 9.38% za uzorak Makarska 7 do 33.60% za uzorak Makarska 6.

Ove razlike mogu se tumačiti i porijeklom smole, odnosno terpentinskog ulja koje je postupcima destilacije i ekstrakcije sječke dobiveno iz cijelog presjeka debla, odnosno panja, dok je pri smolarenju najveći dio smola odnosno terpentinskog ulja dobiven iz perifernog dijela stabla.



Sl. — Fig. 17. Kromatogram terpentinskog ulja Rab 8 — Chromatogram of turpentine of the sample Rab 8: 1 = α -pinen — α -Pinene, 2 = β -fenhen — β -Fenchene, 3 = kamfen — Camphene, 4 = β -pinen — β -Pinene, 5 = mircen — Myrcene, 6 = Δ^8 -karen — Δ^8 -Carene, 7 = limonen — Limonene, 8 = γ -terpinen — γ -Terpinene



Sl. — Fig. 18. Kromatogram terpentinskog ulja Makarska 7 — Chromatogram of turpentine of the sample Makarska 7: 1 = α -pinen — α -Pinene, 2 = kamfen — Camphene, 3 = β -pinen — β -Pinene, 4 = mircen — Myrcene, 5 = Δ^3 -karen — Δ^3 -Carene, 6 = limonen — Limonene, 7 = γ -terpinen — γ -Terpinene

Tab. 20. Kemijski sastav terpentinskog ulja dobivenog ekstrakcijom sječke alepskog bora s benzinom — Chemical composition of turpentine obtained by gasoline extraction of pine chips

| Terpeni Terpenes | RRT | M 6 % | M 7 % |
|--|------|----------|----------|
| α -pinen — α -Pinene | 1.00 | 61.75 | 78.33 |
| α -fenhen — α -Fenchene | 1.07 | 0.77 | 0.0 |
| Kamfen — Camphene | 1.10 | 2.72 | 6.07 |
| β -pinen — β -Pinene | 1.21 | 0.59 | 2.18 |
| Mircen — Myrcene | 1.26 | 0.06 | 1.17 |
| Δ^3 -karen — Δ^3 -Carene | 1.35 | tr. | 2.29 |
| Limonen — Limonene | 1.51 | 0.41 | 0.50 |
| γ -terpinen — γ -Terpinene | 1.74 | 0.09 | 0.08 |
| Terpinolen — Terpinolene | 1.87 | 0.0 | 0.0 |
| Nepoznato — Unknown | — | 33.60 | 9.30 |

Uzorci terpentinskog ulja — lokalitet Makarska — The samples of turpentine — Locality Makarska:

M 6 — vlažna sječka panja — wet chips of stump

M 7 — zrakosuha sječka panja poslije kuhanja — air dry chips of stump after cooking

Tab. 21. Fizikalna svojstva terpentinskog ulja dobivenog smolarenjem) poslije frakcione destilacije do 170 °C — Physical properties of turpentine (obtained by tapping) after fraction distillation up to 170 °C

| | <170°C | Nakon destilacije After distillation | | | KB— Acid number |
|----------|--------|---|------------|-------------------|-----------------------|
| | | d_4^{20} | n_D^{20} | $[\alpha]_D^{20}$ | |
| RAB | 80% | 0.8709 | 1.46835 | +44.01 | 0.76 |
| RAB | 80% | 0.8714 | 1.46835 | +47.81 | 1.49 |
| HVAR | 85% | 0.8620 | 1.46638 | +49.01 | 0.19 |
| HVAR | 85% | 0.8784 | 1.46933 | +47.43 | 0.63 |
| ZADAR | 85% | 0.8932 | 1.47228 | —14.46 | 0.83 |
| MAKARSKA | 86% | 0.8608 | 1.46732 | +52.44 | 0.0 |
| MAKARSKA | 80% | 0.8662 | 1.46834 | +36.07 | 1.71 |
| MAKARSKA | 80% | 0.8778 | 1.47031 | +24.20 | 1.86 |

Tab. 22. Kemijski sastav terpentinskog ulja poslije frakcione destilacije do 170 °C —
Chemical composition of turpentine after fraction distillation up to 170 °C

| Terpeni Terpenes | RRT | H 6 % |
|--|------|----------|
| α -pinen — α -Pinene | 1.00 | 90.38 |
| Kamfen — Camphene | 1.10 | 4.46 |
| β -pinen — β -Pinene | 1.21 | 2.63 |
| Δ^3 -karen — Δ^3 -Carene | 1.35 | 1.59 |
| Limonen — Limonene | 1.51 | 0.22 |
| Terpinolen — Terpinolene | 1.90 | 0.03 |
| Nepoznato — Unknown | — | 0.68 |

Uzorak terpentinskog ulja — The sample of turpentine:

H 6 — lokalitet — Locality Hvar, broj stabla — tree number — 2

Rezultati u tablicama 21 i 22 prikazuju fizikalno-kemijska svojstva uzoraka terpentinskog ulja dobivenih smolarenjem i zatim podvrgnutom frakcionoj destilaciji do 170 °C.

Na osnovi rezultata možemo zaključiti da su uzorci terpentinskog ulja na lokalitetima Rab i Hvar ujednačeni i po fizikalnim i kemijskim svojstvima, za razliku od uzoraka s lokaliteta Zadar i Makarska, u kojih nalazimo veće razlike, što možemo pripisati i biološkim razlikama ispitivanih stabala alepskog bora.

U usporedbi s jednim podatkom iz literature (Lamprecht et al., 1975.), koji donosi analizu smole alepskog bora (terpena 26.49%, kolo fonija 71.25%, $[\alpha]_D^{20} + 28.34$) iz Španjolske, vidimo vrlo male razlike u odnosu na istraživane uzorke terpentinskog ulja iz naših lokaliteta.

Autori koji su istraživali terpentinsko ulje alepskog bora (Mirov et al., 1966.) zaključuju da je ono desnokretno i da je sastavljeno od d- α -pinena i manjih količina drugih terpena. Naprotiv, *P. brutia*, sadrži lijevokretno terpentinsko ulje. Međutim, *P. halepensis* i *P. brutia* tvore međusobno hibride koji mogu imati svojstva terpentinskog ulja oba bora.

Naši rezultati ukazuju na zaključak da u ispitivanim lokalitetima alepskog bora ima i brucijskog bora, odnosno njihovih hibrida, što se naročito odnosi na lokalitet Zadar i Makarsku.

Kvantitativna determinacija pojedinih sastojaka terpentinskog ulja izvršena je na osnovi uspoređivanja vremena zadržavanja (RRT) jedinog standarda u odnosu na vrijeme zadržavanja α -pinena, osim Δ^3 -karena, α i β -fenhena čija identifikacija je izvršena na osnovi podataka iz literature.

Cisti monoterpeni: α -pinen, β -pinen, kamfen, limonen, α -terpinen, γ -terpinen i terpinolen, koji su upotrebljeni kao standardi, nabavljeni su od firme »CARL ROTH«, KARLSRUHE, SR Njemačka.

Kvantitativna određivanja izvršena su postupkom normaliziranja površina dobivenih integratorom za istraživane uzorke u odnosu na vrijednosti površine pojedinih pikova smjese monoterpena poznatog postotnog sastava.

Kao karakteristiku terpentinskog ulja alepskog bora autori (Mirov, 1966.) iznose podatak da ne sadrži Δ^3 -karen, za razliku od brucijskog bora u kojem je nađeno: *P. brutia* (Iran) 9.0%, *P. brutia* (Sirija) 8.5%, *P. brutia* (Turska) 12.5% i 10.5%, *P. brutia* (Cipar) 13.0% i *P. brutia* (Grčka) 11.6%, Δ^3 -karena.

Međutim, drugi autori (Lamprecht et al., 1965.) donose podatak da je terpentinsko ulje *P. halepensis* iz Španjolske sadržavalo 2.13% i 2.59% Δ^3 -karena.

Naši uzorci terpentinskog ulja alepskog bora s lokaliteta Rab sadrže visok postotak α -pinena 85.44—90.18% i 0.89—2.99% Δ^3 -karena uz ostale terpene, a uzorci s lokaliteta Hvar 89.02—96.64% α -pinena i 0.47—3.01% Δ^3 -karena uz ostale monoterpene.

Ispitivani uzorci terpentinskog ulja s područja lokaliteta Zadar imaju niži sadržaj α -pinena 76.53—87.86%, a viši sadržaj β -pinena 5.55—10.57% i Δ^3 -karena 4.08—4.39% što uz fizikalna svojstva upućuje da se radi o hibridima *P. halepensis* i *P. brutia*.

Takav zaključak se može donijeti i za uzorke s lokaliteta Makarska.

Fizikalno-kemijska svojstva smolnih kiselina — Physico-chemical properties of resin acids

U tablicama 23 i 24 prikazani su rezultati analize smole dobivene smolarenjem. Analize su provedene plinsko-kromatografskom metodom, međutim, radi izomerizacije dijela smolnih kiselina na koloni, primijenjena je analiza apsorpcije UV svjetla smolnih kiselina abietinskog reda razdijeljenih tankoslojnom kromatografijom.

Kombinacijom obih metoda izvršena je analiza smolnih kiselina.

Tab. 23. Kemijski sastav smole dobivene smolarenjem alepskog bora — Chemical composition of resin obtained by tapping of Aleppo Pine

| Kiselina — Acid | RRT | R1 % | R2 % | H1 % |
|--|-------|---------|---------|---------|
| Palmitinska — Palmitic | 0.25 | 0.01 | 0.05 | 0.06 |
| Stearinska — Stearic | 0.35 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Nepoznato — Unknown | — | 2.82 | 1.38 | 0.52 |
| Sandarako-pimarna Sandaraco-pimaric | 1.09 | 2.19 | 2.96 | 1.76 |
| Izopimarna — Isopimaric | 1.40 | 13.93 | 23.06 | 18.21 |
| | R_f | | | |
| Palustrinska — Palustric | 0.82 | 12.01 | 14.54 | 7.56 |
| Levopimarna — Levopimaric | 0.76 | 9.10 | 8.38 | 8.04 |
| Abietinska — Abietic | 0.91 | 20.72 | 8.46 | 10.41 |
| Dehidroabietinska — Dehydroabietic | 0.94 | 5.49 | 27.53 | 25.48 |
| Neoabietinska — Neoabietic | 0.06 | 33.69 | 13.63 | 27.93 |

Uzorci smole — The samples of resin:

R 1 — lokalitet — Locality Rab, broj stabla — tree number — 4

R 2 — lokalitet — Locality Rab, broj stabla — tree number — 1

H 1 — lokalitet — Locality Hvar, broj stabla — tree number — 3

Tab. 24. Kemijski sastav smole dobivene smolarenjem alepskog bora — Chemical composition of resin obtained by tapping of Aleppo Pine

| Kiselina — Acid | RRT | Z 1 % | Z 2 % | M 1 % | M 2 % |
|--|-------|----------|----------|----------|----------|
| Palmitinska — Palmitic | 0.25 | 0.26 | 0.02 | 0.42 | 0.07 |
| Stearinska — Stearic | 0.35 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Nepoznato — Unknown | — | 0.13 | 0.0 | 5.00 | 12.83 |
| Sandarako-pimarna — Sandaraco-pimaric | 1.09 | 3.14 | 2.79 | 2.73 | 2.65 |
| Izopimarna — Isopimaric | 1.40 | 12.31 | 10.89 | 21.82 | 10.41 |
| | R_f | | | | |
| Palustrinska — Palustric | 0.82 | 7.44 | 10.41 | 8.82 | 6.10 |
| Levopimarna — Levopimaric | 0.76 | 0.0 | 8.31 | 0.0 | 10.98 |
| Abietinska — Abietic | 0.91 | 4.86 | 0.0 | 1.61 | 9.39 |
| Dehidroabietinska — Dehydroabietic | 0.94 | 29.34 | 58.88 | 10.00 | 28.66 |
| Neoabietinska — Neoabietic | 0.06 | 42.51 | 8.68 | 49.57 | 19.08 |

Uzorci smole — The samples of resin:

- Z 1 — lokalitet — Locality Zadar, broj stabla — tree number — 7
- Z 2 — lokalitet — Locality Zadar, broj stabla — tree number — 8
- M 1 — lokalitet — Locality Makarska, broj stabla — tree number — 1
- M 2 — lokalitet — Locality Makarska, broj stabla — tree number — 7

Dobiveni rezultati prikazuju sastav smole na pojedinom lokalitetu dobivene smolarenjem. Uzorci nisu bili prethodno podvrgnuti utjecaju topline ili kemikalija. Iako se rezultati dosta razlikuju u samom pojedinom lokalitetu, ipak su vidne razlike između pojedinih lokaliteta.

Karakteristično je za uzorke s lokaliteta Zadar i Makarska da imaju nizak sadržaj abietinske kiseline, a zatim uzorci lokaliteta Makarska imaju relativno više sadržaje neidentificiranih kiselina od 5.00 i 12.63%.

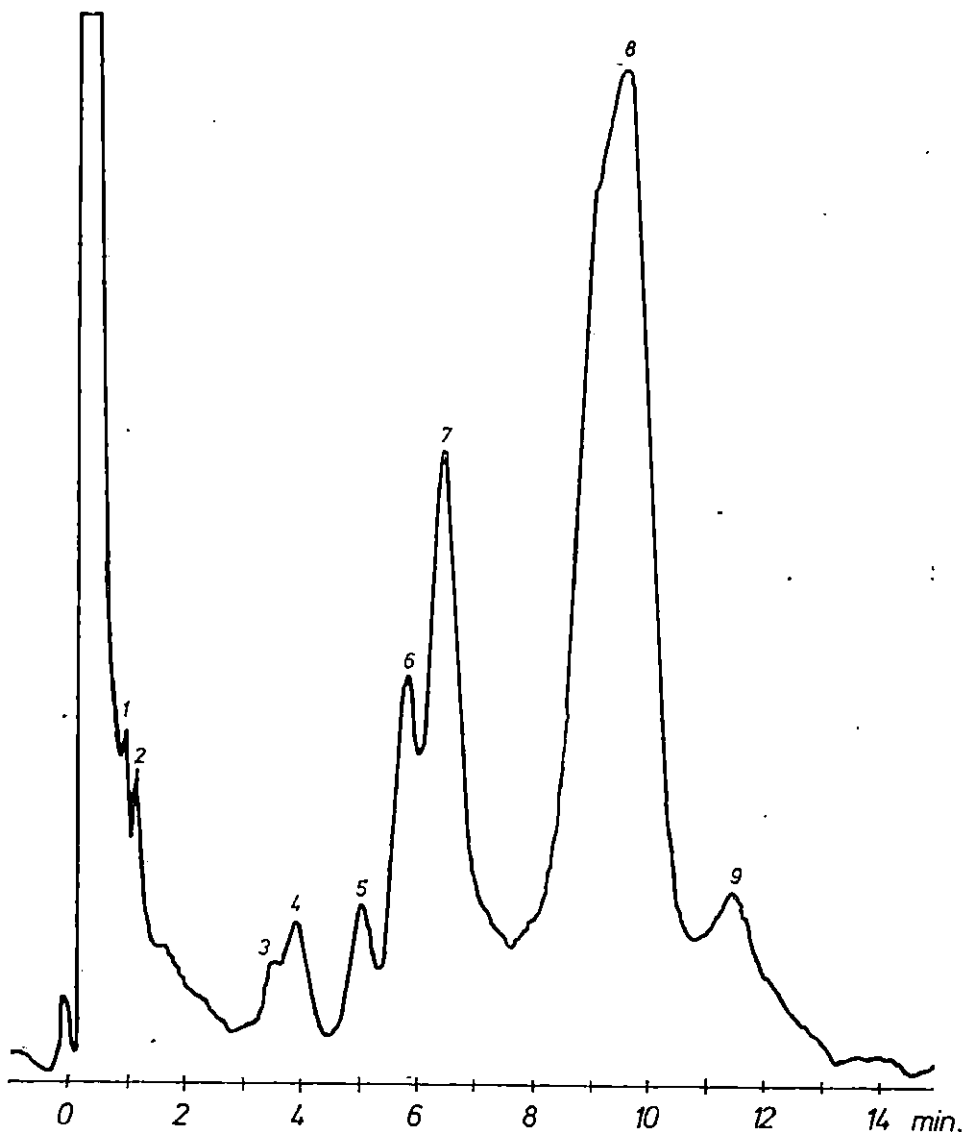
U uzorcima Zadar 1 i Makarska 1 nije nađena levopimarna kiselina.

Ispitivani uzorci s lokaliteta Rab i Hvar imaju mnogo ujednačeniji sastav smolnih kiselina od uzoraka s lokaliteta Zadar i Makarska.

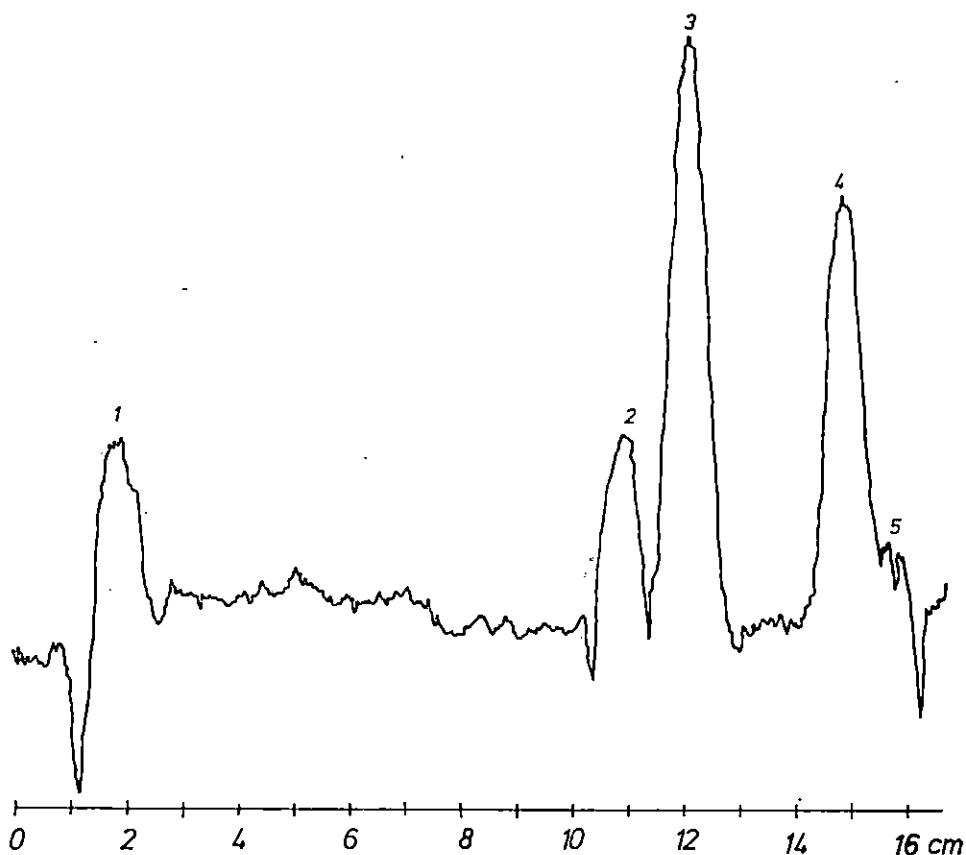
Smolne kiseline određene su postupkom plinske kromatografije kao metilni esteri izopimarne i sandarako-pimarne kiseline, a postupkom apsorpcije UV svjetla na tankom sloju metilni esteri levopimarne, palustrinske, abietinske, neoabietinske i dehidroabietinske kiseline.

Kvalitativna determinacija u postupku plinske kromatografije izvršena je u odnosu na vrijeme zadržavanja (RRT) metilnog estera pimarne kiseline 1.00, a u postupku tankoslojne kromatografije određivanjem R_f vrijednosti metilnih estera standardnih smolnih kiselina i zatim uspoređivanjem R_f vrijednosti standarda i uzoraka. Apsorpcija UV svjetla vršena je s $\lambda = 280 \text{ m}\mu$.

Kvantitativno određivanje izvršeno je postupkom normaliziranja vrijednosti površine pikova dobivenih integratorom za analizirane uzorke u odnosu na vrijednosti površine pikova smjese standarda metilnih estera poznatog postotnog sastava.



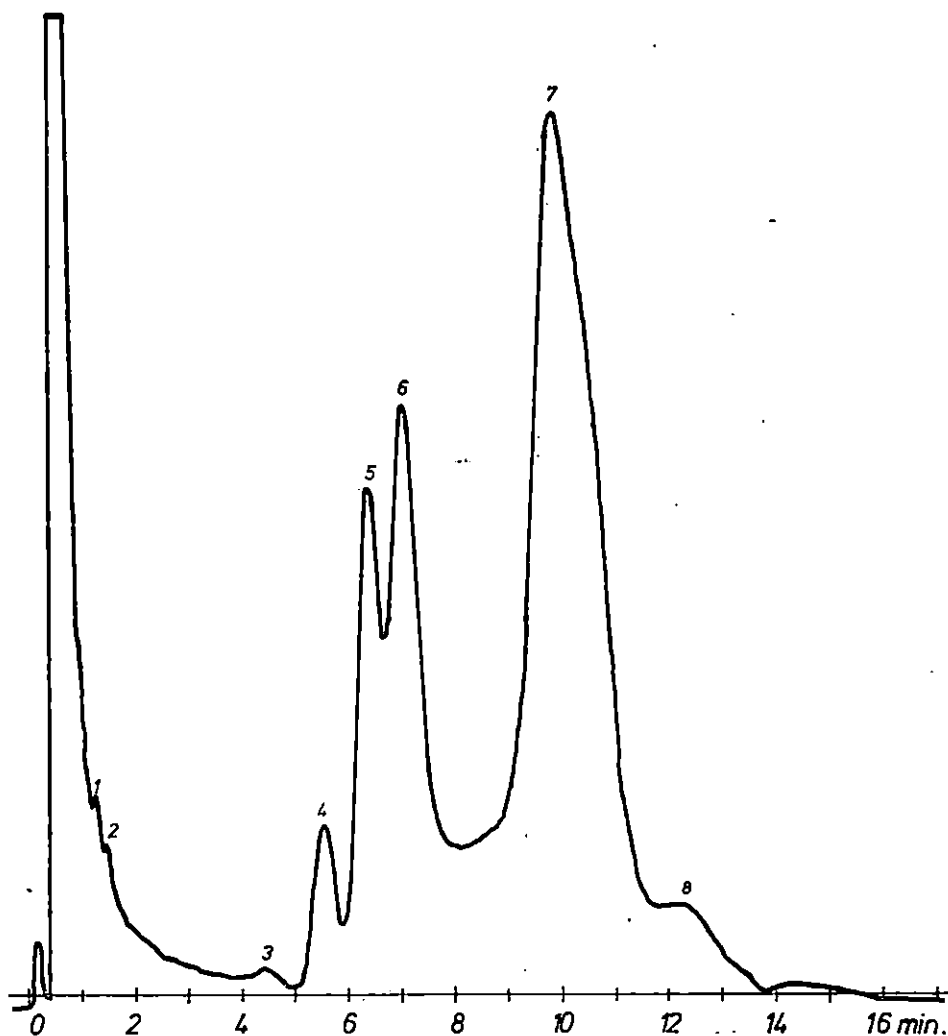
Sl. — Fig. 19. Kromatogram metilnih estera smolnih i masnih kiselina uzorka Rab 1
— Chromatogram of the sample of Rab 1 of the methyl esters of resin and fatty acids:
1 = palmitinska — Palmitic, 2, 3, 4 = nepoznato — Unknown, 5 = sandaraco-pimar-
na — Sandaraco-pimaric, 6 = palustrinska+levopimarna — Palustric+Levopimaric,
7 = izopimarna — Isopimaric, 8 = abietinska+dehidroabietinska — Abietic+Dehy-
droabietic, 9 = neoabietinska — Neoabietic



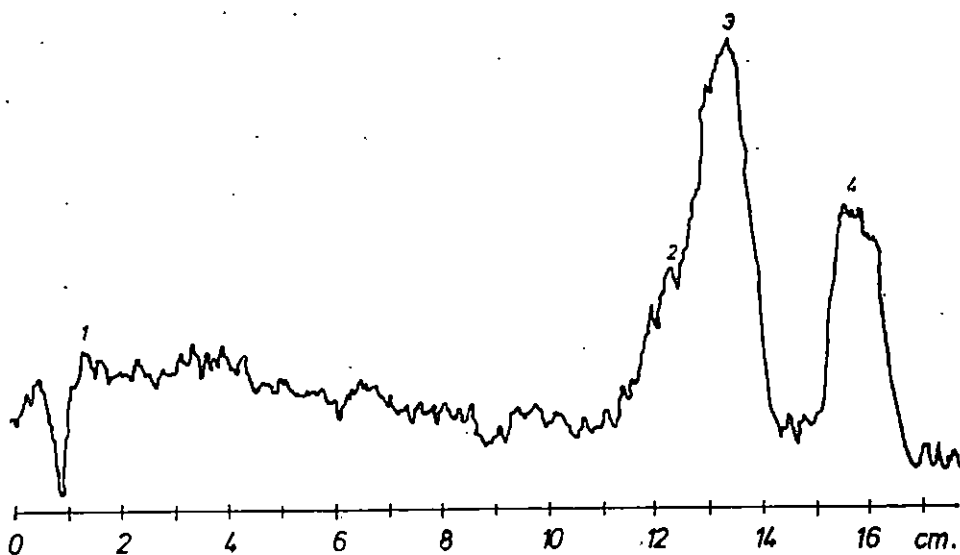
Sl. — Fig. 20. UV spektrogram metilnih estera smolnih kiselina uzorka Rab 1 — UV spectra of the sample Rab 1 of methyl esters of resin acids: 1 = neoabietinska — Neoabietic, 2 = levopimarna — Levopimaric, 3 = palustrinska — Palustric, 4 = abietinska — Abietic, 5 = dehidroabietinska — Dehydroabietic

Čiste smolne kiseline: pimarna, izopimarna, abietinska, neoabietinska, palustrinska i dehidroabietinska dobivene su ljubaznošću T. F. SANDERSON-a, Senior Research Chemist, Organics Research Division, RESEARCH CENTER, HERCULES INCORPORATED, WILMINGTON, DELAWARE, U. S. A.

Rezultati istraživanja kemijskog sastava smole alepskog bora potvrđuju da je razvojem modernih analitičkih postupaka, poslije 1950. godine, bilo moguće utvrditi i sastav i kemijsku konstituciju smolnih kiselina, i na taj način opovrći mišljenje starijih autora o postojanju primarnih smolnih kiselina u smoli i zatim sekundarnih smolnih kiselina nastalih izomerizacijom primarnih.



Sl. — Fig. 21. Kromatogram metilnih estera smolnih i masnih kiselina uzorka Zadar 2 — Chromatogram of the sample of Zadar 2 of the methyl esters of resin and fatty acids: 1 = palmitinska — Palmitic, 2, 3 = nepoznato — Unknown, 4 = sandarako-pimarna — Sandaraco-pimaric, 5 = palustrinska+levopimarna — Palustric+Levopimaric, 6 = izopimarna — Isopimaric, 7 = abietinska+dehidroabietinska — Abietic+Dehydroabietic, 8 = neoabietinska — Neoabietic



Sl. — Fig. 22. UV spektrogram metilnih estera smolnih kiselina uzorka Zadar 2 — UV spectra of the sample Zadar 2 of methyl esters of resin acids: 1 = neoabietinska — Neoabietic, 2 = levopimarna — Levopimaric, 3 = palustrinska — Palustric, 4 = dehidroabietinska — Dehydroabietic

Danas je utvrđeno da u smoli mogu biti sve smolne kiseline pimar-nog i abietinskog tipa, s tim što su smolne kiseline abietinskog reda više sklone izomerizaciji pod utjecajem vanjskih faktora. Izomerizacija može teći u pravcu svake od 5 glavnih smolnih kiselina abietinskog tipa, ali ipak u najviše slučajeva u smjeru stvaranja abietinske kiseline (L a w r e n c e, 1962.).

Međutim, taj trend je nepoželjan. Prvo zbog toga što sama abietinska kiselina ima smeđu nijansu boje, a drugo što je ona najviše sklona oksida-ciji kisikom iz zraka, a zatim i kristalizaciji.

Alko promatramo rezultate kemijskog sastava smole i kolofonija, vi-dimo značajne razlike u sadržaju pojedinih smolnih kiselina. Naime, da bismo dobili kolofonij, smola je podvrgnuta destilaciji s vodenom parom, a zatim zagrijavanju do 160 °C. Takav tretman pogoduje izomerizaciji smolnih kiselina abietinskog tipa. Naročito je levopimarna kiselina pod-ložna izomerizaciji već pri izlaganju smole zraku i svjetlu (L a w r e n c e, 1962.). Smolne kiseline pimar-nog tipa stabilne su pri ovim uvjetima i ne podliježu izomerizaciji.

Naši rezultati pokazuju da sadržaj levopimarne kiseline u uzorcima kolofonija pada kod većine uzoraka na 0.0%, a da se sadržaj abietinske kiseline povećava kod svih uzoraka kolofonija u odnosu na uzorke smole istih stabala.

Sertić V.: Fizikalno-kemijska svojstva smole alepskog bora (*Pinus halepensis* Mill.) dobivene različitim tehnološkim postupcima. Glasnik za šum. pokuse 22:87—181, 1984.

Tab. 25. Kemijska svojstva kolofonija dobivenog smolarenjem — Chemical properties of rosin obtained by tapping

| R A B | Broj stabla — Tree number | | | | |
|--|---------------------------|----------|----------|----------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Kiselinski broj — Acid number | 173.74 | 174.42 | 176.25 | 176.67 | 176.69 |
| Saponifikacijski broj — Saponification number | 182.69 | 183.83 | 181.17 | 183.77 | 183.77 |
| Esterifikacijski broj — Esterification number | 8.95 | 9.41 | 4.92 | 7.10 | 7.08 |
| Neosapunjivo — Unsaponifiable matter | 3.17 | 3.51 | 3.32 | 2.56 | 2.98 |
| Točka omekšanja °C — Softening point | 83.0 | 80.2 | 79.5 | 81.0 | 80.5 |
| H V A R | 2 | 3 | 4 | 6 | 8 |
| Kiselinski broj — Acid number | 174.78 | 172.78 | 171.18 | 169.68 | 175.08 |
| Saponifikacijski broj — Saponification number | 180.25 | 178.25 | 177.19 | 176.44 | 181.21 |
| Esterifikacijski broj — Esterification number | 5.47 | 5.47 | 6.01 | 6.76 | 6.13 |
| Neosapunjivo — Unsaponifiable matter | 4.28 | 5.05 | 6.13 | 6.45 | 3.90 |
| Točka omekšanja °C — Softening point | 79.0 | 86.5 | 79.2 | 79.5 | 79.5 |
| Z A D A R | 2 | 4 | 7 | 8 | 9 |
| Kiselinski broj — Acid number | 175.56 | 172.33 | 176.72 | 178.17 | 182.96 |
| Saponifikacijski broj — Saponification number | 189.98 | 187.21 | 194.46 | 192.37 | 194.12 |
| Esterifikacijski broj — Esterification number | 14.42 | 14.88 | 17.75 | 14.20 | 11.16 |
| Neosapunjivo — Unsaponifiable matter | 2.55 | 3.21 | 2.12 | 1.96 | 1.89 |
| Točka omekšanja °C — Softening point | 81.0 | 80.0 | 84.5 | 82.7 | 84.2 |
| M A K A R S K A | 1 | 5 | 7 | 9 | 10 |
| Kiselinski broj — Acid number | 164.83 | 177.66 | 173.42 | 170.29 | 169.45 |
| Saponifikacijski broj — Saponification number | 168.12 | 182.00 | 178.85 | 176.17 | 176.23 |
| Esterifikacijski broj — Esterification number | 3.29 | 4.34 | 5.43 | 5.88 | 6.78 |
| Neosapunjivo — Unsaponifiable matter | 9.12 | 2.52 | 5.01 | 4.99 | 6.99 |
| Točka omekšanja °C — Softening point | 81.0 | 80.2 | 79.5 | 72.5 | 84.7 |

Tab. 26. Kemijski sastav kolofonija — Chemical composition of rosin

| Kiselina — Acid | RRT | R 1 % | H 1 % | Z 1 % | M 1 % |
|--|------|----------|----------|----------|----------|
| Palmitinska — Palmitic | 0.25 | 0.09 | 0.15 | 0.0 | 0.0 |
| Stearinska — Stearic | 0.35 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Nepoznato — Unknown | — | 1.33 | 0.93 | 0.0 | 10.01 |
| Sandarako-pimarna — Sandaraco-pimaric | 1.09 | 3.13 | 2.37 | 2.54 | 4.27 |
| Izopimarna — Isopimaric | 1.40 | 14.43 | 20.96 | 12.99 | 9.03 |
| R₁ | | | | | |
| Palustrinska — Palustric | 0.82 | 11.60 | 9.63 | 11.08 | 7.24 |
| Levopimarna — Levopimaric | 0.76 | 2.26 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Abietinska — Abietic | 0.91 | 26.92 | 27.29 | 20.75 | 20.32 |
| Dehidroabietinska — Dehydroabietic | 0.94 | 15.22 | 19.03 | 19.31 | 12.51 |
| Neoabietinska — Neoabietic | 0.06 | 25.00 | 19.63 | 33.31 | 36.60 |

Uzorci kolofonija — The samples of rosin:

- R 1 — lokalitet — Locality Rab, broj stabla — tree number — 4
- H 1 — lokalitet — Locality Hvar, broj stabla — tree number — 3
- Z 1 — lokalitet — Locality Zadar, broj stabla — tree number — 2
- M 1 — lokalitet — Locality Makarska, broj stabla — tree number — 7

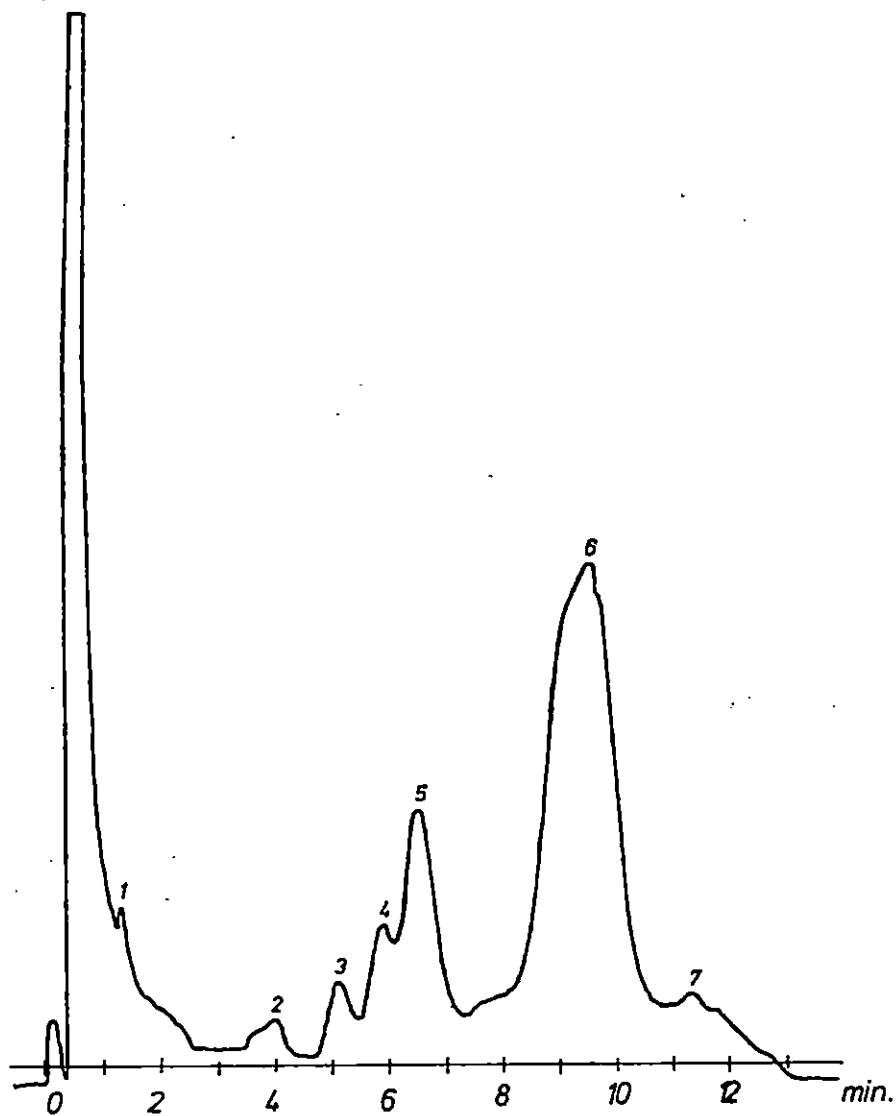
Ostale dvije smolne kiseline, dehidroabietinska i neoabietinska ne pokazuju pravilnost povećanja sadržaja u uzorcima kolofonija u odnosu na smolu, već njihov sadržaj u jednim uzorcima raste, a u drugim pada.

U tablici 27 prikazane su sve varijante ekstrakcije uzoraka sječke alepskog bora s benzinom. Vršene su ekstrakcije sječke debla i panja s pojedinog lokaliteta, a zatim s obzirom na sadržaj vode — ekstrakcija izvorne sječke u dostavnom stanju i ekstrakcija sječke prethodno sušene na zraku. Ekstrakcija vlažne sječke izvršena je radi eliminiranja utjecaja sušenja i pri tome utjecaja kisika iz zraka na smolne kiseline. Izvršena je i ekstrakcija sječke koja je prethodno kuhana s vodom da bismo dobili terpentinsko ulje, a zatim je ta sječka osušena na zraku i ekstrahirana benzinom.

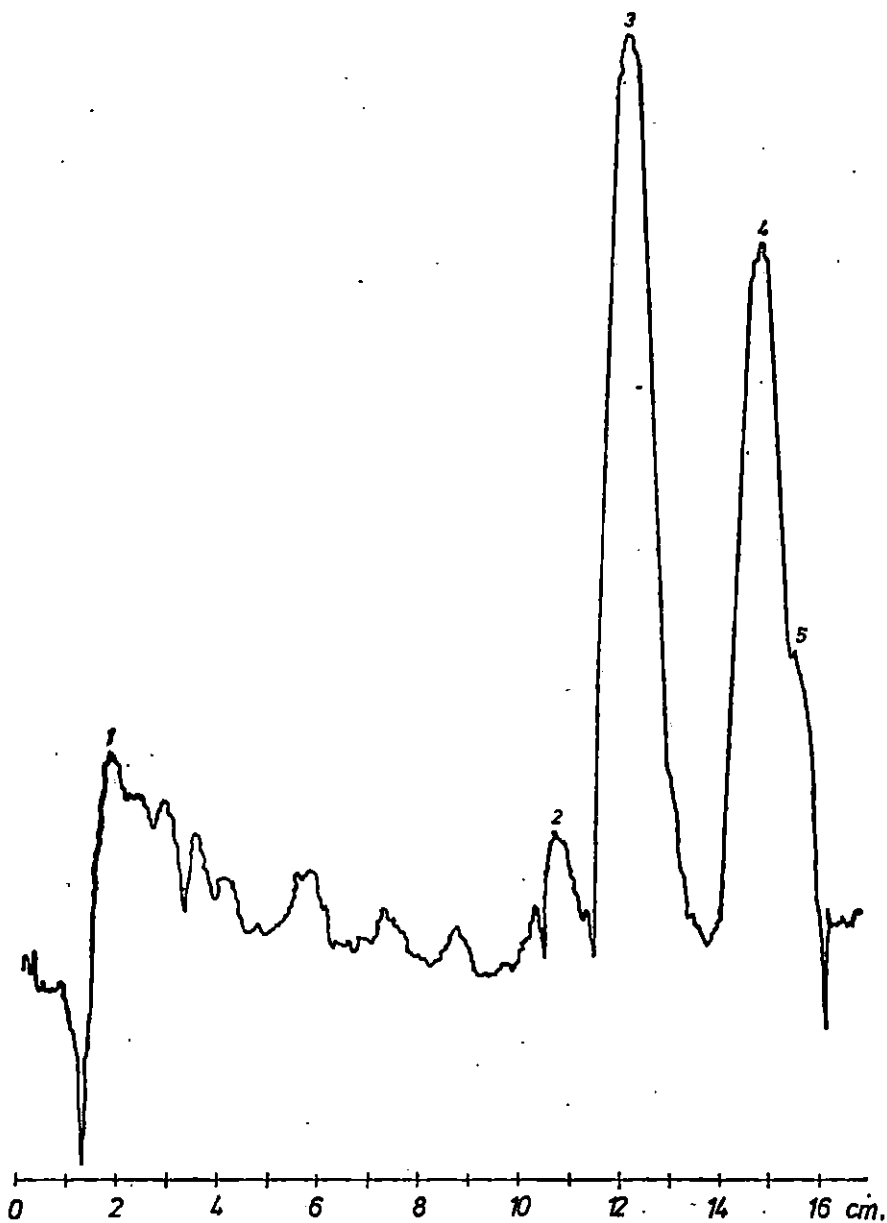
U ekstraktu je izvršena saponifikacija sa 3% NaOH, oslobođene smolne kiseline zakiseljavanjem do pH 6 sa H₂SO₄ i ekstrahirane s eterom.

Iz rezultata je vidljivo da je sadržaj smolnih i masnih kiselina u eter-skom sloju uvijek veći u sječki panja kod svih lokaliteta u odnosu na sječku debla, a također kod uzoraka prethodno sušenih na zraku sadržaj ekstraktivnih tvari je veći u odnosu na uzorke sječke s velikim sadržajem vode.

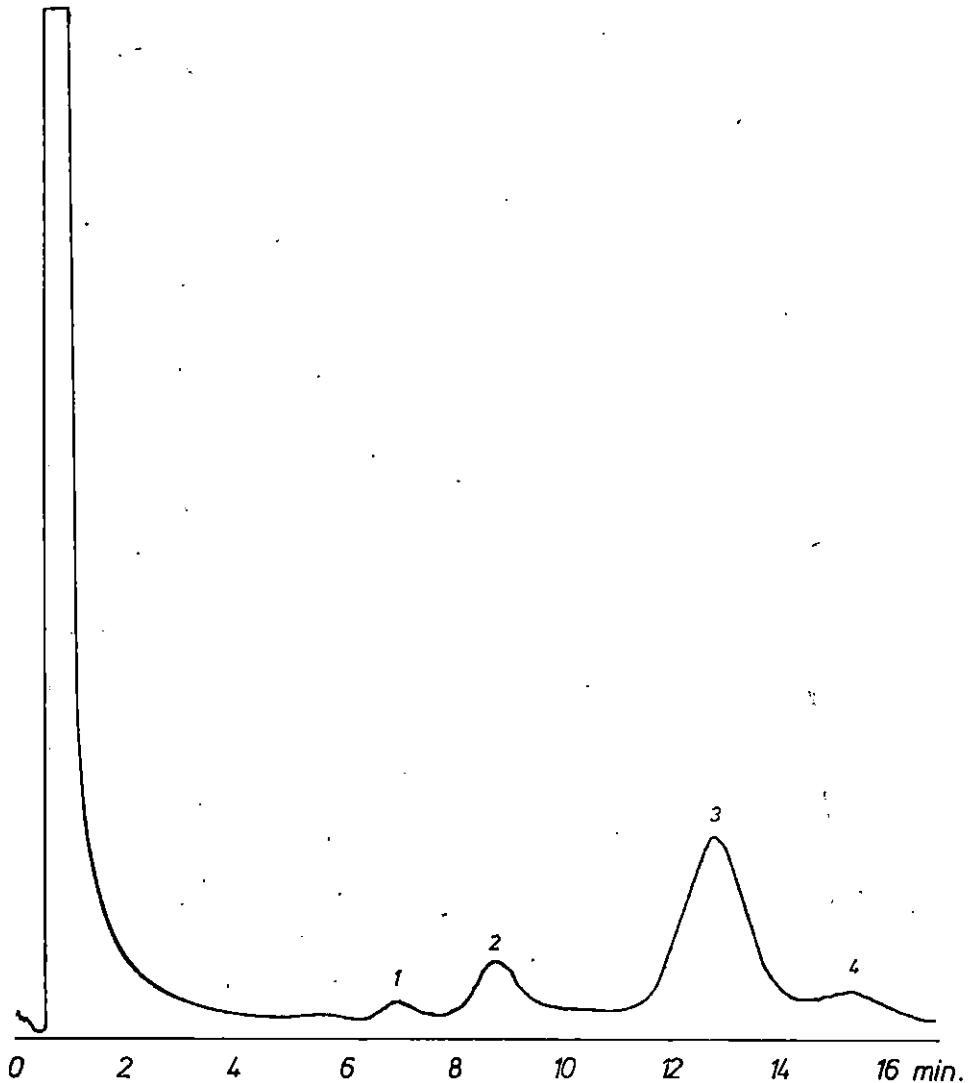
Ako svojstva ekstrakcionog kolofonija usporedimo s propisima po JUS-u, uzorke iz lokaliteta Rab i Hvar možemo svrstati u II kvalitetu, iako osim boje, odgovaraju i I kvaliteti za kolofonij iz žive smole.



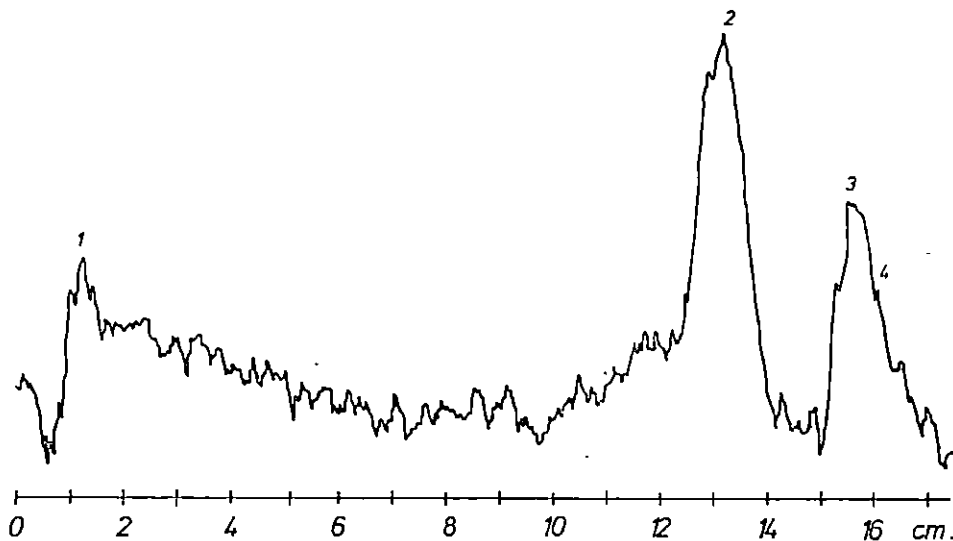
Sl. — Fig. 23. Kromatogram metilnih estera smolnih i masnih kiselina uzorka kolonija Rab 1 — Chromatogram of the sample of rosin Rab 1 of the methyl esters of resin and fatty acids: 1 = palmitinska — Palmitic, 2 = nepoznato — Unknown, 3 = sandarako-pimarna — Sandaraco-pimaric, 4 = palustrinska — Palustric, 5 = izopimarna — Isopimaric, 6 = abietinska+dehidroabietinska — Abietic+Dehydroabietic, 7 = neoabietinska — Neoabietic



Sl. — Fig. 24. UV spektrogram metilnih estera smolnih kiselina uzorka kolofonija Rab 1 — UV spectra of the sample of rosin Rab 1 of the methyl esters of resin acids: 1 = neoabietinska — Neobietic, 2 = levopimarna — Levopimaric, 3 = palustrinska — Palustric, 4 = abietinska — Abietic, 5 = dehidroabietinska — Dehydroabietic



Sl. — Fig. 25. Kromatogram metilnih estera smolnih i masnih kiselina uzorka kolonija Zadar 1 — Chromatogram of the sample of rosin Zadar 1 of the methyl esters of resin and fatty acids: 1 = sandarako-pimarna — Sandaraco-pimaric, 2 = izopimarna — Isopimaric, 3 = palustrinska+abietinska+dehidroabietinska — Palustric+Abietic+Dehydroabietic, 4 = neobietinska — Neoabietic



Sl. — Fig. 26. UV spektrogram metilnih estera smolnih kiselina uzorka kolofonija Zadar 1 — UV spectra of the sample of rosin Zadar 1 of methyl esters of resin acids: 1 = neoabietinska — Neoabietic, 2 = palustrinska — Palustric, 3 = abietinska — Abietic, 4 = dehidroabietinska — Dehydroabietic

Uzorci iz lokaliteta Zadar i Makarska po svojim svojstvima odgovaraju kvaliteti II za kolofonij dobiven ekstrakcijom.

Iz rezultata u tablici 29 vidljivo je da na sniženje točke omekšavanja ekstrakcionog kolofonija znatno više utječe sadržaj neosapunjivih tvari nego li sadržaj masnih kiselina.

U tablici 28 prikazan je sastav benzinskog ekstrakta nakon odvajanja slobodnih masnih i smolnih kiselina.

Benzinski ekstrakt je koncentriran, zatim je izvršena destilacija s vodenom parom.

Fizikalno-kemijska svojstva terpentinskog ulja dobivenog destilacijom nalaze se u tablicama 18—20. U nehlapivom dijelu benzinskog ekstrakta izvršeno je osapunjenje i određena količina masnih kiselina. To su, zapravo, masne kiseline koje su se u živom stablu nalazile u obliku estera. Iz podataka u tablicama 27 i 28 možemo zaključiti da se smolne kiseline u živom stablu alepskog bora nalaze u slobodnom stanju, a samo jedan mali dio u obliku estera.

Tablica 29 prikazuje svojstva ekstraktivnih tvari dobivenih iz sječke panja pojedinog lokaliteta. U ovom pokusu dobiveni benzinski ekstrakt je koncentriran tj. isparen je benzin i tada su izvršene analize. Uočljive su značajne razlike u svojstvima ekstraktivnih tvari s lokaliteta Rab i Hvar s jedne strane i Makarska i Zadar s druge strane. Razlike su znat-

Tab. 27. Ekstrahirane tvari dobivene benzinom iz sječke alepskog bora — Extracted substances obtained by gasoline extraction of pine chips

| | Vrsta sječke — Kind of chips | Voda Water % | Smolne i masne kiseline/a. s. sječke — Resin and fatty acids /a. d. chips % |
|-------------------------|--|--------------------|--|
| Rab | poslije kuhanja — after cooking | 8.4 | 9.38 |
| Rab | " | 8.8 | 5.91 |
| Rab | sušena na zraku — air dry | 13.0 | 1.45 |
| Rab | izvorna (prirodno vlažna) — natural wet chips | 32.5 | 0.81 |
| Rab | " | 38.5 | 1.21 |
| Rab — panj — stump | sušena na zraku — air dry | 8.5 | 1.94 |
| Rab — panj — stump | poslije kuhanja — after cooking | 10.0 | 3.06 |
| Rab — panj — stump | izvorna (prirodno vlažna) — natural wet chips | 27.3 | 5.86 |
| Rab — panj — stump | " | 30.0 | 1.97 |
| Hvar | poslije kuhanja — after cooking | 8.5 | 0.73 |
| Hvar | sušena na zraku — air dry | 12.4 | 2.04 |
| Hvar | izvorna (prirodno vlažna) — natural wet chips | 39.0 | 0.35 |
| Hvar — panj — stump | " | 42.5 | 1.29 |
| Zadar | poslije kuhanja — after cooking | 12.0 | 1.18 |
| Zadar | sušena na zraku — air dry | 12.0 | 2.32 |
| Zadar | izvorna (prirodno vlažna) — natural wet chips | 49.5 | 0.33 |
| Zadar — panj — stump | " | 19.0 | 2.96 |
| Makarska | sušena na zraku — air dry | 9.2 | 2.82 |
| Makarska | izvorna (prirodno vlažna) — natural wet chips | 10.0 | 0.43 |
| Makarska — panj — stump | poslije kuhanja — after cooking | 7.5 | 5.27 |
| Makarska — panj — stump | izvorna (prirodno vlažna) — natural wet chips | 14.0 | 6.68 |
| Makarska — panj — stump | " | 14.0 | 6.94 |

Tab. 28. Sastav benzinskog ekstrakta nakon odvajanja masnih i smolnih kiselina —
Composition of gasoline solutions after separation of fatty and resin acids

| | Vrsta sječke Kind of chips | Terpen- tinsko ulje Turpen- tine ‰ | Nehla- pivo Nonvo- latile ‰ | Osapu- njivo Saponi- fiable ‰ |
|-------------------------|--|---|---|---|
| Rab | izvorna (prirodno vlažna) — natural wet chips | 0.43 | 0.10 | 0.03 |
| Rab | sušena na zraku — air dry | — | 0.35 | 0.26 |
| Rab — panj — stump | izvorna (prirodno vlažna) — natural wet chips | 0.61 | 0.14 | 0.02 |
| Rab — panj — stump | poslije kuhanja — after cooking | 0.54 | 0.18 | 0.05 |
| Rab — panj — stump | sušena na zraku — air dry | 0.37 | 0.10 | 0.02 |
| Hvar | poslije kuhanja — after cooking | — | 0.11 | 0.03 |
| Hvar — panj — stump | izvorna (prirodno vlažna) — natural wet chips | — | 0.19 | 0.05 |
| Makarska — panj — stump | izvorna (prirodno vlažna) — natural wet chips | 0.74 | 0.27 | 0.05 |
| Makarska — panj — stump | poslije kuhanja — after cooking | 0.49 | 0.26 | 0.08 |

Tab. 29. Kemijska svojstva ekstraktivnih tvari dobivenih ekstrakcijom sječke —
Chemical properties of extracted matter obtained by gasoline extraction of pine chips

| Benzinski ekstrakt Gasoline extract | Rab panj Stump | Hvar panj Stump | Makarska II panj Stump | Zadar panj Stump |
|--|----------------------|-----------------------|---------------------------------|------------------------|
| Kiselinski broj — Acid number | 176.96 | 177.82 | 143.69 | 148.11 |
| Saponifikacijski broj — Saponification number | 179.52 | 183.24 | 160.48 | 156.10 |
| Esterifikacijski broj — Esterification number | 2.56 | 5.42 | 16.79 | 7.99 |
| Neosapunjivo — Unsaponifiable matter ‰ | 0.81 | 0.94 | 9.19 | 10.00 |
| Smolne kiseline — Resin acids ‰ | 83.34 | 84.43 | 77.02 | 77.61 |
| Masne kiseline — Fatty acids ‰ | 15.75 | 14.63 | 13.79 | 12.39 |
| Točka omekšanja °C — Softening point | 69.5 | 73.0 | 51.0 | 62.2 |

ne u KB, SB i EB, a sadržaj neosapunjivih tvari doseže i 10.0% u uzorku s lokaliteta Zadar u odnosu 0.81% u uzorku s lokaliteta Rab. Ta razlika u sadržaju neosapunjivih tvari očituje se u točki omekšanja, koja je za 17.3—22 °C viša za uzorke ekstraktivnih tvari s lokaliteta Rab i Hvar.

Ako sada usporedimo rezultate za točku omekšanja kod uzoraka kolonija za lokalitet Rab 79.5—83 °C s 69.5 °C za uzorak ekstraktivnih tvari panja, vidimo da je taj rezultat niži za 10 °C, a što je posljedica visokog sadržaja masnih kiselina od 15.75%. Isti slijed rezultata je i kod svih ostalih uzoraka istraživanih lokaliteta.

U tablici 30 prikazani su rezultati grupnog sastava crnog luga dobivenog obradom sječke debla alepskog bora po neutralno-sulfitnom polukemijskom postupku.

Tab. 30. Sastav crnog luga — Composition of black liquor

| | Suha tvar Total solids % | Tal ulje Tall oil g/l | Tal ulje u sječki Tall oil in chips % | Tal ulje u suhoj tvari — Tall oil in total solids % |
|----------|--------------------------------|-----------------------------|---|--|
| Rab | 15.75 | 1.30 | 0.29 | 1.84 |
| Hvar | 14.72 | 1.02 | 0.23 | 1.56 |
| Zadar | 15.55 | 1.88 | 0.43 | 2.76 |
| Makarska | 21.34 | 3.28 | 0.75 | 3.51 |

Rezultati analiza pokazuju relativno nizak sadržaj tal ulja na suhu tvar crnog luga 1.56—3.51%. Međutim, s obzirom na količine sirovine u eventualnoj primjeni neutralno-sulfitnog polukemijskog postupka dobivanja poluceluloze, dobivena količina tal ulja predstavljala bi veliku ekonomsku vrijednost.

U tablici 31 prikazani su rezultati ekstrakcije sječke sa 3 razna otapala. Ekstrakcija je izvedena na Soxhlet aparatima i sa sječkom u dostavnom stanju.

Najviše ekstraktivnih tvari nalazi se u benzen-metanolnom ekstraktu. Niži rezultati su postignuti s kloroformom, a najniži s benzenom kao otapalom. To je još izrazitije u slučajevima visokog sadržaja vode u sječki.

Ako usporedimo rezultate pojedinog lokaliteta, možemo načiniti slijedeći redoslijed po količini ekstraktivnih tvari u sva tri otapala: Rab > Makarska > Zadar > Hvar.

Tablice 32, 33 i 34 donose rezultate kemijskog sastava ekstraktivnih tvari dobivenih benzinom iz sječke alepskog bora iz lokaliteta Rab, Hvar, Zadar i Makarska.

Ako usporedimo rezultate kemijskog sastava za uzorke Rab 3, Rab 4 i Rab 5 u tablici 32, vidimo da je sadržaj masnih kiselina mnogo veći u uzorku Rab 3 nego u uzorcima Rab 4 i Rab 5. Takav odnos postoji i za

Tab. 31. Sadržaj ekstraktivnih tvari u sječki alepskog bora u raznim otapalima — Quantity of the extracted substances of pine chips of Aleppo Pine in various solvents

| | Benzen+Metanol Benzene+Methanol % | Kloroform Chloroform % | Benzin Gasoline % | Voda u sječki Water in chips % |
|-------------------------|---|------------------------------|-------------------------|---|
| Rab | 8.11 | 10.30 | 5.40 | 31.60 |
| Rab — panj — stump | 7.36 | 7.10 | 7.04 | 27.33 |
| Hvar | 2.98 | 1.79 | 1.69 | 12.40 |
| Hvar — panj — stump | 3.27 | 1.74 | 1.60 | 42.50 |
| Zadar | 2.10 | 2.05 | 1.43 | 12.00 |
| Zadar — panj — stump | 4.35 | 4.59 | 3.95 | 19.00 |
| Makarska | 4.29 | 3.46 | 2.25 | 12.00 |
| Makarska — panj — stump | 7.71 | 8.45 | 7.56 | 14.00 |

Tab. 32. Kemijski sastav ekstraktivnih tvari dobivenih benzinom iz sječke alepskog bora — Chemical composition of extracted substances obtained by gasoline extraction of pine chips of Aleppo Pine

| Kiselina — Acid | RRT | R 3 % | R 4 % | R 5 % | R 6 % |
|--|------|----------------|----------|----------|----------|
| Palmitinska — Palmitic | 0.25 | 3.05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Stearinska — Stearic | 0.35 | 9.48 | 0.85 | 0.74 | 1.99 |
| Nepoznato — Unknown | — | 1.97 | 0.08 | 0.54 | 0.56 |
| Sandarako-pimarna — Sandaraco-pimaric | 1.09 | 1.33 | 2.60 | 2.81 | 2.55 |
| Izopimarna — Isopimaric | 1.40 | 10.56 | 16.36 | 14.63 | 17.25 |
| | | R _f | | | |
| Palustrinska — Palustric | 0.82 | 7.68 | 10.18 | 10.64 | 11.15 |
| Levopimarna — Levopimaric | 0.76 | 1.09 | 0.0 | 0.0 | 3.77 |
| Abietinska — Abietic | 0.91 | 21.04 | 23.28 | 21.09 | 23.59 |
| Dehidroabietinska — Dehydroabietic | 0.94 | 5.11 | 14.04 | 17.14 | 8.02 |
| Neoabietinska — Neoabietic | 0.06 | 38.67 | 32.08 | 32.39 | 31.08 |

Ekstraktivne tvari dobivene benzinom — The extracted substances obtained by gasoline extraction:

- R 3 — lokalitet — Locality Rab, vlažna sječka panja — wet chips of stump
- R 4 — lokalitet — Locality Rab, zrakосуha sječka panja — air dry chips of stump
- R 5 — lokalitet — Locality Rab, zrakосуha sječka panja poslije kuhanja — air dry chips of stump after cooking
- R 6 — lokalitet — Locality Rab, zrakосуha sječka stabla poslije kuhanja — air dry chips of tree after cooking

Tab. 33. Kemijski sastav ekstraktivnih tvari dobivenih benzinom iz sječke alepskog bora — Chemical composition of extracted substances obtained by gasoline extraction of pine chips of Aleppo Pine

| Kiselina — Acid | RRT | H 2 % | H 3 % | H 4 % |
|--|------|----------|----------|----------|
| Palmitinska — Palmitic | 0.25 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Stearinska — Stearic | 0.35 | 1.54 | 3.45 | 3.04 |
| Nepoznato — Unknown | — | 1.90 | 1.26 | 13.00 |
| Sandarako-pimarna — Sandaraco-pimaric | 1.09 | 3.46 | 3.22 | 7.89 |
| Izopimarna — Isopimaric | 1.40 | 18.46 | 22.95 | 25.13 |
| R _f | | | | |
| Palustrinska — Palustric | 0.82 | 10.17 | 17.69 | 11.71 |
| Levopimarna — Levopimaric | 0.76 | 5.85 | 0.0 | 0.0 |
| Abietinska — Abietic | 0.91 | 5.66 | 30.23 | 39.22 |
| Dehidroabietinska — Dehydroabietic | 0.94 | 27.00 | 11.27 | 0.0 |
| Neoabietinska — Neoabietic | 0.06 | 26.15 | 9.91 | 0.0 |

Ekstraktivne tvari dobivene benzinom — The extracted substances obtained by gasoline extraction:

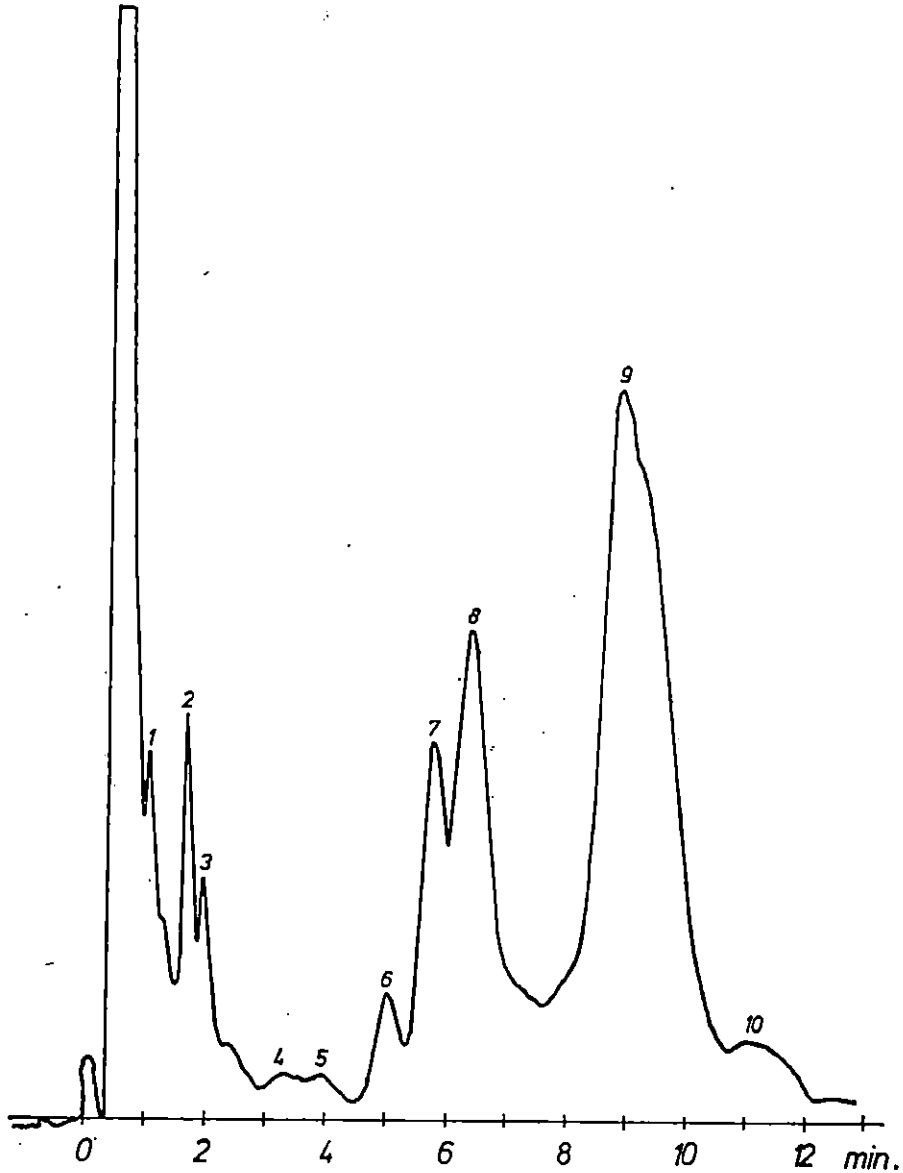
- H 2 — lokalitet — Locality Hvar, vlažna sječka stabla — wet chips of tree
 H 3 — lokalitet — Lokality Hvar, zrakosuha sječka stabla poslije kuhanja — air dry chips of tree after cooking
 H 4 — lokalitet — Locality Hvar, vlažna sječka panja — wet chips of stump

Tab. 34. Kemijski sastav ekstraktivnih tvari dobivenih benzinom iz sječke alepskog bora — Chemical composition of extracted substances obtained by gasoline extraction of pine chips of Aleppo Pine

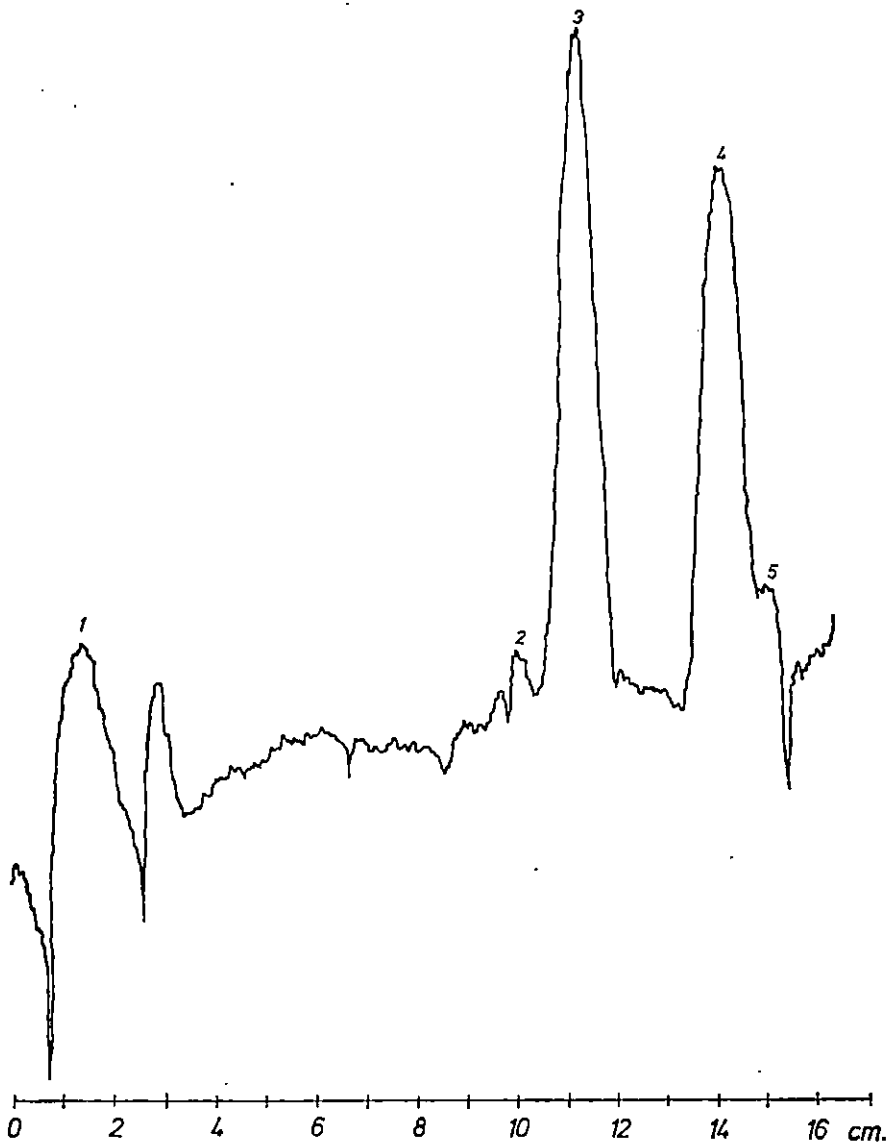
| Kiselina — Acid | RRT | Z 3 % | Z 4 % | M 3 % | M 4 % | M 5 % |
|---------------------------------------|------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Palmitinska — Palmitic | 0.25 | 1.94 | 3.74 | 0.0 | 0.0 | 2.79 |
| Stearinska — Stearic | 0.35 | 3.94 | 27.99 | 1.47 | 5.24 | 7.91 |
| Nepoznato — Unknown | — | 2.03 | 12.61 | 0.08 | 7.92 | 9.39 |
| Sandarako-pimarna — Sandaraco-pimaric | 1.09 | 1.68 | 1.90 | 2.26 | 3.71 | 2.41 |
| Izopimarna — Isopimaric | 1.40 | 10.89 | 8.43 | 24.55 | 19.22 | 13.07 |
| R _f | | | | | | |
| Palustrinska — Palustric | 0.82 | 6.55 | 9.51 | 9.46 | 7.23 | 8.61 |
| Levopimarna — Levopimaric | 0.76 | 0.0 | 3.24 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Abietinska — Abietic | 0.91 | 13.85 | 22.59 | 21.42 | 18.28 | 16.04 |
| Dehidroabietinska — Dehydroabietic | 0.94 | 15.73 | 3.26 | 37.46 | 24.40 | 13.48 |
| Neoabietinska — Neoabietic | 0.06 | 43.56 | 6.71 | 3.28 | 13.99 | 26.29 |

Ekstraktivne tvari dobivene benzinom — The extracted substances obtained by gasoline extraction:

- Z 3 — lokalitet — Locality Zadar, vlažna sječka stabla — wet chips of tree
 Z 4 — lokalitet — Locality Zadar, zrakosuha sječka stabla — air dry chips of tree
 M 3 — lokalitet — Locality Makarska, vlažna sječka stabla — wet chips of tree
 M 4 — lokalitet — Locality Makarska, vlažna sječka panja — wet chips of stump
 M 5 — lokalitet — Locality Makarska, zrakosuha sječka panja poslije kuhanja — air dry chips of stump after cooking



Sl. — Fig. 27. Kromatogram metilnih estera smolnih i masnih kiselina ekstrahiranih benzinom iz sječke Rab 3 — Chromatogram of the methyl esters of resin and fatty acids obtained by gasoline extraction of pine chips of the sample Rab 3: 1 = palmitska — Palmitic, 2 = stearinska — Stearic, 3, 4, 5 = nepoznato — Unknown, 6 = sandarako-pimarna — Sandaraco-pimaric, 7 = palustrinska — Palustric, 8 = izopimarna — Isopimaric, 9 = abietinska + dehidroabietinska — Abietic + Dehydroabietic, 10 = neoabietinska — Neoabietic



Sl. — Fig. 28. UV spektrogram metilnih estera smolnih kiselina uzorka Rab 3 — UV spectra of the sample Rab 3 of methyl esters of resin acids: 1 = neoabietinska — Neoabietic, 2 = levopimarna — Levopimaric, 3 = palustrinska — Palustric, 4 = abietinska — Abietic, 5 = dehidroabietinska — Dehydroabietic

neidentificirane tvari, neoabietinsku i levopimarnu kiselinu. Iako je na taj način sadržaj ostalih smolnih kiselina u uzorcima Rab 4 i Rab 5 relativno viši, ipak je vrlo uočljiv i njegov apsolutno veći iznos.

Za uzorak Rab 6, koji predstavlja ekstraktivne tvari dobivene benzinom iz zrakosuhe sječke debla nakon kuhanja u vodi, možemo reći da slijedi odnose u uzorku Rab 5 koji je prošao isti prethodni tretman.

Uzorci iz lokaliteta Hvar 2 i Hvar 3 pokazuju nešto drugačiju sliku u sastavu smolnih kiselina abietinskog reda. Udio palustrinske i abietinske kiseline raste, a udio levopimarne, dehidroabietinske i neoabietinske kiseline pada. A kako je sadržaj masnih kiselina relativno nizak, to nema većeg utjecaja na odnose smolnih kiselina u oba uzorka.

Uzorak Hvar 4 predstavlja izuzetak po svom sastavu. Značajan je sadržaj neidentificiranih tvari od 13%, a zatim samo dvije prisutne kiseline abietinskog tipa: palustrinska i abietinska.

Rezultati kemijskog sastava uzoraka Zadar 3 i Zadar 4 u tablici 34 donose novu karakteristiku: visok sadržaj masnih kiselina i neidentificiranih tvari. Posebno se to odnosi na uzorak Zadar 4. Odnos sadržaja smolnih kiselina abietinskog reda u ovim uzorcima je posljedica dva faktora: uvjeta ekstrakcije s obzirom na početnu vlažnost — Zadar 3 49.5% vode, Zadar 4 12% vode, a zatim na taj odnos utječe i ukupni sadržaj masnih kiselina i neidentificiranih tvari od 44.34% u uzorku Zadar 4, a 7.91% u uzorku Zadar 3.

Značajke kemijskog sastava uzoraka ekstraktivnih tvari iz lokaliteta Makarska su: relativno visok sadržaj neidentificiranih tvari u panju kao i odsutnost levopimarne kiseline i u deblu i u panju. Kao i u uzorcima ekstraktivnih tvari prethodnih lokaliteta najveća kolebanja u sadržaju zabilježili smo za smolne kiseline abietinskog reda, a što može naći opravdanje u uvjetima ekstrakcije, utjecaju sumporne kiseline pri laboratorijskoj obradi i sklonosti ovih kiselina ka izomerizaciji pod utjecajem topline i kemikalija.

ZAKLJUČAK — CONCLUSION

Prema provedenim istraživanjima u ovom radu mogu se donijeti slijedeći zaključci:

1. Terpentinsko ulje dobiveno smolarenjem alepskog bora (*Pinus halepensis* Mill.) po svojim fizikalno-kemijskim svojstvima odličan je ishodni materijal za mnogobrojne industrijske postupke.

Visok sadržaj pinenske frakcije, kao i odgovarajuće fizikalne konstante ispitivanih uzoraka na svim lokalitetima Rab, Hvar, Zadar i Makarska, omogućuju da se terpentinsko ulje alepskog bora svrsta na prvo mjesto po kvaliteti, iznad svih drugih vrsta (među svim terpentinskim uljima dobivenim smolarenjem drugih crnogoričnih vrsta drva).

2. Rezultati istraživanja terpentinskog ulja, dobivenog destilacijom sječke alepskog bora s vodenom parom, pokazuju sadržaj pinenske frakcije od 75% u odnosu na količinu pinenske frakcije u terpentinskom ulju dobivenom smolarenjem alepskog bora.

Ipak, i ova manja količina pinenske frakcije u terpentinskom ulju, dobivenom destilacijom sječke vodenom parom, kreće se u visini sadržaja pinenske frakcije u terpentinskom ulju dobivenom smolarenjem drugih crnogoričnih vrsta.

3. I treća grupa uzoraka terpentinskog ulja istraživana u ovom radu, dobivena ekstrakcijom sječke alepskog bora s benzinom, pokazuje po učešću pinenske frakcije od oko 60% u odnosu na količinu pinenske frakcije u terpentinskom ulju dobivenom smolarenjem, još uvijek mogućnost daljnje prerade.

Ovu grupu uzoraka terpentinskog ulja karakterizira prisutnost relativno visokog učešća seskviterpena, diterpena, kao i oksidiranih produkata mono, seskvi i diterpena koji se za sada nalaze u grupi neidentificiranih tvari.

4. Na osnovi fizikalno-kemijskih svojstava možemo istraživane uzorke terpentinskog ulja podijeliti u dvije grupe: u jednoj grupi se nalaze uzorci terpentinskog ulja iz lokaliteta Rab i Hvar, a u drugoj uzorci iz lokaliteta Zadar i Makarska.

Prva grupa uzoraka odlikuje se mnogo većom jednolikošću u fizikalno-kemijskim svojstvima, dok drugu grupu karakterizira raznolikost. Najvjerojatnije je to posljedica postojanja spontanih križanaca *P. halepensis* i *P. brutia*, što bi trebalo daljnjim istraživanjima detaljno pojasniti, a također istražiti i sastav terpentinskog ulja ostalih naših borova, što bi bio koristan podatak i za taksonomiju, dendrologiju i genetiku.

5. Provedena istraživanja fizikalno-kemijskog sastava ekstraktivnih tvari alepskog bora prva su takva istraživanja u nas, a i u nama dostupnoj literaturi postoji mali broj istraživanja, i to samo o smoli alepskog bora dobivenoj smolarenjem. Primjenom modernih analitičkih postupaka uspjeli smo prevladati poteškoće nastale pri istraživanju ekstraktivnih tvari alepskog bora.

6. Rezultati analize kemijskog sastava smole dobivene smolarenjem također nas upućuju da možemo istraživane uzorke podijeliti u dvije grupe. Jednu grupu čine uzorci smole iz lokaliteta Rab i Hvar, a drugu grupu čine uzorci smole iz lokaliteta Zadar i Makarska.

Po svojim fizikalno-kemijskim svojstvima kolofonij dobiven iz smole alepskog bora je visoke kvalitete i sva četiri istražena lokaliteta mogu po kvaliteti kolofonija zadovoljiti sve zahtjeve u širokom rasponu.

7. Sva provedena istraživanja ekstrakcionog kolofonija alepskog bora pokazuju da su njegova slabija fizikalno-kemijska svojstva posljedica relativno velikog sadržaja masnih kiselina i neosapunjivih tvari.

Međutim, po sadržaju ekstraktivnih tvari u drvu alepskog bora na svim lokalitetima i uz potrebnu doradu, ekstrakcioni kolofonij dobiven ekstrakcijom sječke alepskog bora s benzinom mogao bi se uspješno primijeniti u mnogim područjima koja ne zahtijevaju kolofonij najviše kvalitete.

8. Na osnovi svih provedenih istraživanja fizikalno-kemijskih svojstava smole alepskog bora možemo zaključiti da su najbolje kvalitete terpentinsko ulje i kolofonij dobiveni iz smole živih stabala.

Terpentinsko ulje i kolofonij, dobiveni destilacijom sječke alepskog bora odnosno ekstrakcijom sječke organskim otapalima, pokazuju po učešću pinenske frakcije odnosno sadržaja smolnih i masnih kiselina niže vrijednosti, a prema tome i slabiju kvalitetu.

LITERATURA — REFERENCES

- Anderson A. B., 1967.: Silvichemicals from the forest. *Economic Botany*, Vol. 21, No. 1, 15—30.
- Anderson A. B., Riffer R., Wong A., Yvalvez L. A., 1968.: Composition of Mindoro pine gum oleoresin. *Wood Science*, Vol. 1, No. 1, 12—14.
- Anderson A. B., Riffer R., Wong A., 1969^a.: Monoterpenes, fatty and resin acids of *Pinus Lambertiana* and *Pinus Monticola*. *Phytochemistry*, Vol. 8, 869—872.
- Anderson A. B., Riffer R., Wong A., 1969^b.: Monoterpenes, fatty and resin acids of *Pinus ponderosa* and *Pinus jeffreyi*. *Phytochemistry*, Vol. 8, 873—875.
- Anderson A. B., Riffer R., Wong A., 1969^c.: Monoterpenes, fatty and resin acids of *Pinus edulis* and *Pinus Albicaulis*. *Phytochemistry*, Vol. 8, 1999—2001.
- Anderson A. B., Riffer R., Wong A., 1970.: Chemistry of genus *Pinus* VII. *Holzforchung*, Bd. 24, H. 6, 182—184.
- Anonymous, 1923.: El aquarras Espanol de pino de Alepo. Instituto Central de Experiencias Tecnico-Forestalis, Madrid—Cosano, 8.
- Aschan O., 1929.: Naphtenverbindungen Terpene und Campherarten. Walter de Gruyter & Co., Berlin und Leipzig, 378.
- Back E., 1960.: Resin in Conifer Pulpwood and Fundamentals of Pitch Control in Pulp and Paper Manufacture. *Svensk Paperstid*, 63, 793—802.
- Barton G. M., 1978.: Chemicals from Trees—Outlook for the Future. Special Paper, VIIIth World Forestry Congress, Jakarta, 1—19.
- Browning B. L., 1967.: Methods of wood chemistry. Vol. 1, J. Willey & Sons, Inc., 384.
- Deur-Siftar Đ., 1973.: Osnovi plinske kromatografije s primjerima analitičke kemije, Tehnološki fakultet Zagreb, 115.
- Dupont G., 1926.: Les essences de terebenthine. Masson-Gauthier Villars, Paris, 332.
- Esteban I., Bergmann F., Gregorius H. R., Huhtinen O., Composition and Genetics of Monoterpenes from Cortical Oleoresin of Norway Spruce and their Significance for Clone Identification. *Silvae Genetica*, 25, 59—66.
- Franklin E. C., 1976.: Within-tree variation of monoterpene composition and yield in slash pine clones and families. *For. Sci.*, Vol. 22, No. 2, 185—191.
- Gildemeister E., Hoffmann F., 1956.: Die Ätherischen Öle, Band IV. Akademie-Verlag, Berlin, 720.
- Gluhareva M. I., 1974.: Spravočnik lesohimika. Lesnaja promišlenost, Moskva, 374.
- Goldstein I. S., 1978.: Chemicals from wood: Outlook for the future. Position paper, VIIIth World Forestry Congress, Jakarta, 1—15.
- Hannover J. W., 1975.: Comparative physiology of eastern and western white pines: oleoresin composition and viscosity. *For. Sci.*, Vol. 21, No. 3, 214—221.
- Hannus K., Pensar G., 1973.: Silvichemicals in Technical Foliage I. Paperi ja puu, Vol. 55, No. 7, 509—517.
- Hiltunen R., Schantz M. V., Löttyniemi K., 1975.: The effect of nitrogen fertilization on the composition and the quantity of volatile oil in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Commun. Inst. Forest. Fenn.*, 85, 1—14.
- Hillis W. E., 1978.: Extractives. Special paper, VIIIth World Forestry Congress, Jakarta, 1—7.
- Holjkin Ju. I., 1976.: Hromatografija v himii drevesinji. Lesnaja promišljenost, Moskva, 287.
- Kahila S. K., 1976.: Refining crude sulphate turpentine. Paperi ja Puu, Vol. 58, No. 9, 578—581.

- Karlson P., 1978.: Biokemija. Školska knjiga Zagreb, 436.
- Keränen R., 1979.: Acid catalysed hydration and isomerisation of α -pinene — the effect of temperature and acid concentration on the reaction rate and products. Paperi ja Puu, Vol. 61, No. 3, 165—171.
- Klein G., 1932.: Handbuch der Pflanzenanalyse. Bd. III, Verlag von J. Springer, Wien, 806.
- Klepac D., Vidaković M., 1977.: Važnost šume za otok Hvar. Zbornik simpozija Hvar u prirodnim znanostima, 39—46.
- Klouwen M. H., Heide R. T., 1962.: Studies on terpenes I. J. Chromatog., 7, 297—310.
- Kramer P. J., Kozłowski T. T., 1960.: Physiology of Trees. Mc Graw-Hill Book Company, New York, 642.
- Lacruce M. T., 1928.: El aguarras Espanol de pino de Alepo. Inst. Forest. de Invest. y Exper., Ano 1, Vol. 2, 116—119.
- Lamprecht M. P. R., Carrascosa Barron M. T., 1965.: Contribucion al estudio de la composicion del aguarras espanol. An. del Inst. Forest. de Invest. y Exper., Ano 37, No. 10, 113—148.
- Lamprecht M. P. R., Martinez del Olmo S., 1975.: Composicion de las mieras de las especies de pinos resinadas industrialmente en Espana. Comunicaciones I. N. I. A., Madrid, No. 3, 1—23.
- Lawrence R. V., 1962.: Composition studies on gum and tall oil rosin. Tappi, Vol. 45, No. 8, 654—656.
- Lee C. J., Snajberk K., Zavarin E., 1974.: Chemical composition of the cortical essential oil from *Abies balsamea*. Phytochemistry, Vol. 13, 179—183.
- Matić S., Rauš Đ., Vranković A., 1976.: Rezultati početnih istraživanja trajno zaštićenog i upravljanog prirodnog šumskog rezervata Dundo na otoku Rabu. Ekologija, Vol. 11, No. 2, 147—166.
- Mirov N. T., 1961.: Composition of gum turpentine of pines. Technical Bulletin No. 1239, Washinton, 1—158.
- Mirov N. T., Zavarin E., Snajberk K., 1966.: Chemical composition of the turpentine of some eastern mediterranean pines in relation to their classification. Phytochemistry, Vol. 5, 97—102.
- Murko D., 1973.: Hemijsko iskorišćavanje šuma u srednjevjekovnoj Bosni i u otomanskom periodu. Glasnik hemičara i tehnologa BiH, Sarajevo, knjiga 21/22, 71—75.
- Nikolin A., Petrović Z., Vrčević J., Nikolin B., 1975.: Mogućnosti korištenja terpentinskog ulja za dobijanje terpinhidrata, terpinola i njihovih derivata. Glasnik hemičara i tehnologa BiH, Sarajevo, knjiga 23/24, 75—80.
- Opačić I., Lončarić M., Kirasić Š., 1967.: Istraživanje mogućnosti korištenja prirodnih smola domaćih vrsta borova. Institut za drvo Zagreb, 64.
- Oudin I. A., 1955.: Stimuliranje proizvodnje smole prskanjem rastvora sumporne kiseline. Šumarski klub Split, 3—16.
- Pejoski B., 1950.: Prilog upoznavanju naših borovih smola. Šum. list, broj 7—8, 297—303.
- Pejoski B., 1962.: Svetska industrija terpentina sa osvrtom na njezin razvoj u našoj zemlji. Kem. u ind., god. XI, broj 2, 50—51.
- Rauš Đ., 1978.: Šumski ekosistemi otoka Raba (od XV do XX stoljeća). Šum. list, br. 1—3, 53—65.
- Shaw A. C., 1952.: The preparation and composition of some Canadian coniferous oils. Pulp and Paper Mag. Can., 53, 119—121.
- Slavjanskij A. K., Mednikov F. A., 1970.: Tehnologija lesohimičkih proizvodst. Lesnaja promišlenost, Moskva, 392.
- Sumarokov V. P., Gordon L. V., 1956.: Himiko-tehničkij kontrolj lesohimičkih proizvodst. Goslesbumizdat, Moskva, 257.
- Trković M., 1964.: O problemu iskorištavanja terpentinskog ulja i dobivanju kamfora i insekticida bornil-klorida i toksafena. Kem. u ind., god. XIII, broj 7, 463—471.
- Tschirch A., Stock E., 1933.: Die Harze. Bd I, Verlag von Gebrüder Borntraeger, Berlin, 418.

- Ugrenović A., 1928.: Smolarenje u Francuskoj. Biblioteka Šumarskog društva Jugoslavije, No. 8, 21.
- Ugrenović A., Šolaja B., 1937.: Istraživanja o tehnici smolarenja i o kemizmu smole vrsti *Pinus nigra* Arn. i *Pinus silvestris* L. Glasnik za šumske pokuse, Zagreb, No. 5, 1—218.
- Uprichard J. M., 1978.: Turpentine and tall oil from Radiata pine: Valuable by-products from Kraft pulping. Special paper, VIIIth World Forestry Congress, Jakarta, 1—16.
- Vasečkin V. S., 1944.: Tehnologija ekstraktivnih veštstava drveta. Goslestehizdat, Moskva, 378.
- Vezeš M., Dupont G., 1924.: Resines et terebenthines. Librairie J. B. Baillere et fils, Paris, 656.
- Vidaković M., Krstinić A., 1974.: Prilog proučavanju morfološke varijabilnosti spontanih križanaca između alepskog i brucijskog bora. Naučni skupovi Srpske akademije nauka i umetnosti, knjiga I, 35—38.
- Walter H., 1954: Grundlagen der Pflanzenverbreitung. II Teil: Arealkunde. Verlagbuchhandlung E. Ulmer, Stuttgart, 245.
- Weissmann G., 1978.: Production and uses of pine resin and turpentine. Special paper, VIIIth World Forestry Congress, Jakarta, 1—18.
- Witek S., Bukala M., 1965.: Investigations on the polish sulphate turpentine. Svensk Papperst., No. 3, 69—71.
- Zavarin E., 1970.: Qualitative and quantitative co-occurrence of terpenoids as a tool for elucidation of their biosyntheses. Phytochemistry, Vol. 9, 1049—1063.
- Zavarin E., Mirov N. T., Snajberk K., 1966.: Turpentine chemistry and taxonomy of three pines of southeastern Asia. Phytochemistry, Vol. 5, 91—96.
- Zavarin E., Smith L. V., Bicho J. G., 1967.: Tropolones of *Cupressaceae* — III. Phytochemistry, Vol. 6, 1387—1394.
- Zavarin E., Cobb F. W. Jr., 1970.: Oleoresin variability in *Pinus ponderosa*. Phytochemistry, Vol. 9, 2509—2515.

VLADIMIR SERTIĆ

THE PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF GUM
OLEORESIN OF ALEPPO PINE
(*PINUS HALEPENSIS* MILL.) OBTAINED
BY VARIOUS TECHNOLOGICAL METHODS

Summary

The literature data of the oleoresin investigations and the report of industrial utilization of resin by modern techniques are reported in the general part of the paper.

The reported physical constants of turpentine and of resin and their utilisation and the World produce are described.

The results of chemical analyses of Aleppo pine from a locality in Rab, Hvar, Zadar and Makarska are presented as well as the physical and chemical analyses of turpentine and of rosin obtained from Aleppo pine.

The volatile constituents in the turpentine obtained by steam distillation of pine-chips have been investigated, as well as the chemical constituents in the turpentine and resin acids obtained by extraction of pine-chips with gasoline.

Qualitative determinations of monoterpenes were performed by comparing relative retention times computed on the basis of the time necessary for α -pinene to appear as equal to 1.0, and by internal standardization with the known compound.

Quantitative determinations were made by internal normalization of disk checked integrator values, with synthetic mixtures of known percentage composition. The composition of resin acids was investigated with thin layer and gas liquid chromatography.

On the basis of the performed investigations the following conclusions can be drawn:

1. The physico-chemical properties of the turpentine obtained by tapping of Aleppo pine indicate that it is the excellent starting material for various industrial methods.

High content of pinene fraction as well as corresponding samples from all localities such as Rab, Hvar, Zadar and Makarska ensures top quality of the turpentine of Aleppo pine.

2. The results of the investigations of the turpentine obtained by steam distillation of the chips of the Aleppo pine show the content of 75% of the pinene fraction in relation to the amount of the pinene fraction obtained by tapping of the Aleppo pine.

3. The third group of samples of the wood turpentine examined in this work and obtained by the gasoline extraction of the chips of the Aleppo pine shows the content of the 60% of the pinene fraction in relation to the amount of the pinene fraction obtained by tapping of the Aleppo pine. These samples can undergo the further treatment.

This group samples of turpentine contains relatively high content of sesquiterpenes, diterpenes and oxygenated compounds which are presently in the group of unknown substances.

4. The examined samples of turpentine can be divided in two groups with regard to their physico-chemical properties. In the first there are the samples of the turpentine from the localities Hvar and Rab, and in the second from the localities Zadar and Makarska.

The first group of samples exhibits much higher uniformity in physico-chemical properties while the second group exhibits large variety in properties.

It is probably a consequence of the spontaneous hybrids of *Pinus halepensis* and *Pinus brutia* which requires further investigations and explanations.

5. The results of the chemical analysis of the resin obtained by tapping suggest that the examined samples should be divided in two groups. The first one is made by the samples of the resin from the localities Rab and Hvar and the second one from the localities Zadar and Makarska.

With regard to physico-chemical properties of rosin obtained from resin of Aleppo pine it is of very high quality and the all four examined localities can satisfy quality requirements of rosin in large region.

STANISLAV SEVER

ISTRAŽIVANJA NEKIH EKSPLOATACIJSKIH PARAMETARA TRAKTORA PRI PRIVLAČENJU DRVA*

INVESTIGATIONS OF SOME TRACTOR'S EXPLOITATION PARAMETERS AT WOOD SKIDDING *

U radu su prikazane sadašnje spoznaje o promjenljivosti tehničko-eksploatacijskih parametara pri privlačenju drva. Autor pristupa analizi sila pri privlačenju drva uz istovremeno ispitivanje zglobnog traktora kojim je obavljeno privlačenje. Pokusima su uz pomoć posebnih mjernih uređaja utvrđeni zakretni moment i klizanje na pogonjenim kotačima, horizontalna i vertikalna komponenta vučnog otpora itd. Promjene tih i mnogih drugih tehničkih parametara istražene su za privlačenje stabala, debala, duge oblovine i sortimenata, pri različitoj orijentaciji vučenog drva i težini tereta, visini podignutog kraja, brzini, broju istovremeno vučenih komada, karakteristikama tla itd. Poblježe je ispitan utjecaj tla na kome se obavljalo privlačenje. Istraživane su i morfološke karakteristike traktora u eksploataciji šuma.

Ključne riječi: eksploatacija šuma — privlačenje — zglobni traktor — adaptirani poljoprivredni traktor — koeficijent vuče — korisnost kotača i traktora — koeficijent privlačenja — koeficijent otpora — sile u vučnom užetu — morfologija traktora u eksploataciji šuma.

POPIS OZNAKA — LIST OF SYMBOLS

Geometrijske veličine — Geometrical parameters

- | | |
|----------------------|--|
| <i>l</i> | Razmak osovina traktora, duljina drva — Tractor axel distance, timber length |
| <i>l₁</i> | Razmak težišta traktora od prednjeg mosta traktora — Distance between tractor center of gravity and front axle |
| <i>l₂</i> | Razmak težišta traktora od stražnjeg mosta traktora — Distance between tractor center of gravity and rear axle |

* Rad je primljen za tisak 1980—10—06 — The article was received for publishing on 6th October, 1980.

| | |
|---------------------------------|--|
| l_V | Horizontalni razmak hvatišta tereta od stražnjeg mosta traktora tijekom privlačenja — Horizontal distance between point of application of load and tractor rear axle during skidding |
| h_H | Vertikalni razmak hvatišta tereta od tla — Vertical distance between point of application of load and ground |
| B | Okvirna širina traktora — Maximum over-all width of tractor |
| L | Okvirna duljina traktora — Maximum over-all length of tractor |
| H | Maksimalna visina traktora — Maximum height of tractor |
| r_d | Dinamički polumjer kotača traktora — Dynamic radius of tractor |
| r | Teoretski polumjer kotača traktora — Theoretical radius of tractor wheel |
| r_k | Kinematički polumjer kotača traktora — Kinematic radius of tractor wheel |
| r_{pred} | Polumjer prednjeg kotača traktora — Front tractor wheel radius |
| r_{str} | Polumjer stražnjeg kotača traktora — Rear tractor wheel radius |
| λ_r | Omjer polumjera prednjeg i stražnjeg kotača — Radius ratio of front and rear wheels |
| R_s | Polumjer okretanja standardnog traktora — Turning radius of standard tractor |
| R_a | Polumjer okretanja zglobnog traktora — Turning radius of articulated tractor (frame steered skidder) |
| e_k | Dubina penetriranja konusnog penetrometra — Penetration depth of cone-penetrometer |
| A_{im} | Imaginarna tlocrtna površina traktora — Imaginary top view area of tractor |
| $\alpha, \beta, \gamma, \theta$ | Kut nagiba terena, vučnog užeta i dr. — Angle of inclination of ground, angle of inclination of choker line etc |
| s | Put privlačenja — Skidding distance |
| $d_{1.1}$ | Prsni promjer — Diameter at breast height (DBH) |
| d | Promjer drva — Timber diameter |
| e | Širina traga — Width of track |

Vremenske veličine — Time parameters

| | |
|----------|---|
| n | Broj okretaja kotača traktora, motora i dr.; indeksi: p — prednji, s — stražnji — Tractor wheel revolutions, engine revolutions etc; indexes: p — front, s — rear |
| ω | Kutna brzina kotača, zgloba pri okretanju i dr. — Angular velocity of wheel, of joint at turning etc |
| v | Linearna brzina traktora — Linear speed of tractor |
| i | Prijenosni odnos elemenata traktora — Ratio of tractor elements |
| t | Vrijeme privlačenja (trajanja pokusa) — Skidding time (Experiment duration) |

Veličine mase — Parameters of mass

| | |
|-------|--|
| m | Masa traktora — Tractor mass |
| g_s | Specifična masa traktora — Specific mass of tractor |
| w_r | Relativna vlaga tla — Relative soil moisture content |

Veličine sila — Forces parameters

| | |
|----------------|--|
| F_H | Horizontalni otpor vuče; horizontalna komponenta vučne sile — Horizontal tractive resistance; horizontal component of tractive force |
| F_V | Vertikalna komponenta vučnog otpora — Vertical component of tractive resistance |
| F_t | Otpor vuče drva — Resistance at wood skidding |
| F_N | Normalno opterećenje drva na tlo s jednim podignutim krajem — Vertical loading on ground with timber one end suspended |
| F_l | Sila otpora kotrljanja — Rolling resistance force |
| F_o | Obodna (tangencijalna) sila kotača traktora — Peripheral (tangential) force of tractor wheel |
| F | Rezultantna sila u vučnom užetu; sila utiskivanja penetrometra itd. — Resultant force at choker line; penetration force etc |
| F_s | Otpor trenja mirovanja pri vuči drva — Resistance of rest friction at wood skidding |
| Q | Težina vučenog tereta — Skidding load weight |
| Q_1 | Dio tereta koji se prenese na traktor — Part of vertical load transfer on tractor, $k \cdot Q$ |
| Q_2 | Dio tereta koji se prenese na tlo — Part of vertical load transfer on ground |
| G_{adh} | Adhezijsko opterećenje traktora — Adhesive loading of tractor |
| G | Težina traktora bez tereta — Tractor weight without load |
| G_1 | Dio težine traktora na prednjem mostu — Part of tractor weight at front axle |
| G_2 | Dio težine traktora na stražnjem mostu — Part of weight at rear axle |
| G_1^d, G_2^d | Dinamičko opterećenje mostova — Dynamic loading of axles |
| M | Okretni moment kotača traktora; indeksi: PL prednji lijevi, PD prednji desni, SL stražnji lijevi, SD stražnji desni — Torque of tractor wheel; indexes: PL front left, PD front right, SL rear left, SD rear right |
| M_l | Okretni moment za savladavanje otpora kotrljanja. — Torque for overcoming rolling resistance |
| M_H | Okretni moment za savladavanje horizontalnog vučnog otpora. — Torque for overcoming the horizontal tractive resistance |
| M_o | Okretni moment kotača (ukupni) — Torque of wheels (total) |

| | |
|---------------|---|
| μ_t | Koeficijent trenja pri vuči drva po tlu — Friction coefficient at ground wood skidding |
| μ_p | Koeficijent trenja pri vuči drva s jednim podignutim krajem — Friction coefficient at wood skidding with one end suspended |
| k | Koeficijent raspodjele opterećenja vučenog tereta — Coefficient of loading ratio of skidding load |
| k_v | Koeficijent privlačenja — Skidding coefficient |
| k_t | Transportni koeficijent — Transport coefficient |
| k | Bruto koeficijent privlačenja — Gross skidding coefficient |
| κ | Koeficijent vuče — Tractive coefficient |
| f | Otpor kotrljanja — Rolling resistance |
| δ | Klizanje — Slip |
| ε | Iskorištenje horizontalne komponente vučnog otpora — Efficiency of horizontal component of tractive resistance $\varepsilon = F_V/F_H$ ($= \operatorname{tga}$) |
| φ | Koeficijent iskorištenja opterećenja tereta — Coefficient of efficiency of loading load $\varphi = F_V/Q$ |
| φ' | Koeficijent uzdužne stabilnosti traktora — Coefficient of longitudinal stability of tractor $\varphi' = 1/G_I \cdot l (F_V \cdot l_V + F_H \cdot l_H)$ |
| p | Tlak — Pressure |
| p_{im} | Specifični imaginarni tlak traktora — Specific imaginary pressure of tractor |
| g | Težno ubrzanje — Gravity acceleration |

Energijske veličine — Energy parameters

| | |
|---------------|---|
| P | Snaga pogonskog motora traktora — Tractor engine power |
| P_e | Efektivna snaga motora — Effective power of engine |
| P_H | Vučna snaga — Tractive power |
| P_o | Snaga na obodu kotača — Periphery wheel power |
| P_m | Gubici snage transmisije — Transmission power losses |
| P_{hp} | Snaga za pogon hidrauličkih i pneumatskih uređaja — Hydraulic and pneumatic devices driving power |
| P_f | Snaga potrebna za savladavanje otpora kotrljanja — Rolling resistance overcome power |
| P_δ | Snaga gubitaka na klizanje — Slip power losses |
| P_u | Snaga za savladavanje otpora uspona — Uphill overcome power |
| η | Stupanj korisnosti traktora — Efficiency of tractor |
| η_f | Stupanj korisnosti otpora kotrljanja — Efficiency of rolling resistance |
| η_δ | Stupanj korisnosti klizanja — Slip efficiency |
| η_k | Stupanj korisnosti kotača — Wheel efficiency |

| | |
|----------------|--|
| η_m | Stupanj korisnosti mehaničkih gubitaka traktora — Efficiency of tractor mechanical losses |
| η_{trans} | Stupanj korisnosti transmisije traktora — Efficiency of tractor transmission losses |
| η_{hp} | Stupanj korisnosti hidrauličkih i pneumatskih gubitaka traktora — Efficiency of tractor hydraulic and pneumatic losses |

Statističke veličine, konstante, oznake — Statistical parameters, constants, symbols

| | |
|-------|---|
| M_x | Aritmetička sredina — Arithmetic mean |
| s_x | Standardna greška od x — Standard error of x |
| R | Indeks korelacije — Correlation index |
| r | Koeficijent korelacije — Correlation coefficient |
| c | Konstanta mjernih pretvornika — Measurement transducers constant |
| »D« | Deblji kraj naprijed — Butt end foremost |
| »T« | Tanji kraj naprijed — Top end foremost |
| T | Težište traktora, površina i dr. — Center of gravity of tractor, of area etc. |
| S | Zglob traktora — Tractor joint |

Ostale oznake u tekstu ili na slikama — Other symbols as defined in the text or on fig.

1. UVOD — INTRODUCTION

1.1. Eksploatacija šuma — Logging

U istraživanjima eksploatacije šuma sve više susrećemo tzv. sustavnu analizu, koja nam omogućuje razumijevanje kako ove čitave djelatnosti šumarstva, tako i upoznavanje s pojedinim njezinim podsistemima, te veza između istih. Za provedbu takve analize Höfle (1974) je izradio sustavni model eksploatacije šuma, prikazujući ju unutar šumarstva kao privredne grane i nadsustava okoliša, čiji je sastavni dio.

Istraživanje čitavog sustava eksploatacije šuma postaje uspješno zahvaljujući novim područjima znanosti kao što su studij vremena i rada, ergonomija, kompjuterska simulacija te posebno eksperimentalni rad na istraživanju efekta različitih načina privlačenja drva (Höfle, 1974).

Mnogi autori sustav eksploatacije šuma dalje razmatraju kao zbroj djelovanja mnogih komponenata, od kojih su bitne: sječa i izrada, izvlačenje, utovar i transport drvene mase (Conway, 1976). Isti autor u rad na eksploataciji šuma ubraja skup djelovanja koji čine sustav čovjek — stroj, te razmatra niz komponenata pri dobivanju drva.

Ugrenović i Benić (1957) pod iskorišćivanjem šuma definiraju sam rad, kojim čovjek nastoji da iskoristi materijalna dobra šume, a pod eksploatacijom šuma razumijevaju rad, koji obuhvaća prvu i drugu fazu iskorišćivanja, tj. izrađivanje i iznošenje drva, uključujući i prethodne radove. U šumarskoj stručnoj terminologiji eksploatacija je sinonim za gospodarenje, dakle za potpuno pravilno i ekonomsko postupanje.

Slično u potpunoj mehanizaciji eksploatacije šuma razni autori vide više bitnih faza. Tako Krivec (1979) izdvaja sječu i izradu, privlačenje, prijevoz i doradu drvene mase.

Dok su faze sječe i izrade kao i prijevoza sa utovarom i istovarom gotovo potpuno mehanizirane, privlačenje drva je tek dijelom mehanizirano i predstavlja najskuplju fazu u eksploataciji šuma. Zbog toga ono ostaje i nadalje izuzetnim predmetom istraživanja.

1.2. Definicija privlačenja drva — Definition of wood skidding

U definiranju tzv. druge faze eksploatacije šuma, različiti autori se donekle razlikuju u njezinom definiranju i smještaju unutar cjelokupnog transporta drvene mase od panja do mjesta prerade.

Ugrenović i Benić, 1957, Benić, 1963 drugu fazu u eksploataciji šuma zovu iznošenje i dijele ju u dvije podfaze: izvlačenje i transport. Jednako ovu fazu dijeli i Hafner (1964) i niz drugih autora. Pritom Hafner navodi da se oblo drvo izvlači na slijedeće načine: izvlačenje cijelih stabala s krošnjom, izvlačenje debala i izvlačenje sortimenata.

Pojam izvlačenje odnosi se na micanje izrađenih sortimenata ili cijelih debala, dijelova debala (duge oblovine) a ponegdje i stabala s krošnjama od mjesta izrade (od panja) do pomoćnog stovarišta (Bojanin, 1974).

Primarni transport je prema Conway-u (1976) primicanje drva od panja do mjesta utovara. On ga dalje dijeli na privlačenja (skidding), pod kojim podrazumijeva djelomičnu ili cjelokupnu vuču drvene mase po tlu, te vuču žičarom (yarding), kod čega razlikuje podvarijantu vuče dijela tereta po tlu (cable skidding). Isti autor navodi i korišćenje helikoptera i balona pri iznošenju drva. Pritom slaganje (uhrpavanje) smatra važnim elementom privlačenja. Ono se izvodi ručno ili mehanizirano. Ovo posljednje je posebno došlo do izražaja kod nas pri primjeni tehnologije izrade višemetarskog drva, tj. drva u dimenzijama većih dužina, tzv. industrijskog drva.

U privlačenju Conway (1976) razlikuje i način koji naziva izvoženje (forwarding, prehauling), koje se koristi pri radu sa sortimentima i njihovog izvoženja prikolicama ili poluprikolicama raznih tipova. Dalji transport autor naziva prijevozom kamionima, željeznicom ili vodenim tokovima.

Lovrić (1976) definira sakupljanje ili sabiranje kao prijenos drva od panja do sabirnog stovarišta. Ono se odvija po besputnom terenu. Prijenos, odnosno vuča je dio transporta od sabirnog do pomoćnog stovarišta.

Obavlja se rubovima sastojine, prosjekama i traktorskim putovima (vlakama). Ovo zapravo predstavlja izvlačenje. Prijevoz je dalji transport drva od pomoćnog do glavnog stovarišta.

I šumski transportni sustavi (prometnice) dijele se u dvije kategorije; na transportni sustav privlačenja i na transportni sustav prijevoza, a međusobno se razlikuju u načinu i nivou izgradnje. Kod transportnih sustava privlačenja, prijenos drvene mase se odvija na besputnom terenu, zatim po šumskim putovima niže kategorije, odnosno traktorskim putovima ili šumskim vlakama (traktorskim stazama) (Lovrić, 1979).

Razmatrajući sve navedeno, možemo zaključiti da je privlačenje mica-
nje drva od mjesta sječe do sabirnog stovarišta i dalje do pomoćnog stovarišta, gdje započinje utovar drvene mase u vozila kojima se vrši prijevoz. Prema načinu primjenjene tehnologije, kako je rečeno, privlače se (izvlače) cijela stabla, debla, duga oblovinina ili sortimenti, a vuča se obavlja potpuno po tlu; zatim, prednji dio se podigne ili se drvena masa izvozi ili se iznosi.

1.3. Načini privlačenja — Skidding methods

Autori pristupaju podjeli sredstava za privlačenje na različite načine. Treba naglasiti da su sve podjele relativno kratkog vijeka, jer su nova saznanja i stvaranje novih specijalnih sredstava za privlačenje svakodnevna.

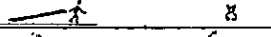

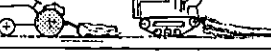
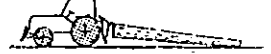







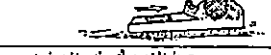
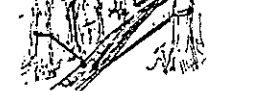
Zbog specifičnosti tehnološkog procesa privlačenja nije napredak sredstava tražen u povećanju snage pogonskog motora, već u drugim rješenjima, koja su i dovela do specijalnih vozila.

Jandel (1972) također dijeli traktore u šumarstvu na univerzalne s kotačima, gusjeničare i polugusjeničare s dodatnim uređajima (vitlo, sigurnosna kabina i dr.), te specijalne šumske traktore za privlačenje drva (zglobni i drugi traktori opremljeni za rad na izvlačenju drva).

Razvoj primjene traktora u šumarstvu može se promatrati u nekoliko etapa. Prvu generaciju čine uređaji uzeti iz velikoserijske poljoprivredne mehanizacije. Drugu generaciju tvore uređaji prilagođeni za primjenu u tehnološkim procesima šumarstva, dok treća generacija strojeva nastaje stvaranjem strogo specijaliziranih priključaka, isključivo namijenjenih za rad u šumi (Sever, 1979).

Sva tri razvojna puta smo prošli i pri stvaranju sredstava za mehaniziranje radova na privlačenju drva. U periodu zamjene životinjske sprege prihvatili smo traktor kao vučno oruđe te smo na isti način kao i sa zapregom vukli oblovinu po tlu. Tek neznatne preinake se pojavljuju na takvim traktorima. Dodavanjem vitla, prednje daske, sigurnosne kabine i drugih sklopova, takav traktor prestaje biti univerzalni; to je sada šumski traktor za privlačenje drva. Iza ove faze slijedi prije opisana faza stvaranja strogo specijaliziranog vučnog stroja namijenjenog samo za privlačenje drva, u koje spadaju zglobni traktori, forvarderi i dr.

Na slici 1 dan je shematski pregled nekih uobičajenih sredstava za privlačenje drva u šumarstvu svijeta (Abeels, 1971; Igrčić, 1978; Lovrić i Benić, 1952; Sever I. i S., 1966; Tomanić, 1974; Benić, 1950 i dr.).

| SREDSTVO - DEVICE | ŠEMATSKI PRIKAZ - SCHEMATIC REVIEW | NAČIN RADA - OPERATIONAL MODE |
|--|---|--|
| RUČNO I SA ŽIVOTINJSKOM SPREGOM - MANUALLY AND WITH ANIMAL YOKE | | |
| RUČNO - MANUALLY |  | • SAKUPLJANJE - HAUL BUNCHING |
| ŽIVOTINJSKA SPREGA - ANIMAL YOKE |  | • VOČA SKOTSEKATA PO TLU - GROUND SKIDDING BY LIMBED • IZVOŽENJE PREŠTERENI DRVA - TRANSPORTATION OF CLIMBED |
| STANDARDNI TRAKTOR IZ VELIKE SERIJE - MASS PRODUCTION STANDARD TRACTOR | | |
| TRAKTOR S KOTAČIMA IJ GUSJENIČAK IZ VELIKE SERIJE BEZ DOGRADNJE - MASS PRODUCTION WHEELED OR TRACED TRACTOR UNADAPTED |  | • VOČA PO TLU - GROUND SKIDDING |
| ADAPTIRANI STANDARDNI TRAKTOR, DOGRADNJA VITLA, OŠKE, SIGURNOSNE KABINE I.T.D. - ADAPTED STANDARD TRACTOR, REBUILDING OF WINCH, BLADE, SAFETY CAB ETC. |  | • VOČA S JEDNIM PODIGNUTIM KRAJEM - HAUL OR TOP END SUSPENDED |
| SPECIJALNA VOZILA ZA PRIVLAČENJE - SPECIAL VEHICLES FOR SKIDDING | | |
| ZGLOBNI TRAKTOR - SKIDDER |  | • VOČA VITLOM PO TLU - WINCH GROUND SKIDDING • VOČA S JEDNIM PODIGNUTIM KRAJEM - ONE END LIFTED SKIDDING |
| TRAKTOR GUSJENIČAR ZA PRIVLAČENJE - SKIDDING TRACED TRACTOR |  | • PRIVLAČENJE VITLOM OD PAMU DO TRAKTORA - WINCH GROUND SKIDDING FROM STUMP TO TRACTOR • VOČA PO TLU S JEDNIM PODIGNUTIM KRAJEM - GROUND SKIDDING WITH ONE END SUSPENDED |
| FORWARDER - FORWARDER |  | • IZVOŽENJE SORTIRANATA - FORWARDING OF SORTMENTS |
| GRAPPLE SKIDDER |  | • VOČA PO TLU S JEDNIM PODIGNUTIM KRAJEM - GROUND SKIDDING WITH ONE END SUSPENDED • TRAKTOR PRLAZI PAMU - TRACTOR APPROACHES STUMP |
| CLAN BUNK SKIDDER |  | • VOČA PO TLU S JEDNIM PODIGNUTIM KRAJEM, TRAKTOR PRLAZI PAMU - GROUND SKIDDING WITH ONE END SUSPENDED, TRACTOR APPROACHES STUMP |
| OSTALA SREDSTVA ZA PRIVLAČENJE - OTHER SKIDDING DEVICES | | |
| ŽIČARE - CABLE YARDING |  | A - JEDAN KRAJ SE VOČU PO TLU - VOČA UČAROM - GROUND SKIDDING OF ONE END, CABLE SKIDDING B - VOZILA UČETA PO NOSPON UČETU, TRANSPORT IZAROM - TRANSPORT OF LIFTED LOAD ON CARRYING LING, CABLE TRANSPORT |
| HELIKOPTER - HELICOPTER |  | IZNOŠENJE - TRANSPORTATION |
| LEBDELICA - HOVERCRAFT |  | IZNOŠENJE - TRANSPORTATION |
| PRIRODNE SILE - ELEMENTARY FORCES |  | SANJANJE, RIŽANJE, SPLAVARENJE... - SLIDING, FLOWING |

Sl. — Fig. 1. Shematski prikaz nekih uobičajenih sredstava za privlačenje drva — Schematic review of some conventional wood skidding devices

1.4. Područje istraživanja traktora pri privlačenju drva — Investigation field of tractor at wood skidding

Najveći broj radova se odnosi na studij rada i vremena pri radu traktora na privlačenju, ekonomičnosti njihove primjene, graničnim uvjetima korištenja, ergonomskim pokazateljima pri radu na privlačenju, štetama koje nastaju na pomlatku i tlu, primjenljivosti pri raznim tehnologijama, itd. Dakle, najčešće su istraživani sastojinski, terenski i klimatski faktori i njihov utjecaj na učinke postignute radom sredstava za mehaniziranje (Benić, 1975 A i B; Bojanin 1971; Bojanin et al, 1976; Bojanin i Sever, 1978; Tomičić, 1974; Schlaghamersky, 1976 i dr.).

Veoma se mali broj radova odnosi na istraživanja tehničko-eksploatacijskih parametara. Niz tehničkih činilaca koji su posljedica konstrukcije, ali i načina eksploatacije, bitno utječe na učinke postignute traktorima pri privlačenju. To je posebno naglašeno zbog kretanja takvih vozila izvan puteva, po tlu. Naravno da šumarski stručnjaci mogu utjecati samo na parametre koji se mijenjaju prilikom pripreme traktora za rad, a tek na dio njih i tijekom same eksploatacije. Dio nabrojanih radova je istraživao utjecaj drva na veličinu vučnih otpora, ali gotovo da nema rada koji bi se bavio razmatranjem prijenosa sila sa kotača na tlo tijekom privlačenja, te vučnom korisnošću traktora. Upravo se parametri koji utječu na navedeni tok sila odlikuju velikom kompleksnošću i heterogenošću. Tek nekoliko istraživača iz Kanade, Švedske, Norveške i SR Njemačke se bavilo proučavanjem vuče drva, a gotovo da nema primjera pokušaja definiranja i tehničkih parametara traktora tijekom privlačenja drva.

2. PROBLEMATIKA I CILJ ISTRAŽIVANJA — SUBJECT AND AIM OF INVESTIGATION

Problematika privlačenja je ponajmanje izučena sa stanovišta utjecaja tehničko-eksploatacijskih parametara koji utječu na nju. Tu se prvenstveno misli na niz činilaca koji su posljedica pripreme traktora za rad, kao i onih koji se mijenjaju tijekom same eksploatacije.

Pri definiranju problema istraživanja prvenstveno se htjelo obuhvatiti one parametre koji se odnose na efikasnost prijenosa sila s kotača na tlo, dakle na mogućnost ostvarenja trakcije pri privlačenju drva. Uspješno rješavanje ovog problema znači uspješnije korištenje skupocjene traktorske energije.

Da bi se to ostvarilo, treba odrediti horizontalni vučni otpor pri vuči, te vertikalne sile na stražnjem mostu traktora koje su uzrokovane privlačenjem drvne mase. Uz ostale nepromijenjene činioce, povećanje opterećenja na pogonjene kotače omogućuje ostvarenje većih vučnih sila. Naravno da će to važiti za suho i do realne granice vlažno tlo.

S različito orijentiranim deblima, tj. s tanjim ili debljim krajem okrenutim u smjeru vuče, bitno se mijenjaju uvjeti vuče i dodatnog opterećenja traktora s teretom oblovine. Pritom se mijenja i koeficijent otpora vuče.

Prema naprijed iznesenom, cilj istraživanja je bio:

— Istražiti horizontalne vučne otpore te vertikalna dodatna opterećenja pojedinih mostova traktora, mijenjajući pritom:

brzinu kretanja traktora,
orijentaciju debela,
broj istovremeno privlačenih debala;

— S dovoljno pokazatelja opisati tlo na kojem se vrši privlačenje, te odrediti specifični tlak ispod kotača tijekom privlačenja;

— Ustanoviti tijekom vuče drvene mase zakretne momente na svim pogonjenim kotačima, kao i klizanje istih;

— Odrediti i ostale uvjete pod kojima se vrši istraživanje:

barometričko stanje okolnog zraka,
stanje pokusne staze,
masu i morfološke karakteristike vučene drvene mase,
stanje i karakteristike traktorskih guma i dr.;

— Morfološke karakteristike traktora koji se u nas koriste na privlačenju drva.

Kao prilog upoznavanju navedenih eksploatacijskih parametara traktora pri privlačenju drva, rezultati takvih istraživanja dat će uvid u varijacije koeficijenta otpora kod vuče drva, te koeficijenta privlačenja za postavljene uvjete eksperimenta, bez obzira na tip primijenjenog traktora.

2.1. Istraživanje morfoloških karakteristika traktora za privlačenje drva — Investigation of skidding tractor's morphological characteristics

Bekker (1956) prvi primjenjuje metode morfološke studije kao specifični vid primjene dimenzijske analize, analize oblika i dimenzija i na terenska vozila, u kakve spadaju i traktori za privlačenje drva. Do tada se takva analiza uglavnom koristila za proučavanje motornih vozila za cestovni saobraćaj, te šinska vozila.

Križnar (1973) smatra da pri morfološkoj analizi traktora treba uvesti pokazatelje, koji nisu poznati pri analizi cestovnih i šinskih vozila. Isti autor iz morfološke analize dolazi do limitirajućih vrijednosti za dimenzije, masu i snagu pogonskog motora traktora.

Sever (1974 B) je izvršio prvu morfološku analizu traktora koji se koriste pri privlačenju drva u nas.

Bekker (1973) smatra da odluka o tome kakve će se koristiti gume, ovisi o određenim uvjetima (stanje tla) gdje će se traktor primijeniti, te pritisku koji traktor ostvaruje na tlo kod određenog koeficijenta vuče.

Uz osnovne dimenzijske karakteristike koje dobivamo od proizvođača guma, i niz drugih parametara utjecajni su činioci na njihova svojstva. Tu prvenstveno mislimo na progib, veličinu kontaktne površine, opterećenje i dr.

Niz autora upravo proučava kontaktnu površinu guma, te daje empirijske izraze za odnos osnovnih činilaca (Meggile, 1957; Mikkonen i Wuolijoki, 1975; Križnar, 1973; Bekker, 1956; Sever, 1974 A i dr.).

Za utvrđivanje manevarskih sposobnosti traktora pri privlačenju, minimalni polumjer okretanja traktora jedan je od bitnih pokazatelja primjenjivosti vozila, posebno pri izvlačenju drva u prebornim sastojinama i proredama.

2.2. Otpor vuče drva — Resistance at wood skidding

Problem određivanja otpora vuče drva istražen je više no ostali. Na slici 2 prikazani su neki mogući načini vuče i vožnje drva po tlu.

Za definiranje karakteristika vuče drva Samset (1979 i 1956), Arvesen (1970), Calvert i Garlicki (1968), Bennett (1962) i dr. koriste bezdimenzijske veličine.

— Koeficijent otpora (Friction coefficient; Coefficient of resistance, Drag coefficient) pri vuči drva po tlu (slučaj C);

$$\mu_t = \frac{F_H}{Q} \quad (1)$$

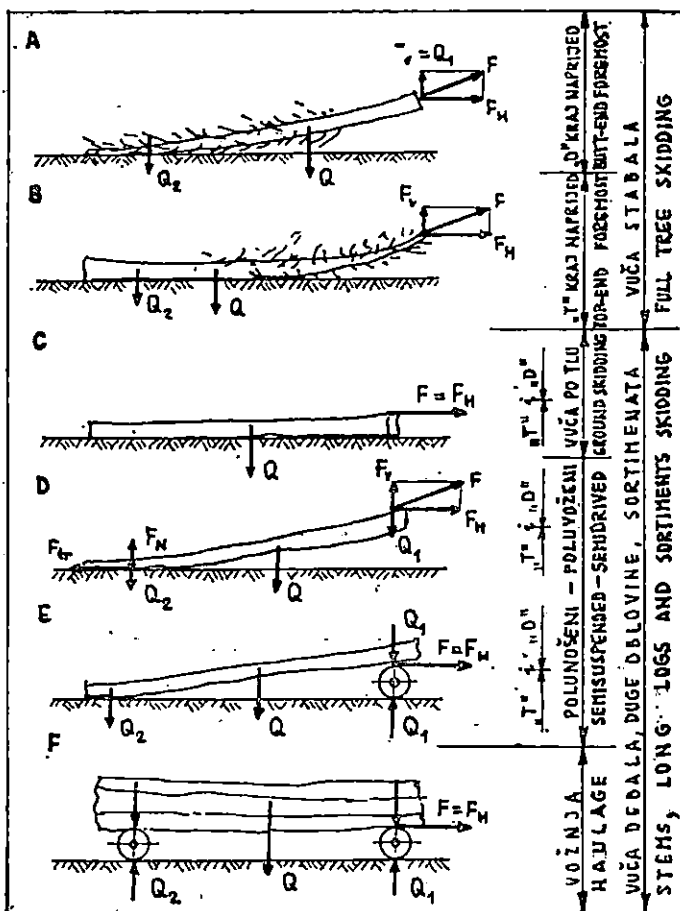
— Koeficijent otpora pri vuči drva s jednim podignutim krajem (slučaj A, B, D, E);

$$\mu_p = \frac{F_H}{Q_2} = \frac{F_H}{Q - F_V} = \frac{F_H}{Q - Q_1} \quad (2)$$

— Koeficijent privlačenja (Coefficient of skidding); prvi puta ga spominje Bennett (1962). Karakterizira privlačenje, uzimajući u obzir cjelokupno opterećenje uslijed djelovanja tereta vučenog drva. Ne smije se miješati s koeficijentima otpora, za koje je Lunzmann (1968) predlagao da se nazivaju koeficijenti otpora privlačenja;

$$k_v = \frac{F_H}{Q} \quad (3)$$

Za slučaj vuče drva po tlu, koeficijent privlačenja je jednak koeficijentu otpora pri vuči drva po tlu, budući da cijeli teret opterećuje tlo. U slučaju privlačenja drva s jednim podignutim krajem (tanjim ili debljim), ovaj koeficijent je različit od koeficijenta otpora, jer se dio tereta oslanja na traktor ili neku napravu, a tek dio sudjeluje u stvaranju normalnog opterećenja na tlo koje uzrokuje određene otpore klizanja. Treba naglasiti, da u nazivniku jednadžbe (3) svi autori pritom uzimaju čistu težinu stabla, debla ili sortimenta.



Sl. — Fig. 2. Neki načini vuče drva — Some ways of skidding

A — Vuča stabala s debljim krajem naprijed; B — Vuča stabala s tanjim krajem naprijed; C — Vuča debla po tlu; D — Vuča užetom pri radu traktora s vitlom; E — Poluvoženi teret, dio težine drva se prenosi na nezavisna kolica koja vuče traktor; F — Cijeli teret se oslanja na kotače i savladava se samo otpor kotrljanja.

A — Full tree skidding, butt end foremost; B — Full tree skidding, top end foremost; C — Ground skidding of stem; D — Choker line skidding by winching; E — Semidrive of load, part of wood weight is transferred on an independent carriage drawn by tractor; F — Full load is on wheels, only the force of rolling resistance to be overcome.

— Transportni koeficijent (Transport coefficient); u slučaju korištenja neke naprave prilikom vuče, transportni koeficijent uzima u obzir i njezinu težinu;

$$k_t = \frac{F_H}{Q_{tot}} \quad (4)$$

(Q_{tot} — ukupna težina vučenog drva i naprave koja se koristi prilikom privlačenja)

U slučaju da prilikom privlačenja ne koristimo naprave ili je masa takvih dijelova zanemariva (čelično užje, chokeri i dr.), koeficijent privlačenja i transportni koeficijent poprimaju iste iznose.

Našim istraživanjima smo obuhvatili slučajeve A, B i D, s dvije varijante prema orijentaciji podignutog kraja; s tanjim i debljim krajem naprijed (butt and top end foremost).

Kako navodi Garlicki (1967), veći dio istraživanja eksploatacije šuma sastoji se u analizi sila. Dok je većina istraživača mjerila samo jednu komponentu sila, najčešće vodoravnu s podlogom, navedeni istraživač je jedan od prvih primijenio dvokomponentni sustav mjernih pretvornika. Autor naglašava da je to jedini mogući način određivanja momentanog kuta nagiba vučnog užeta. Naravno da pritom treba sve veličine istovremeno registrirati.

Calvert i Garlicki (1968) koriste za definiranje sila pri privlačenju tri parametra; horizontalnu vučnu silu F_H , koeficijent privlačenja $k_v = F_H/Q$ i koeficijent otpora trenja μ_p .

Uvođenjem sustava chokera za obuhvaćanje drva pri privlačenju, započela su i istraživanja sila u vučnom užetu (Anon., 1967 A).

2.3. Vučno vozilo — Tractive vehicle

Naziv traktor u ovom radu je korišten za samohodno vozilo na kotačima, snabdjeveno s najmanje dvije osovine ili na gusjenicama, predviđeno za vuču, guranje ili nošenje strojeva ili oruđa (računajući tegljenje) ili za opskrbu potrebnom snagom tih strojeva ili oruđa (u pokretu ili stalno na mjestu).

Pri privlačenju drva osnovni zadatak traktora je da vuče drvenu masu, na neki način pričvršćenu za traktor ili na traktoru. Takvo vozilo u pravilu služi i za potiskivanje (guranje) tereta na pomoćnom stovarištu, kod tzv. radova uhrpavanja, ili za eventualno popravljivanje puta, odnosno uklanjanje prepreka sa njega. Pogon se prvenstveno koristi za zagon vitla, bilo direktno preko mehaničkih sklopova, ili indirektno u slučaju hidrostatskog zagona. U slučaju da traktor nosi utovarnu napravu ili pak klijesta za prihvaćanje tereta (Grapple skidder, Clam bunk skidder i dr.), dio snage pogonskog motora koristi se za pogon elemenata hidrostatskog prijenosa, koji se najčešće koristi u šumarstvu.

2.31. Osnovni parametri vuče (trakcije). Polumjer kotača — Basic parameters of traction. Wheel radius

Vuča određenog traktorskog kotača ovisi prvenstveno o izvedbi kotača te stanju i karakteristikama tla. Budući da pri privlačenju koristimo traktore formule 4×2 i 4×4 , posebno ćemo razmotriti kotače koji prenose silu (zakretni moment) dovedenu od motora na tlo (tzv. pogonski, zagonski, prigonski, aktivni kotači), za razliku od kotača čija je zadaća da nose teret traktora, te služe za njegovo eventualno upravljanje (pogonjeni, pasivni kotači).

S problemom veličine polumjera kotrljanja bavili su se mnogi autori. Eksperimentalno su određivali polumjer za slučaj, ako je klizanje jednako nuli. Tako se iz prijašnjeg puta i broja okretaja određuje stvarni polumjer kotrljanja. No treba naglasiti da svi pritom naglašavaju, da je učinjena pogreška neznatna, ako se umjesto tako određenog kinematičkog polumjera usvoji vrijednost statičkog polumjera, Steinkamf (1970), Brčić i Piria (1967) i dr.

2.32. Otpor kotrljanja kotača — Rolling resistance of the wheel

Problemom veličine otpora kotrljanja vozila koja se kreću izvan puteva, bavio se niz autora iz raznih područja znanosti. Zaključak svih je jedinstven u dijelu gdje tvrde da smanjenje veličine otpora kotrljanja znači mogućnost povećanja vučne sile. Utvrdilo se da sila za savladavanje otpora kotrljanja ovisi od opterećenja, parametara tla, dimenzija kotača te konstrukcijskih karakteristika pneumatika (Križnar, 1973; Bekker, 1956, 1960, 1973; Söhne, 1970; Simić, 1973, 1977 i dr.).

Svi autori naglašavaju da se ne smije vršiti generalizacija tokova zavisnosti i apsolutnih vrijednosti koeficijenata otpora kretanju. Karakteristike tla bitno utječu na veličinu ukupnog otpora kretanju. Sve vrijednosti moraju uvijek biti vezane uz oznaku vrste i karakteristike pneumatika, odnosno pritiska zraka u njemu, te vanjskog opterećenja.

Iz veličine otpora kotrljanja (f) razlikujemo dvije tvorevine stupnja korisnosti otpora kotrljanja (η_l), Piria (1973); Stupanj korisnosti otpora kotrljanja izražen iz sila koje djeluju na kotač traktora;

$$\eta_l = \frac{F_H}{F_H + F_f} = \frac{F_H}{F_o} = 1 + \frac{F_H}{F_f} = \frac{F_o - F_f}{F_o} = 1 - \frac{F_f}{F_o} \quad (5)$$

Otpor kotrljanja se može izraziti i na slijedeći način;

$$f = \frac{F_f}{G_{adh}} \quad (6)$$

Teoretski je ovisnost koeficijenta otpora kotrljanja i stupnja korisnosti otpora kotrljanja određena izrazom;

$$\eta_l = 1 - f \text{ ili } f = 1 - \eta_l \quad (7)$$

2.33. Klizanje kotača — Slip of the wheel

Prijenos snage s kotača traktora na tlo uzrokuje pojavu klizanja istih. Iako je ova pojava prisutna kod svih trakcijskih uređaja, izrazita je kod gumenog kotača. Pri primjeni traktora s kotačima u fazi privlačenja drva, klizanje je najčešće ograničavajući faktor u razvijanju potrebne vučne sile i snage u užetu.

Kod promatranja nominalne vučne sile traktora, Parfenov (1968) posebno naglašava ovisnost klizanja o vučnoj sili. To je stalna karakteristika adhezijskih svojstava traktora određenog tipa i klase za određeno tlo.

Kod privlačenja drva dolazi posebno do izražaja sva složenost pojava klizanja zagonjskih kotača. Ponajčešće se navedeni radovi privlačenja obavljaju u periodu povećane vlažnosti tla, vozila se kreću izvan puteva, na tlak zraka u gumama ne možemo bitno utjecati. Povećano klizanje, odnosno korištenje guma, koje kod istog klizanja ostvaruju manju graničnu vučnu silu, znači veći utrošak goriva, kraći vijek trajanja guma, pad učinka, te konačno, onemogućuje dalji rad na izvlačenju.

2.34. Stupanj korisnosti kotača i traktora — Wheel and tractor efficiency

Stupanj korisnosti kotača (trakcijska korisnost) iznosi:

$$\eta_k = \eta_f \cdot \eta_s; \quad (8)$$

odnosno izraženo pomoću snage:

$$\eta_f = \frac{P_H}{P_o} \quad (9)$$

Navedeni vučni stupanj korisnosti zagonjskog kotača može biti izražen i preko okretnog momenta, sl. 3.

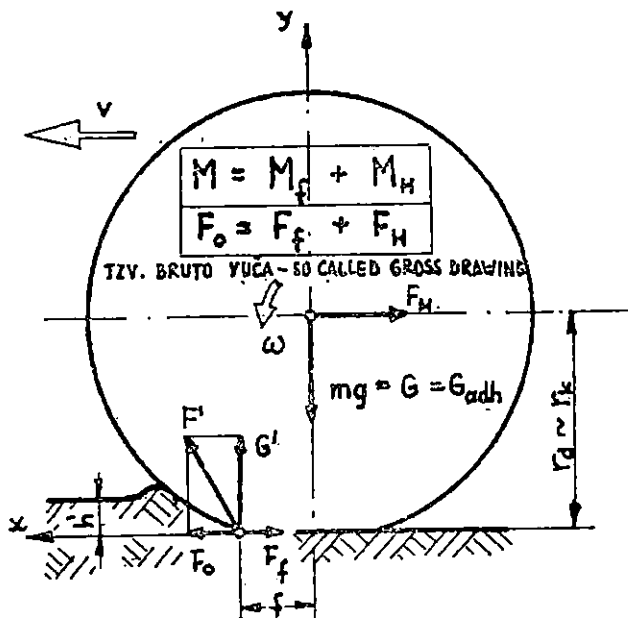
Ovako izražena korisnost kotača iznosi (veličina koja pokazuje koji se dio dovedene energije na kotač pretvori u koristan rad, vuču traktora):

$$\eta_k = \frac{F_H \cdot r_d \cdot \omega}{(M_f + M_H)\omega} (1 - \delta) = \frac{F_H}{\frac{M_f + M_H}{r_d}} (1 - \delta) = \frac{F_H}{F_f + F_H} (1 - \delta) = \eta_f \cdot \eta_s$$

$$\frac{M_f}{r_d} = F_f \text{ i } \frac{M_H}{r_d} = F_H; \quad \frac{F_H}{F_f + F_H} = \eta_f$$

Vidimo da smo do stupnja vučne korisnosti kotača došli promatrajući zagonjski kotač te tok sila i momenata na njemu.

Do sada izražena korisnost odnosila se na sustav kotač — tlo. Želimo li obuhvatiti ukupnu vučnu korisnost traktora, moramo uz navedene



Sl. — Fig. 3. Djelovanje sila i momenata zagonskog kotača prilikom kotrljanja i vuče — Forces and moments effect of driving wheel at rolling and drawing

gubitke prijenosa sila dodati i gubitke unutar samog traktora. Njih karakteriziramo gubicima u mehaničkim prijenosima od motora do kotača, te gubicima energije za pogon hidrauličkih i pneumatskih agregata, koji se redovno pojavljuju kao sastavni dijelovi šumskih traktora za privlačenje;

$$\eta_{trans} = \eta_m \cdot \eta_{hp} \quad (10)$$

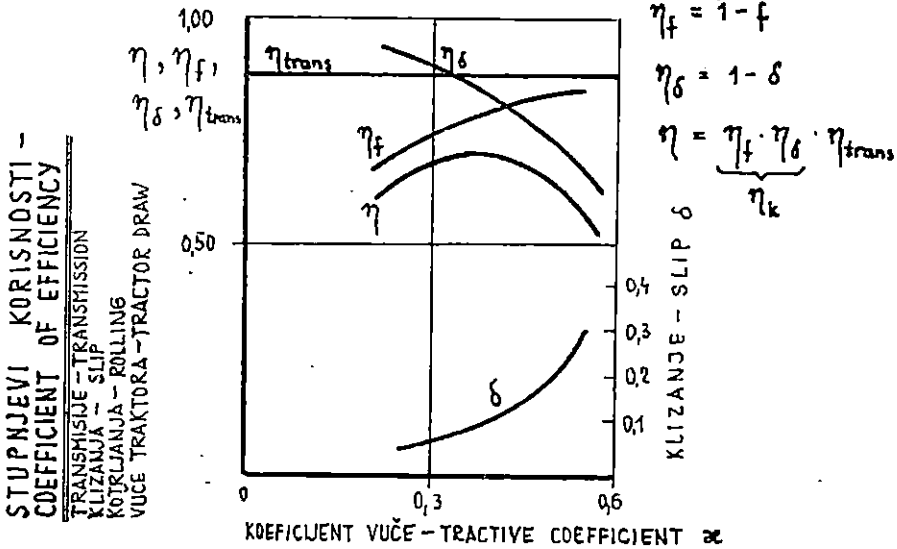
Sada izražena ukupna korisnost traktora iznosi:

$$\eta = \eta_{trans} \cdot \eta_l \cdot \eta_s = \eta_m \cdot \eta_{hp} \cdot \eta_l \cdot \eta_s \quad (11)$$

odnosno izraženo pomoću snage:

$$\eta = \frac{P_H}{P_e} \quad (12)$$

Popov i Anđelković (1980 A i B), Križnar (1973) i dr. definiraju vučnu korisnost traktora na isti način, te navode da ovisi u velikoj mjeri od konstrukcijskog rješenja transmisije i voznog sustava traktora, stanja tla i uvjeta rada, te od utjecaja vučenog tereta. Nazivaju ga vučni koeficijent korisnog djelovanja traktora. Na slici 4 je dan karakterističan tok funkcija stupnjeva korisnosti.



Sl. — Fig. 4. Karakteristični odnos između stupnjeva korisnosti i klizanja te koeficijenta vuče — Characteristics relationship between efficiency and slip as well as tractive coefficient

Jedan od osnovnih zadataka i ciljeva naših istraživanja je upravo utvrđivanje zavisnosti navedenih stupnjeva korisnosti za karakteristične slučajeve privlačenja drvene mase.

2.35. Koeficijent vuče — Tractive coefficient

U cilju jednostavnog definiranja odnosa vučne sile i adhezijskog opterećenja na zagonske kotače traktora, uveden je odnos tih dviju sila, koja je u stvari specifična sila vuče, te iznosi:

$$\alpha = \frac{F_H}{G_{adh}} \quad (13)$$

Ovakav parametar dobro definira proizvodnost traktorskog agregata. Posebno je primjenljiv pri privlačenju drva, koje ima ciklički karakter, Kavjarov et al. (1966).

Uvrstimo li u izraz za vučnu korisnost traktora (2.34.) ovisnost $\alpha = F_H/G$ i $f = F_f/G$ dobit ćemo vučnu korisnost kotača traktora izraženu pomoću koeficijenta vuče:

$$\eta_k = \frac{F_H}{F_f + F_H} (1 - \delta) = \frac{\frac{F_H}{G}}{\frac{F_f}{G} + \frac{F_H}{G}} (1 - \delta) = \frac{\alpha}{f + \alpha} (1 - \delta) \quad (14)$$

Mnogi su autori u svojim istraživanjima pokazali, da se maksimalne vrijednosti stupnja vučne korisnosti traktora postižu kod malih postotaka klizanja. Ova činjenica je veoma interesantna za traktore koji rade u fazi privlačenja drva sa stanovišta utroška energije za radnju klizanja. Interesantna je i činjenica, da je pri takvom manjem klizanju i sabijanje tla manje.

Treba naglasiti da ovako definirani *koeficijent vuče izražava samo horizontalnu vučnu silu u odnosu na adhezijsko opterećenje, a ne ukupnu obodnu silu kotača, koja u sebi sadrži i silu za savladavanje otpora kotrljanja* (katkada se ovakvo razmatranje zove *neto vuča*).

2.36. Adhezijsko opterećenje traktora pri privlačenju drva — *Tractor's adhesion load at wood skidding*

Opterećenje pojedinih mostova traktora pri privlačenju drva možemo promatrati statički i dinamički. Kako je već naglašeno, većina istraživača sila pri privlačenju drva, određivala je dodatno opterećenje uslijed tereta njegovim jednokratnim vaganjem, te tako određenu veličinu uzimalo kasnije kao konstantnu u proračun, Arvesen (1970), Samset (1979), Herrick (1955), Stajniak (1965) i dr.

U toku ovih razmatranja smatrat ćemo adhezijskim opterećenjem traktora, vertikalno opterećenje zagonjskih kotača tijekom eksploatacije. U cilju određivanja dinamičkog koeficijenta raspodjele adhezijskog opterećenja traktora, konstruiran je posebni pribor za mjerenje vertikalnih i horizontalnih sila tijekom privlačenja, kao što su to radili Calvert i Garlicki (1968).

U slučaju privlačenja drva traktorom sa 4 pogonjena kotača (4×4) istražujemo dinamički slučaj opterećenja traktora na horizontalnoj podlozi. Posebno je u privlačenju značajno dinamičko djelovanje zbog udara, njihanja, okretanja, zapinjanja, svladavanja mikroneravnina tla i dr. Osnovne sile prikazane su na sl. 5. Ovako složen sustav u slučaju kretanja na nagibu postaje još složeniji, što se odrazuje i na proračun značajki privlačenja.

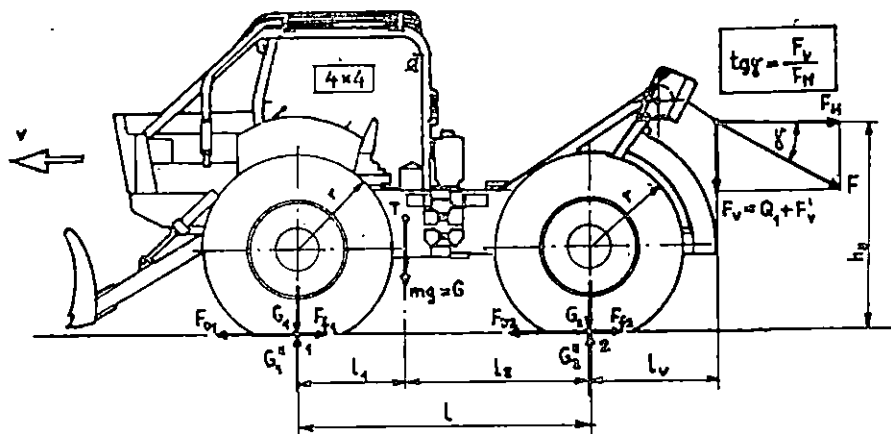
Horizontalne sile:

$$F_o = F_{o1} + F_{o2} = F_H + F_{f1} + F_{f2} = F_H + F_f \quad (15)$$

gdje je: $F_o = F_{o1} + F_{o2}$; $F_f = F_{f1} + F_{f2}$

Sila na obodu kotača jednaka je zbroju horizontalne vučne sile i sile potrebne za savladavanje otpora kotrljanja na prednjim i stražnjim kotačima.

$$\text{Iz: } F_o = F_H + F_f \quad \text{slijedi: } F_H = F_o - F_f$$



Sl. — Fig. 5. Raspored opterećenja na traktoru pri privlačenju (dinamički slučaj opterećenja) — Load patterns on tractor at skidding (dynamic case of loading)

Vertikalne sile:

Kod razmatranja djelovanja vertikalnih sila, trebalo bi odvojeno promatrati veličinu opterećenja Q_1 uslijed vučenog tereta i vertikalnu silu F_v , dinamičku silu uslijed promjenljivih otpora vuče. Budući da obje sile djeluju na istom kraju l_v , zamjenjujemo ih jednom silom $F_v = Q_1 + F'_v$, tzv. vertikalnom komponentom vučnog otpora. Tijekom osnovnih istraživanja upravo mjerena sila F_v sadrži u sebi i statički i dinamički utjecaj vertikalne komponente opterećenja vučenog tereta.

$$G''_2 + G''_1 = G + F_v$$

Reakcija (dinamičko opterećenje) prednjeg (G''_1) i stražnjeg mosta (G''_2) uzrokovana je uslijed opterećenja mase traktora (G) i vertikalne komponente vučnog otpora ovješene drvene mase (F_v).

Adhezijsko opterećenje zglobnog traktora s pogonom na sve kotače (4×4) čini zbroj reakcija prednjeg i stražnjeg mosta:

$$G_{adh} = G''_1 + G''_2 = G + F_v \quad (16)$$

Dakle, za ovaj slučaj zagona, adhezijsko opterećenje vozila može se odrediti direktno iz poznatog opterećenja mase traktora i stvarnog opterećenja vertikalnom silom vučnog otpora.

Alternativnim postavljanjem momentnih jednadžbi s obzirom na točke 1 i 2, te izdvajanjem reakcija tla, dobijemo:

$$G_2'' = \underbrace{\frac{G \cdot l_1}{l}}_A + \underbrace{\frac{F_H \cdot h_H}{l}}_B + \underbrace{\frac{F_V \cdot l_V}{l}}_C + \underbrace{F_V}_D \quad (17)$$

- A = Statičko opterećenje G_2 — Static load G_2
 B = Preneseno opterećenje s 1 na 2 uslijed F_H — Transferred load from 1 to 2 because of F_H
 C = Preneseno opterećenje s 1 na 2 uslijed F_V — Transferred load from 1 to 2 because of F_V
 D = Vertikalna komponenta vučnog otpora — Vertical component of tractive resistance

$$G_1'' = \underbrace{\frac{G \cdot l_2}{l}}_A - \underbrace{\frac{F_H \cdot h_H}{l}}_B - \underbrace{\frac{F_V \cdot l_V}{l}}_C \quad (18)$$

- A = Statičko opterećenje G_1 — Static load G_1
 B = Rasterećenje 1 uslijed F_H — Load relief 1 because of F_H
 C = Rasterećenje 1 uslijed F_V — Load relief 1 because of F_V

Analiza gornjih jednažbi pokazuje da racionalnim prihvaćanjem i formiranjem tereta kod traktora za privlačenje drva, a napose zglobnih traktora, kod kojih je hvatište vučnog užeta relativno visoko, možemo bitno utjecati na opterećenje mostova preko ukupne vertikalne komponente vučnog otpora.

2.37. Ravnoteža snage pri privlačenju — Power balance at skidding

Izjednačimo li efektivnu snagu pogonskog motora traktora sa gubicima, dobit ćemo jednadžbu ravnoteže snage:

$$P_e = P_m + P_{hp} + P_f + P_\delta + P_u + P_H \quad (19)$$

Niz autora, npr. L ü n z m a n n (1968), navodi da se za normalne postupke transporta drva može zanemariti savladavanje otpora zraka i potreba snage za ubrzavanje. Za bilancu snage su bitni utjecaji otpora klizanja i kotrljanja, te snaga za kretanje na nagibu.

Uvažimo li navedene rezultate, za rad na horizontali bilanca snage glasi:

$$P_e = P_m + P_{hp} + P_f + P_\delta + P_H \quad (20)$$

Kako je dano u jednažbi (15), odbijemo li od sile stvorene na obodu kotača ostvarenu vučnu silu, dobijemo silu potrebnu za savladavanje otpora kotrljanja (konceptija tzv. bruto vuče):

$$F_f = F_o - F_H = F_o (1 - \eta_f) \quad (21)$$

Kod radova na privlačenju drva bitan gubitak snage je onaj na klizanju zagonjskih kotača.

Osim što klizanje ograničava vučnu silu, smanjuje i brzinu kretanja traktora. Samo kod rada bez klizanja, brzina je jednaka teorijskoj. Kod klizanja od 100 %, ona postaje jednaka nuli. Kako je navedeno u 2.3. korisnost s obzirom na klizanje iznosi:

$$\eta_{\delta} = 1 - \delta$$

Konačno možemo iskazati vučnu korisnu snagu na užetu kojom privlačimo drvenu masu, pomoću navedenih stupnjeva korisnosti:

$$P_H = P_e \cdot \eta_m \cdot \eta_{hp} \cdot \eta_l \cdot \eta_{\delta} \quad (22)$$

Cilj istraživanja radnje je utvrđivanje stupnjeva korisnosti otpora kotrljanja i klizanja, kao što navodi i A n o n., 1967 A.

$$\eta_k = \eta_l \cdot \eta_{\delta}$$

odnosno: $\eta = \eta_k \cdot \eta_m \cdot \eta_{hp} = \frac{P_H}{P_e}$

$$P_H = P_e \cdot \eta \quad (23)$$

2.4. Karakteristike tla — Soil characteristic

Znatna pažnja istraživača u svijetu i kod nas posvećena je proučavanju tla u pogledu preuzimanja sila sa kotača, promjeni svojstva tla pri djelovanju tih sila, te kako te promjene utječu na kasniji rad i razvoj pomladka.

Tlo kao »neidealna smjesa« kreće se u rasponu od čisto frikcijskog tla (suhi pijesak), pa do kohezijskog tla (glina), sa nizom prijelaznih oblika u vidu mješavina raznih postotaka i granulacija. Svi se oni različito ponašaju u realiziranju vučnih sila. Razlike su to veće, što su tipovi tla bliže gore spomenutim graničnim oblicima. Ovo je bitno da se naglasi zbog činjenice, da se vuča po tlu tijekom privlačenja ostvaruje i na osnovu trenja (frikcije) i na osnovu kohezije između kotača i tla.

Kao činitelji koji će karakterizirati stanje i svojstva podloge tijekom eksperimentalnog dijela istraživanja, izabrali smo slijedeće parametre: mehanički (granulometrijski) sastav čestica tla, vlažnost tla i stupanj razrahljenosti (sabijenosti) tla. Budući da su osnovna istraživanja i dio pripremnih obavljeni na pomoćnom stovarištu, nije bilo problema sa skeletom.

3. METODA RADA I OBJEKT ISTRAŽIVANJA — WORKING METHOD AND OBJECT OF STUDY

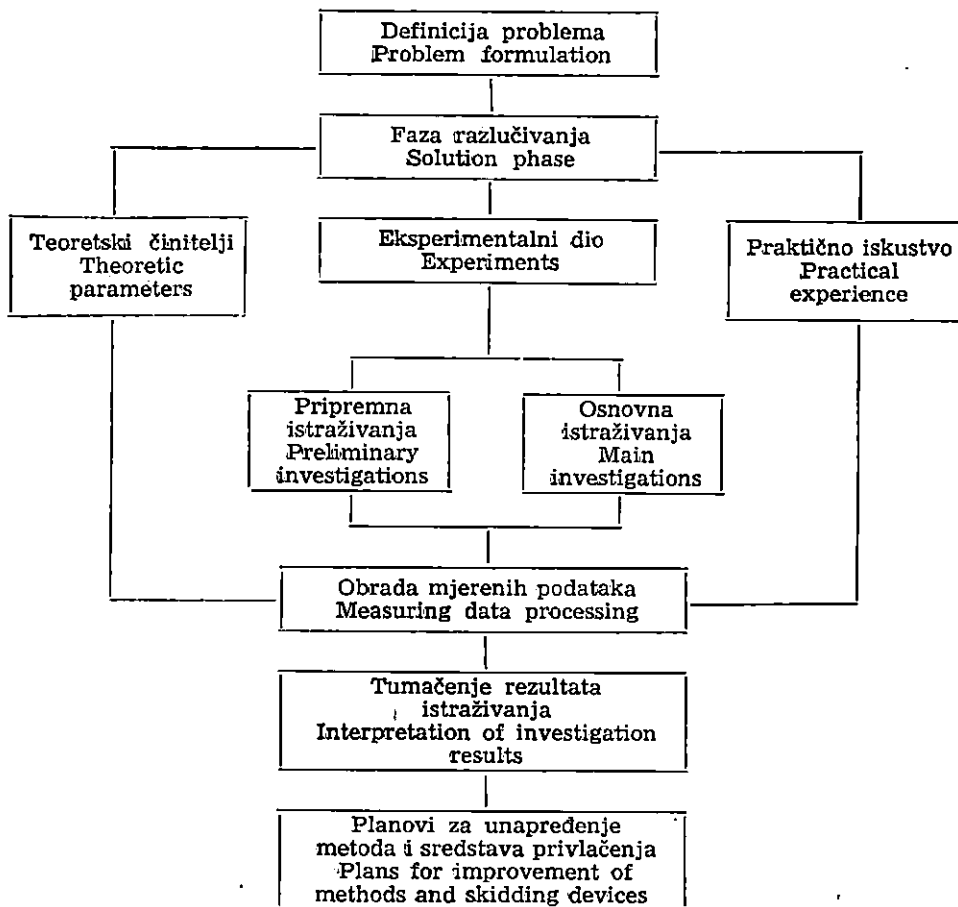
Sva naša istraživanja obavljena su na traktorima strogo specijaliziranim za radove na privlačenju drva, tzv. zglobnim traktorima. Po tipu ispitivanja ona spadaju u grupu laboratorijsko-eksploatacijskih, prema podjeli koju je izvršio K a r a d ž i ć et al. (1977/78).

Zajčik (1976) dijeli ispitivanja šumarske mehanizacije na tipsko, kontrolno i naučno-istraživačko. Ovo posljednje se dijeli na laboratorijska, šumska i eksploatacijska, s time da je razlika između posljednjih u tome, što se kod eksploatacijskih poštuje tehnološki proces proizvodnje, a ne samo uvjeti (npr. vuča po vlaci izvan tehnološkog procesa). Po toj podjeli, naša istraživanja spadaju u naučno-istraživačko-šumska.

Da bi zadovoljili svim navedenim ciljevima istraživanja, eksperimentalni dio rada smo podijelili u dvije faze, u pripremna i osnovna istraživanja. Tijek rada je prikazan u tablici 1.

Pripremna kao i osnovna istraživanja provedena su na karakterističnim podlogama za privlačenje drva, koja se odlikuju relativno velikom heterogenošću. Sa stanovišta privlačenja drva, trebalo bi istraživanje pro-

Tablica 1 — Table 1. Tijek rada na istraživanju eksploatacijskih parametara traktora pri privlačenju drva — Course of investigation on tractor's exploitation parameters at wood skidding



voditi na tipično šumskim tlima. Neki autori predlažu da se izbor tipa tla na kojem se vrše slični pokusi obavlja na osnovu krivulje dobivene iz granulometrijskog sastava tla, Križnar (1973, 1975, 1976). Pritom treba posebnu pažnju posvetiti proučavanju skeleta, koji na šumskim tlima u prvim prolazima, do njegovog razbijanja, bitno povećava nosivost tla.

Tijekom provođenja eksperimentalnog dijela osnovnog istraživanja, posebni zahtjevi su postavljeni na izabranu stazu s obzirom da smo morali traktor s ovješanim teretom, pripremljenim za mjerenje, povezati vodičima s pokretnim laboratorijem. Zbog navedenog je trebalo imati dovoljno mjesta i za kretanje terenskog laboratorija.

Na tlu staze po kojoj je obavljena vuča, određivani su penetracijskim pokusom mehanički otpor tla i njegova vlaga, te uzeti uzorci za određivanje granulometrijskog sastava čestica.

Pripremna istraživanja smo proveli na području Šumarije Draganić Šumskog gospodarstva Karlovac, Radilište Visoka i Odjel 11.

Eksperimentalni dio osnovnih istraživanja obavljen je na području ŠG Vrbovsko, pomoćno šumsko stovarište Stara Sušica, 790 m n. v.

Terenski radovi u okviru pripremnih istraživanja izvršeni su 1973 i 1975 godine, a oni osnovnih istraživanja 1976 godine.

3.1. Plan pokusa — Design of experiments

Na osnovu iznijetog cilja istraživanja, izradili smo plan eksperimentalnog dijela istraživanja, posebno za pripremni, a posebno za osnovni pokus. U tu svrhu izradili smo plan višefaktorijskog pokusa sa slučajnim rasporedom po blok metodi. Izrađen je i plan prepariranja pojedinih sklopova traktora, izrađeni nosači mjernih pretvornika, te načinjen plan snimanja na eksperimentalnoj stazi.

Sa sljedećim simbolima smo označili elemente plana pokusa:

- P — ponavljanje: 2 smjera vuče;
- O — orijentacija tereta: s tanjim i debljim krajem naprijed;
- B — brzina: II i III;
- K — broj komada u snopu: od 1 do 6;
- T — tlo: ilovača;
- V — visina ovjesa: konstantna;
- M — morfološke karakteristike tereta (stablo, deblovina, duga oblovina, sortiment).

Da bi realizirali cjelokupni plan pokusa, izvršili smo 48 pokusa privlačenja tijekom pripremnih istraživanja i 56 pokusa u okviru osnovnih istraživanja. U svrhu vođenja zacrtanog osnovnog pokusa, posječeno je 12 smrekovih i jelovih stabala. Kod takvih debala u pravilu na donjem dijelu nalaze se trupci, zatim rudničko drvo, a iza toga prostorno drvo, Bojanin (1968). Zato su osim stabala i debala tijekom pokusa vučeni trupci i rudničko drvo. Svi sortimenti su potjecali isključivo od debela, budući da su dimenzije grana bile manje od minimalno propisanih za naprijed navedene sortimente.

3.2. Opis ispitivanog traktora — Description of the tractor investigated

Kolobov i Parfenov (1972) navode da sva ispitivanja traktora treba provoditi kod maksimalnog ubrizgavanja goriva. Jednako iznose i mnogi drugi autori koji su istraživali vučnu snagu traktora, Piria (1975, 1978, 1980), Horvat (1976, 1979) i dr.

Križnar (1978) navodi, da zadržavajući sve ostale faktore nepromijenjene, sila vuče koja se može ostvariti pri nekom klizanju, zavisiće od toga kakav je korišten pneumatik. Za definiranje konstrukcija guma, kako smatra autor, uz parametre oblika rebara i gazeće površine, moraju se nadopuniti i podacima o konstrukciji karkasa.

Mi smo masu ispitivanog traktora u osnovnim istraživanjima utvrdili prema preporukama ISO (International Standard Organisation) i OECD, sa vozačem mase 75 kg, te pomoću mosne vage.

Utvrđena je slijedeća masa na mostovima traktora:

- prednji most 3 750 kg
- stražnji most 1 870 kg
- ukupna eksploatacijska masa traktora 5 620 kg.

Ostali tehnički podaci ispitivanog traktora Kockum 821 skidder;

Pogonski motor:

Tip 2711 E Ford Industrial Power Production

Date ser. No. S/804320

Build No. C 14/311/461/B34

Stapajni volumen 4,16 dm³ (4 cilindra, 4-taktni, diesel)

Stapaj 115 mm; $\varepsilon = 16 : 1$; $\phi d = 107$ mm

Prema DIN 70020 76 KS, 2800 min⁻¹

Maks. moment 25,9 kpm, 1600 min⁻¹

Trajna snaga »B« maks. 65 KS, 2500 min⁻¹
23,7 kpm, 1600 min⁻¹

Trajna snaga »A« maks. 59 KS, 2500 min⁻¹
21,5 kpm, 1600 min⁻¹

Mjenjač: ZE S5 35

I brzina 8,02 : 1

II brzina 4,68 : 1

III brzina 2,74 : 1

IV brzina 1,61 : 1

V brzina 1 : 1

Hod unazad 7,20 : 1

Sve brzine za kretanje naprijed su sinhronizirane. Razvodnik snage 1,214 : 1

Ukupan prijenos u prednjoj i stražnjoj osovinu 20,46 : 1.

Tehnički podaci korištenih guma:

Rekord — Beograd

16,9 x 30/14 PR; sve četiri gume su jednakih dimenzija;

Tlak zraka u gumama:

prednje 1,2 bar; stražnje 1,4 bar

| | |
|------------------------------------|--------------------------------|
| Broj rebara: | prednje i stražnje 2 x 21 kom. |
| Visina rebara u centralnom dijelu: | 33 mm |
| Visina rebara na boku: | 50 mm |
| Duljina rebara: | 305 mm |
| Kut rebara u odnosu na uzdužnu os: | 45° |
| Širina rebara: | 55 do 40 mm |

3.3. Mjerni instrumenti i pribor — Measuring instruments and accessories

Kako je navedeno u poglavlju Cilj i problematika istraživanja, pripremna istraživanja su obavljena sa zadatkom, da dadu odgovor o veličinama sila na presjeku traktor — vučeni teret. Na temelju tako poznatih veličina, trebalo je za osnovna istraživanja izraditi mjerni pribor u cilju utvrđivanja bitnih parametara za proračun stupnja korisnosti kotača i vuče traktora, te preraspodjelu i veličinu adhezijskog opterećenja na mostovima traktora.

Naša mjerenja smo željeli izvršiti takvim mjernim priborom koji zadovoljava metrološke i dinamičke karakteristike pojava koje se zbivaju pri vuči drva.

Budući da gotovo sve veličine čije smo mjerenje predvidjeli tijekom vuče imaju slučajni i promjenljivi karakter, za osnovna istraživanja smo planirali istodobno mjerenje, točno određeno u ovisnosti od vremena.

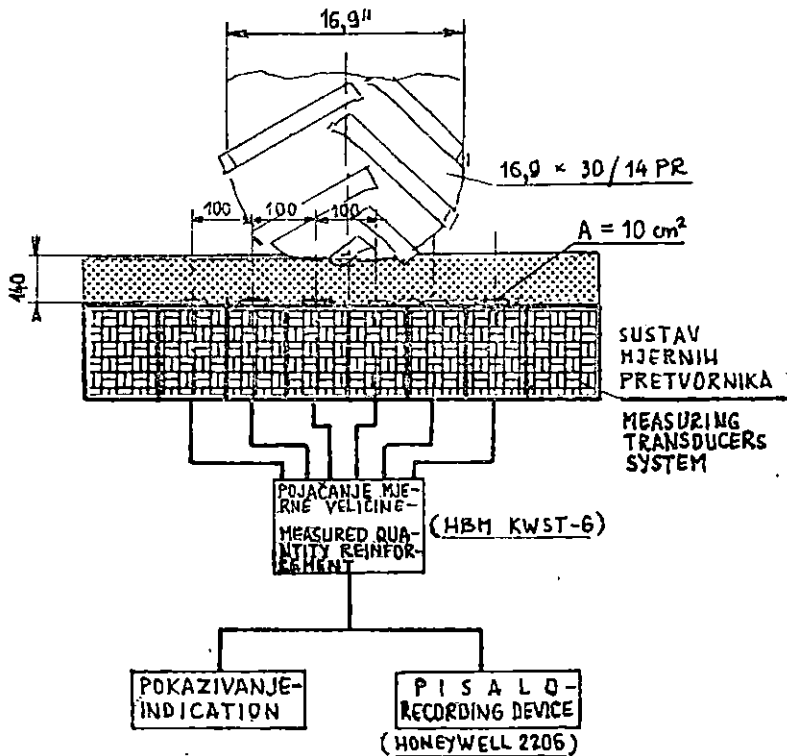
Kako je ranije navedeno, za definiranje svojstava tla na kojem je obavljen pokus privlačenja, odabrane su tri veličine: mehanički otpor tla, vlaga tla i mehanički sastav čestica tla određen granulometrijskim pokusom. Za vlagu tla i granulometrijski sastav uzimani su uzorci tla na terenu tijekom pokusa u skladu s propisima i standardima. Penetracijski pokus je obavljen pomoću penetrometra s utegom i mehaničkog penetrografa, koji za mjerenje sile utiskivanja koristi baždarenu oprugu.

Na slici 6 shematski je prikazan način spajanja uređaja za mjerenje pritiska u tlu.

Za ostala mjerenja, kao što je vrijeme za prevaljivanje staze određene duljine, stanje okolnog zraka, temperatura medija motora, potrošnja goriva i dr., koristili smo kronometar, barometar, vlagomjer, termometre raznih vrsta, tikvice i sl.

U cilju mjerenja horizontalne komponente vučnog otpora i broja okretaja zagonskih kotača tijekom pripremnih istraživanja, konstruirali smo posebne nosače mjernih pretvornika.

Kod pripreme osnovnih mjerenja izvršenih 1976. godine, na temelju rezultata pripremnih mjerenja i preliminarno dobivenih rezultata, morali smo se odlučiti za vrstu i tip mjernih pretvornika. U vrijeme iza priprem-



Sl. — Fig. 6. Shematski prikaz tijeka mjernih informacija specifičnog tlaka u tlu — Schematic review of the course of measurement information for specific pressure in soil

nih mjerenja, i u nas se kod ispitivanja vučnih karakteristika traktora počeo koristiti mjerni pribor, koji razne mehaničke veličine mjeri električnim putem.

Električne metode mjerenja imaju naročite prednosti pred drugim; brzina rada je velika, stalno su spremni za rad, signali se relativno jednostavno pojačavaju i registriraju, postiže se velika točnost mjerenja, a signal se može prenijeti na veće udaljenosti (K a r a d ž i ć, 1977, 1978, 1979).

Sušтина električnog mjerenja neelektričnih veličina je u pogodnom pretvaranju neke neelektrične veličine u električnu, korišćenjem određenih fizikalnih zakona, koji povezuju električnu sa ispitivanom neelektričnom veličinom.

Svi instrumenti su se nalazili u pokretnom laboratoriju — terenskom vozilu. Povezivanje mjernih pretvornika i ostalih elemenata sustava izvršeno je žičanom vezom. U cijeloj pripremi mjernog sustava prihvaćen je princip mjerenja jedne fizičke veličine različitim mjernim pretvornicima (v. sl. 7).

Da se istovremeno registriraju horizontalne i vertikalne sile tijekom privlačenja u eksploatacijskim uvjetima, a time, kako navodi *Garlicki* (1967), ostvari jedini mogući način i za određivanje kutu nagiba vučnog užeta, trebalo je konstruirati nosač mjernih pretvornika (sl. 8).

4.3. Obrada podataka — Data processing

Slika 9 prikazuje zapis svih veličina istodobno registriranih pri osnovnom pokusu. Metodom ordinata i planimetriranja utvrđivali smo srednje, maksimalne i minimalne vrijednosti pojedinih mjerenih veličina.

Pri obradi rezultata naših mjerenja, koristili smo se metodama matematičke statistike; analizom varijance, regresijskom analizom (računate su pravolinijske i krivolinijske korelacijske veze) te testovima (*Brezinšćak*, 1970; *Dziubak i Starczewski*, 1965 i dr.).

Matematičko-statističku obradu snimljenih podataka izvršili smo pomoću stolnih računara. Iza određivanja zavisnosti, koje smo željeli obračunati, izabrali smo tip korelacijske veze za regresijsku analizu, testirali podatke, te izračunali tražene parametre. Zatim smo odredili korelacijske koeficijente, odnosno indekse; analizom varijance uz primjenu F-testa provjerili smo signifikantnosti regresijskih jednadžbi te izračunali izjednačene vrijednosti i prikazali ih grafički. Regresijskom analizom smo izvršili oko 900 izjednačenja snimljenih podataka, od kojih smo za prikaz u ovoj radnji odabrali samo manji dio.

Analizom varijance i testovima izvršeno je utvrđivanje preko dvije tisuće signifikantnosti aritmetičkih sredina.

Katkada smo koristili i tzv. trend linije, koje predstavljaju osnovnu tendenciju kretanja pojave (*Serdar*, 1975). Češće smo koristili pravolinijski od krivolinijskog trenda.

4.0. REZULTATI ISTRAŽIVANJA — INVESTIGATION RESULTS

4.1. Morfološka analiza traktora za privlačenje drva — Morphological analysis of wood skidding tractors

U poglavlju 2.0. je naglašeno da morfološka analiza može definirati karakteristike i zakonitosti postojećeg stanja, ali dati i trend razvoja. Takvu specifičnu dimenzijsku analizu smo primijenili i na traktore koji se koriste za privlačenje drva. Podijelili smo ih u dvije grupe; traktore nastale adaptacijom velikoserijskih traktora i zglobne traktore, strogo specijalizirane za radove na privlačenju drva. Gdje god se pokazalo opravdanim, primijenjene su pri analizi metode matematičke statistike, kako bi se utvrdila čvrstoća trenda ili pouzdanost neke pojave.

Posebno smo promatrali geometriju zglobnog upravljanja, bitnog za traktore pri privlačenju drva. Jedan od važnih uvjeta za uspješnu primjenu traktora koji se kreću po sastojini ili sječini je što manji polumjer okretanja.

Analizirana su 43 adaptirana šumska i 43 zglobna traktora.

4.11. Indeks oblika traktora — *Form index of tractor*

Držimo li da je promatrani traktor prizma, za njezin grafički opis treba dva parametra; omjer visine i dužine H/L , te omjer širine i dužine B/L . Zavisnosti navedenih morfoloških indeksa prikazani su na slici 10.

Linija $H = B$ odjeljuje dvije grupe vozila; iznad nje širina dominira nad visinom, ispod linije visina nad širinom. Vidljivo je da se za obje grupe traktora koje se koriste pri privlačenju drva vrijednosti nalaze ispod simetralne linije koordinatnog sustava, ali su im težišta relativno blizu pravca $H = B$. Tako ipak možemo govoriti o umjerenom prevlađivanju visine nad širinom.

4.12. Ovisnost duljine i širine traktora o njegovoj masi — *Correlation between tractor's length and width and its mass*

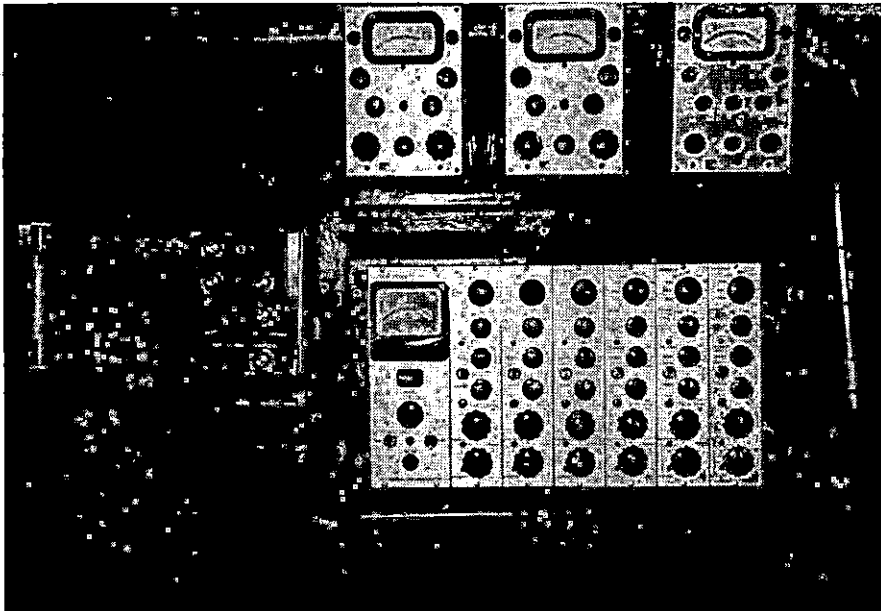
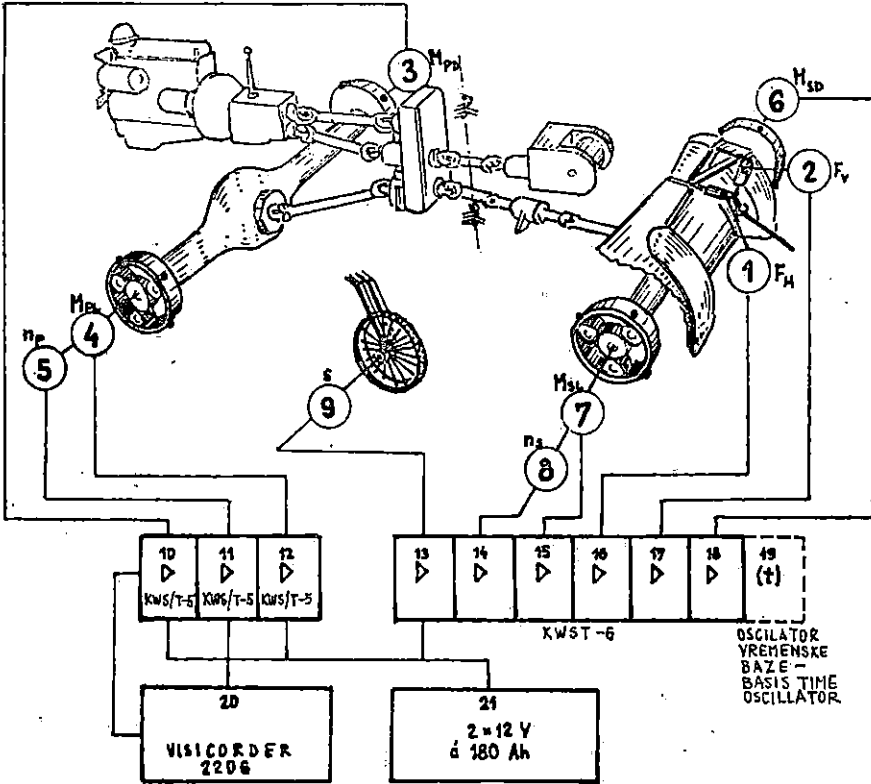
Rezultate prethodnih istraživanja nadopunjuje i analiza zavisnosti širine i duljine traktora od njegove mase. Na slici 11 prikazane su krivulje regresijske jednadžbe za »gabaritnu« širinu i duljinu adaptiranih šumskih traktora u ovisnosti o njihovoj masi. Parametri krivulja i indeksi korelacije dani su na dijagramu.

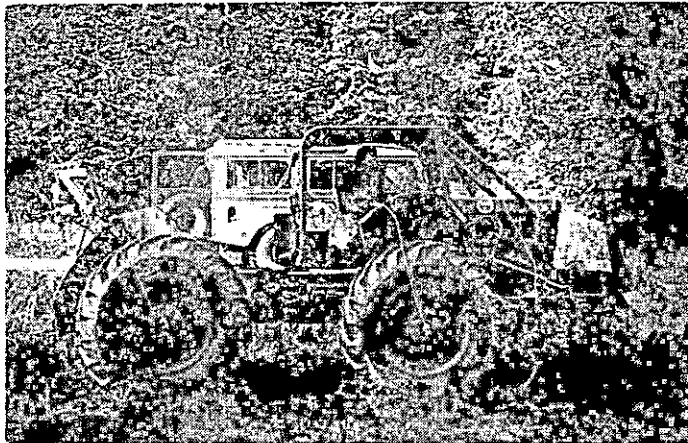
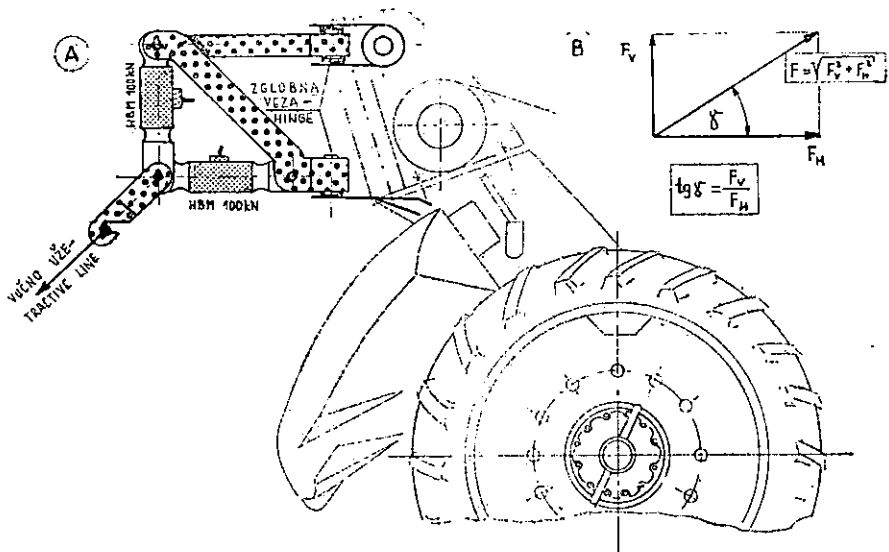
Na slikama 12 i 13 prikazane su krivulje regresijskih jednadžbi za širinu i duljinu zglobnih traktora. Između navedenih veličina B i L te mase traktora, korelacija je obračunata primjenom pravolinijskih veza, čiji su parametri i koeficijenti korelacije dani na dijagramu. Rezultati korelacijske analize »gabaritne« širine i mase vozila pokazuju, da kod zglobnih traktora namijenjenih za radove na privlačenju drva, širina nastavlja rasti s povećanjem mase, te se ne zaustavlja na zakonskom ograničenju od 2,5 m. To se može objasniti činjenicom da su zglobni traktori strogo specijalizirana vozila, namijenjena samo za radove na privlačenju drva, te se u pravilu ne kreću po javnim putovima. Duljina L zglobnih šumskih traktora nastavlja rasti s porastom mase za poznate traktore i kod većih masa. Usta-

Sl. — Fig. 7. Shema i fotografija mjernog pribora — Schematic review and photograph of measuring accessories

1. Mjerni pretvornik sile, F_H — Force measuring transducer, F_H ; 2. Mjerni pretvornik sile, F_V — Force measuring transducer, F_V ; 3. Mjerni pretvornik okretnog momenta, M_{PD} — Torque measuring transducer, M_{PD} ; 4. Mjerni pretvornik okretnog momenta, M_{PL} — Torque measuring transducer, M_{PL} ; 5. Impulsi vrtnje prednjeg mosta, n_P — Rotation impulses of front axle, n_P ; 6. Mjerni pretvornik okretnog momenta, M_{SD} — Torque measuring transducer, M_{SD} ; 7. Mjerni pretvornik okretnog momenta, M_{SL} — Torque measuring transducer M_{SL} ; 8. Impulsi vrtnje stražnjeg mosta, n_S — Rotation impulses of rear axle, n_S ; 9. Mjerni pretvornik puta, s — Path measuring transducer, s ; 10. ... 18. Pojačala — Amplifiers; 19. Oscilator vremenske baze — Basis time oscillator; 20. Pisalo — Recorder; 21. Izvor električne struje — Electrical supply

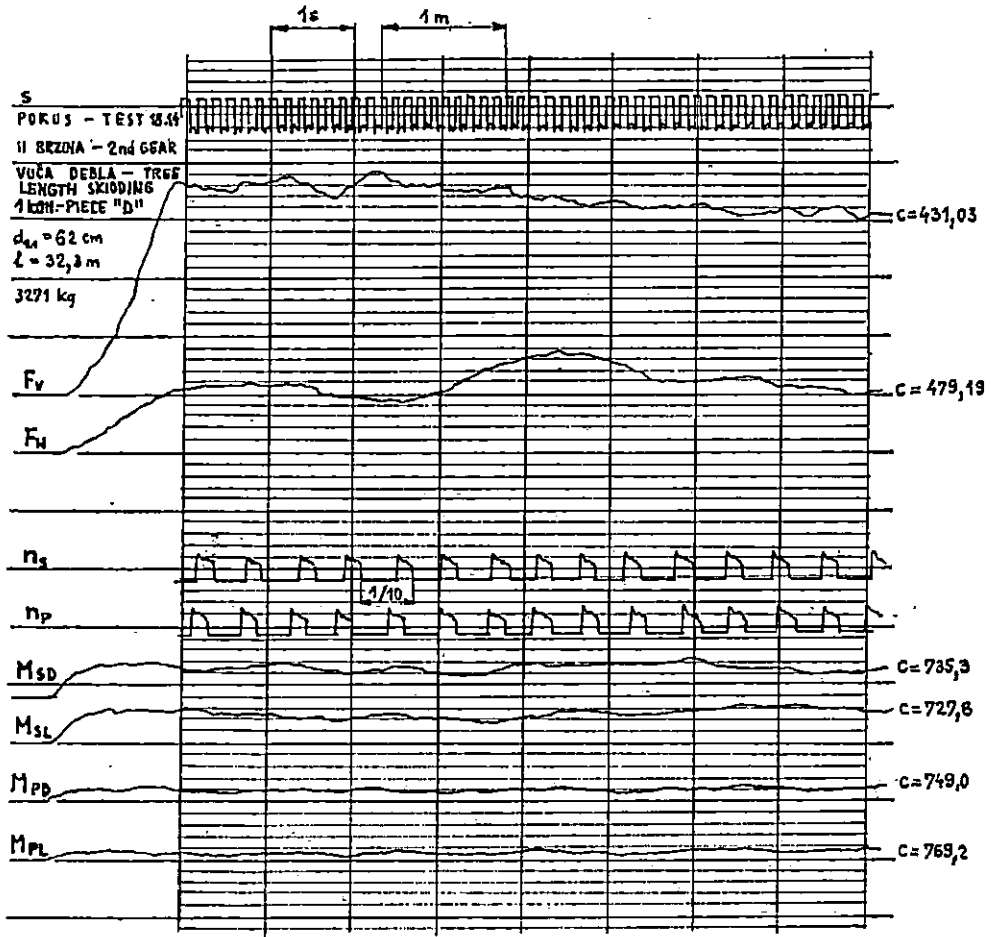
Sever S.: Istraživanja nekih eksploatacijskih parametara traktora pri privlačenju drva. Glasnik za šun. pokuse 22:183-303, 1984.



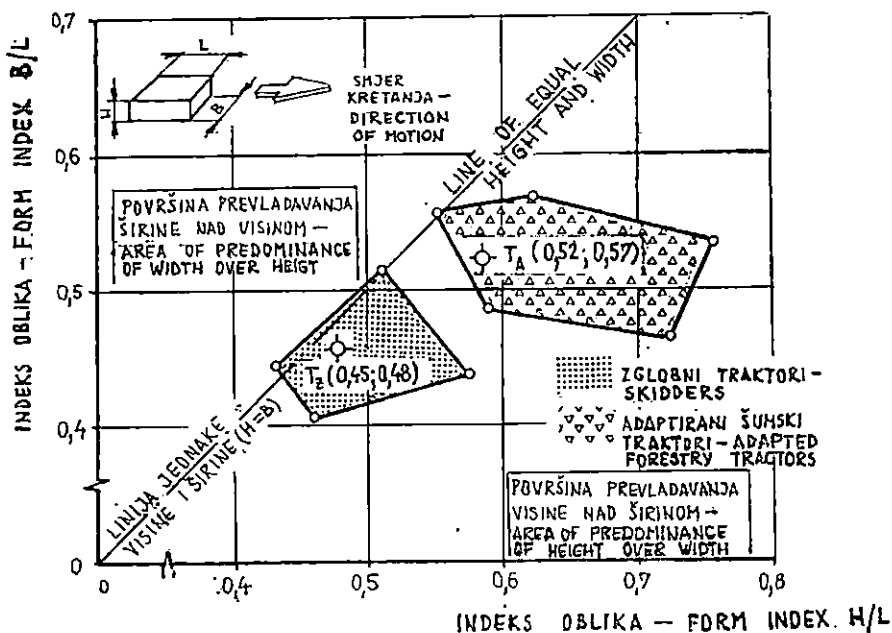


Sl. — Fig. 8. Mjerni uređaj (shema i fotografija) za mjerenje vertikalne i horizontalne komponente vučnog otpora — The measuring device (schematic review and photograph) for measurements of vertical and horizontal component of tractive resistance

A — Shema traktorske veze — Schema of tractor's bond
 B — Plan sila — Forces diagram



Sl. — Fig. 9. Zapis oscillografa tijekom osnovnih istraživanja — Oscillograph record during main investigation. F_H — Horizontalna komponenta vučnog otpora — Horizontal component of tractive resistance; F_V — Vertikalna komponenta vučnog otpora — Vertical component of tractive resistance; M_{PL} , M_{PD} — Zakretni moment prednje osovine — Front axle torque; s — Stvarno prevaljeni put — Real pass over path; n_p , n_s — Broj okretaja prednje i stražnje osovine — Front and rear axle revolutions; $1s$ — Vremenska baza — Basis time; M_{SL} , M_{SD} — Zakretni moment stražnjeg mosta — Rear axle torque.



Sl. — Fig. 10. Ovisnost indeksa oblika B/L zglobnih i adaptiranih šumskih traktora za privlačenje drva o indeksu oblika H/L — Relationship between form index B/L and form index H/L of wheeled skidders and adapted forestry tractors for wood skidding.

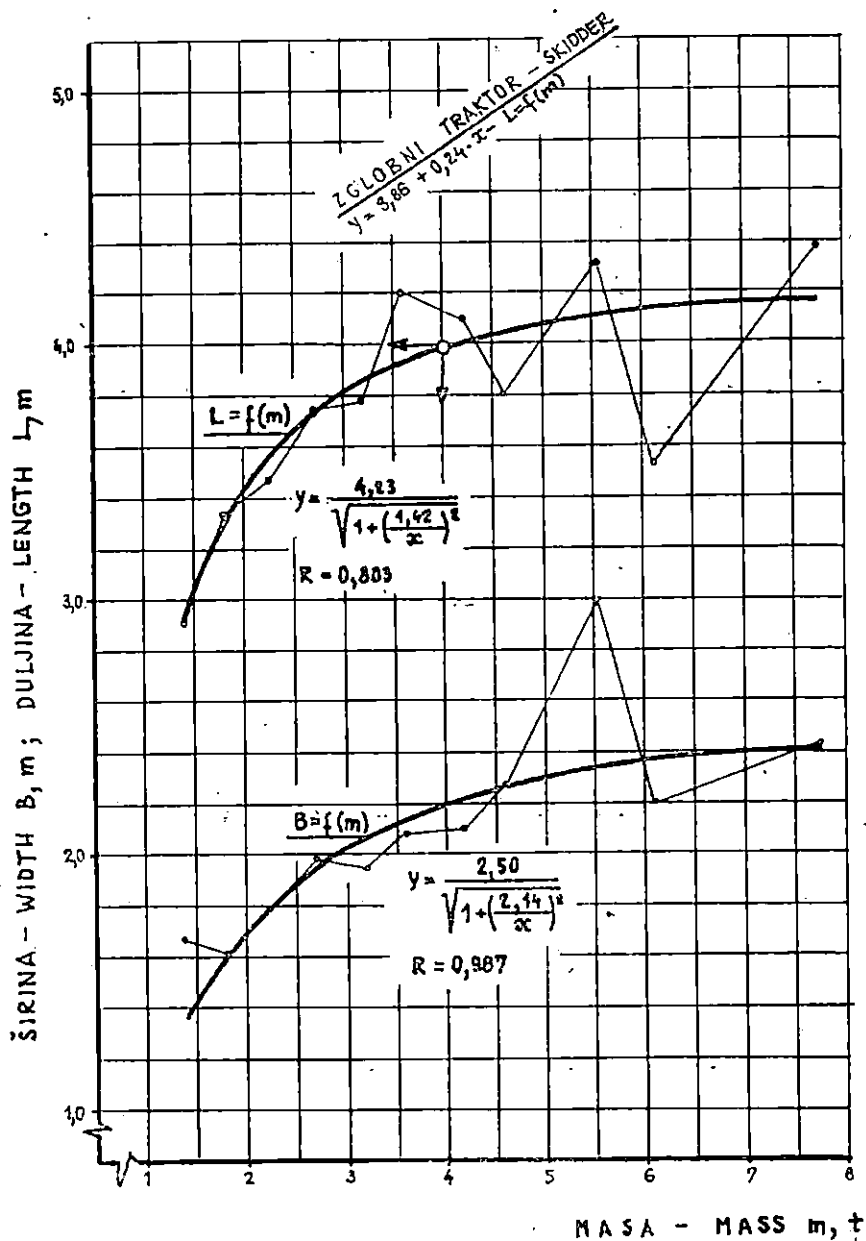
novljene veze su vrlo jake. Ovaj trend je moguć zbog kinematike sustava za upravljanje zglobnim traktorima, kod kojih i sa relativno velikim međuosovinskim razmacima ostvarujemo zadovoljavajuće polumjere okretanja.

Analiza širine adaptiranih traktora koji se koriste za privlačenje drva, rastu do veličine od ca. 2,50 m, vrijednosti koja je granična za vozila u cestovnom saobraćaju, *Wischof* (1978) i dr. Dakle, s daljim porastom mase takvih vozila, širina ostaje nepromijenjena. I duljina takvih traktora raste do neke granice, a potom se približuje veličini od 4,235 m. Duljinu od 4 m traktori postižu kod mase od ca. 4 t.

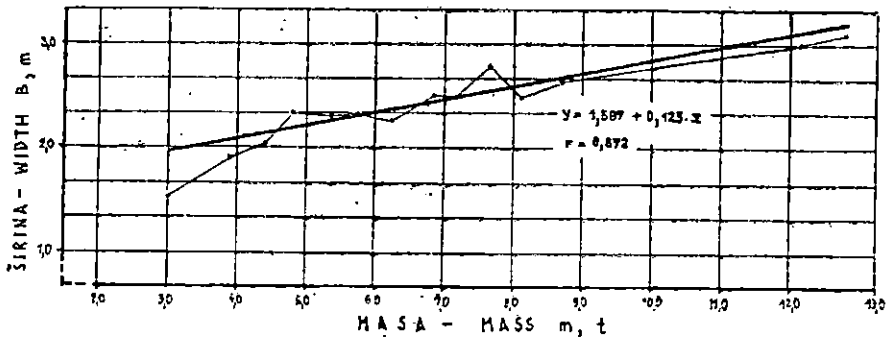
4.13. Ovisnost kočene efektivne snage pogonskog motora o masi vozila — Correlation between brake effective power of driving engine and vehicle mass

U analizi morfoloških parametara traktora, interesantno je istraživanje snage pogonskog motora u ovisnosti od mase traktora.

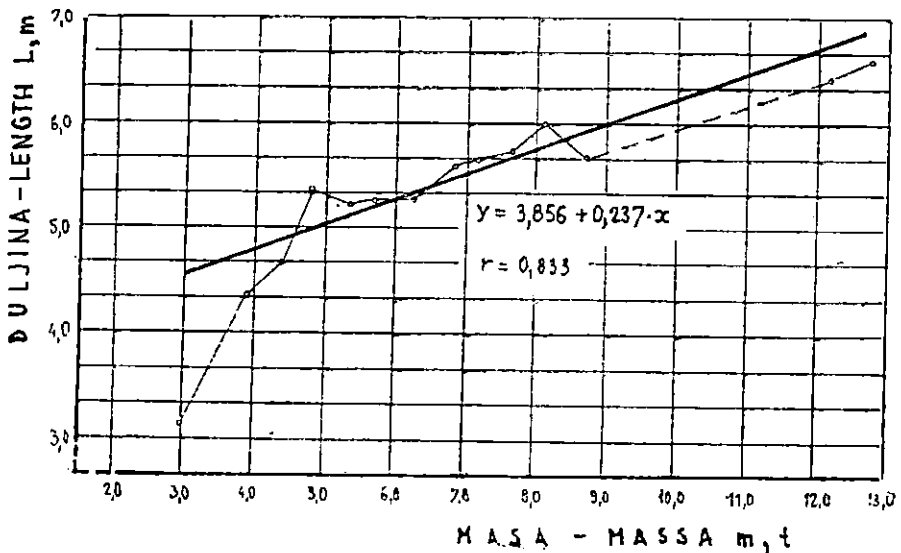
Na slici 14 prikazan je rezultat utvrđene veze za adaptirane šumske traktore, u ovom slučaju pravolinijske veze, s proračunatim koeficijentima korelacije. Možemo govoriti o vrlo uskoj vezi istraživanih činitelja.



Sl. — Fig. 11. Ovisnost širine i duljine adaptiranih traktora o njihovoj masi — Mass as a function of width and length of adapted forestry tractors

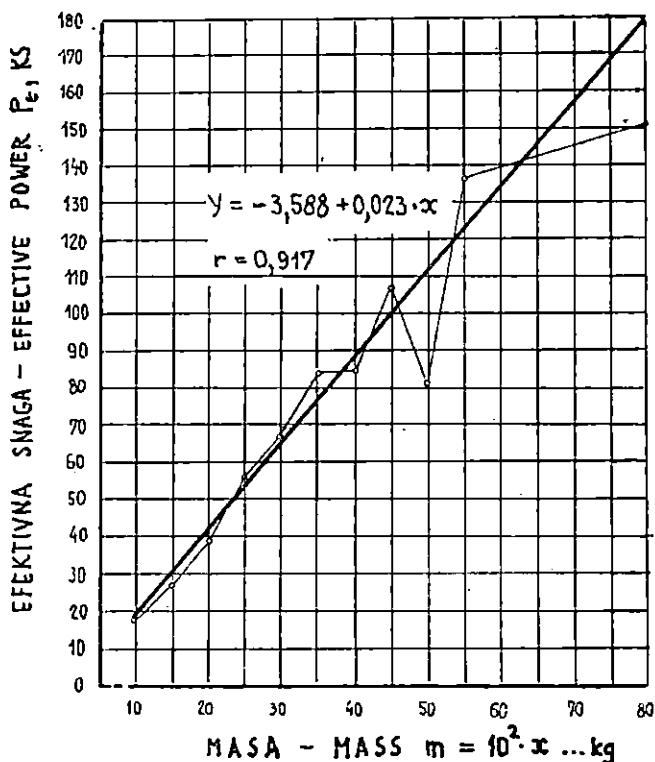


Sl. — Fig. 12. Ovisnost širine o masi zglobnih traktora — Relationship between width and mass of skidders



Sl. — Fig. 13. Ovisnost duljine o masi zglobnih traktora — Relationship between length and mass of skidders

Da bi mogli usporediti i ovisnosti tih dviju grupa traktora, na slici 15 je ucrtan i rezultat sa slike 14. Vidljivo je da regresijska jednadžba pravca dobivena izjednačavanjem veličina za adaptirane traktore leži iznad pravolinijske veze utvrđene za zglobne traktore. Ovo pokazuje da 1 kg mase zglobnih traktora nosi bitno manji iznos jedinične snage pogonskog motora. Dijelom se to može objasniti nesavršenošću njihove konstrukcije, a dijelom gradnjom s većim koeficijentima sigurnosti, zbog bitno otežanih



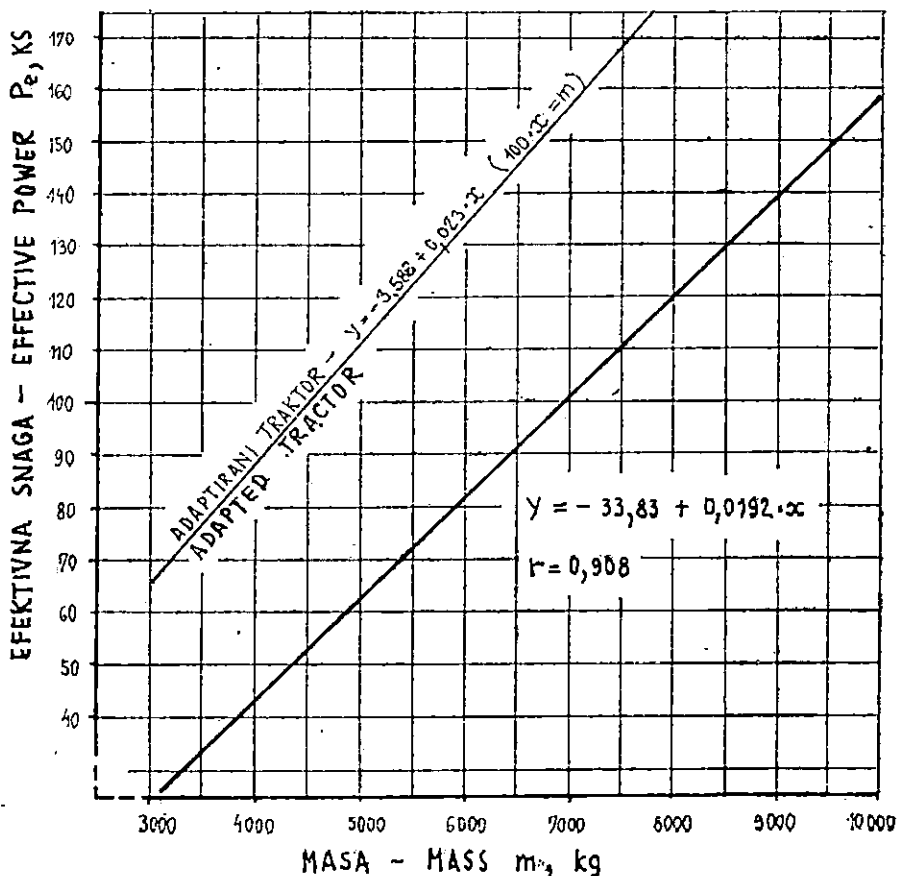
Sl. — Fig. 14. Ovisnost efektivne snage pogonskog motora o masi adaptiranih šumskih traktora — Relationship between engine effective power and mass of adapted forestry tractors

uvjeta rada na privlačenju drva. Tu se redovno radi uz nepovoljne koeficijente prijanjanja, pa se s povećanjem adhezijskog opterećenja osigurava rad i pod izričito nepovoljnim terenskim uvjetima.

4.14. Ovisnost okvirnih (»gabaritnih«) dimenzija traktora o snazi motora — Correlation between the maximum over-all tractor dimensions and engine power

Rezultati analize efektivne snage motora od okvirnih dimenzija traktora prikazani su na slikama 16, 17, 18, 19, 20 i 21. Sve regresijske jednačbe s parametrima te indeksi korelacije dani su na dijagramima.

U tablici 2 su dane granične vrijednosti okvirnih geometrijskih veličina za dva razmatrana tipa traktora.



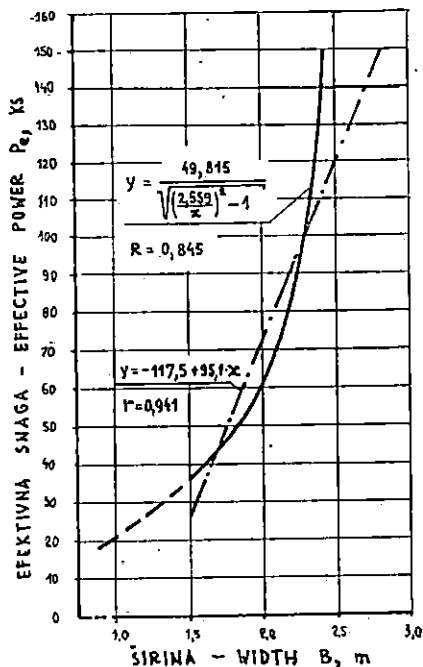
Sl. — Fig. 15. Ovisnost efektivne snage motora o masi zglobnog traktora — Relationship between engine effective power and mass of skidders

4.15. Specifična masa traktora — Specific mass of tractor

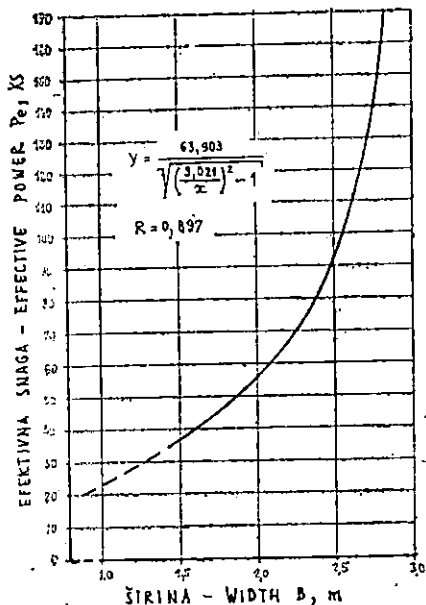
Da bi se produbila analiza o razmatranim veličinama, te dobile nove informacije o funkcijskim ovisnostima snage i mase traktora, analiziran je i parametar poznat kao specifična masa traktora, izražena odnosom $g_s = m/P$ (kg/KS).

Izvršena je regresijska analiza posebno za adaptirane standardne i zglobne traktore. U oba slučaja su korištene regresijske jednadžbe drugog stupnja. Jednadžbe i korelacijski indeksi prikazani su na slikama 22 i 23.

Iz slike 24 je vidljivo da se pri snazi od ca. 40 do 50 KS za adaptirane traktore i kod snage od ca. 75 KS za zglobne traktore, linija specifične mase traktora lomi i s daljim porastom snage ostaje konstantnom.




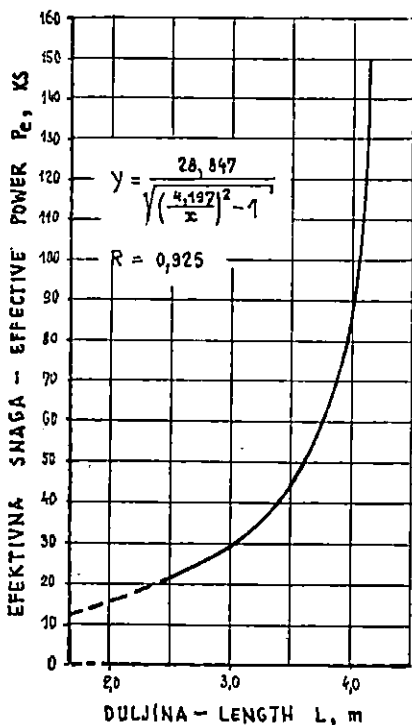
Sl. — Fig. 16. Ovisnost efektivne snage motora o širini adaptiranih šumskih traktora — Relationship between effective engine power and width of adapted forestry tractors



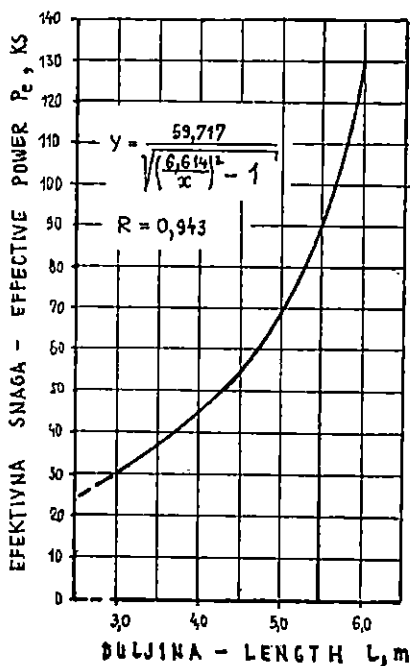
Sl. — Fig. 17. Ovisnost efektivne snage motora o širini zglobnih traktora — Relationship between effective engine power and width of skidders

Tablica 2 — Table 2. Granične vrijednosti geometrijskih veličina traktora — Limit values of tractor's geometrical dimensions

| Tip traktora Tractor type | Granična vrijednost kod koje prestaje rast dimenzija B, L ili H unatoč porasta efektivne snage Limit values at which the dimension increase of B, L or H stops in of further increase of effective power | | |
|---|---|------|------|
| | B | L | H |
|  | | | |
| | m | | |
| Adaptirani poljoprivredni traktor Adapted farm tractor | 2.55 | 4.20 | 2.56 |
| Zglobni traktor Skidder | 3.02 | 6.61 | 3.06 |



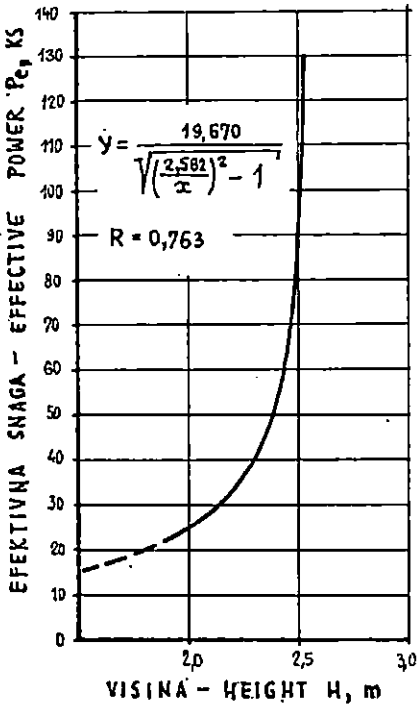
Sl. — Fig. 18. Ovisnost efektivne snage motora o duljini adaptiranih šumskih traktora — Relationship between engine power and length of adapted forestry tractors



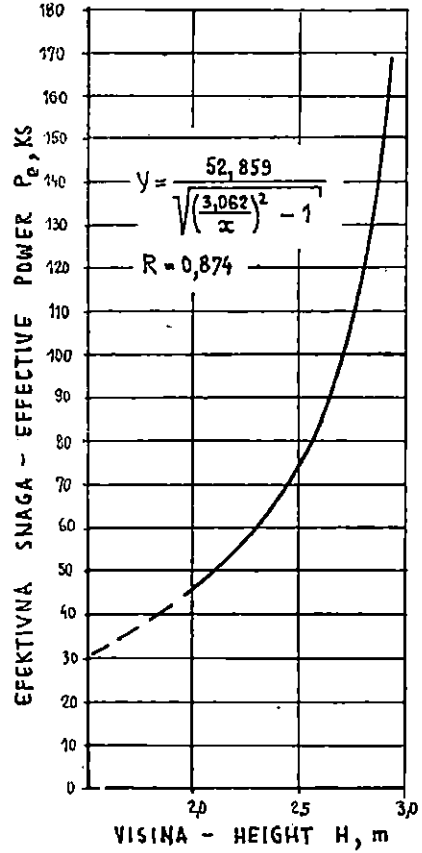
Sl. — Fig. 19. Ovisnost efektivne snage motora o duljini zglobnih traktora — Relationship between effective engine power and length of skidders

Iz slike 24 se vidi raspon specifičnih masa traktora koji se koriste u šumarstvu za radove na privlačenju drva; adaptirani traktori zadržavaju specifičnu masu u granicama od 35 do 60 kg/KS, a za zglobne traktore se kreće od 60 do 85 kg/KS. Ovi zaključci potvrđuju utvrđene zakonitosti između snage i mase traktora.

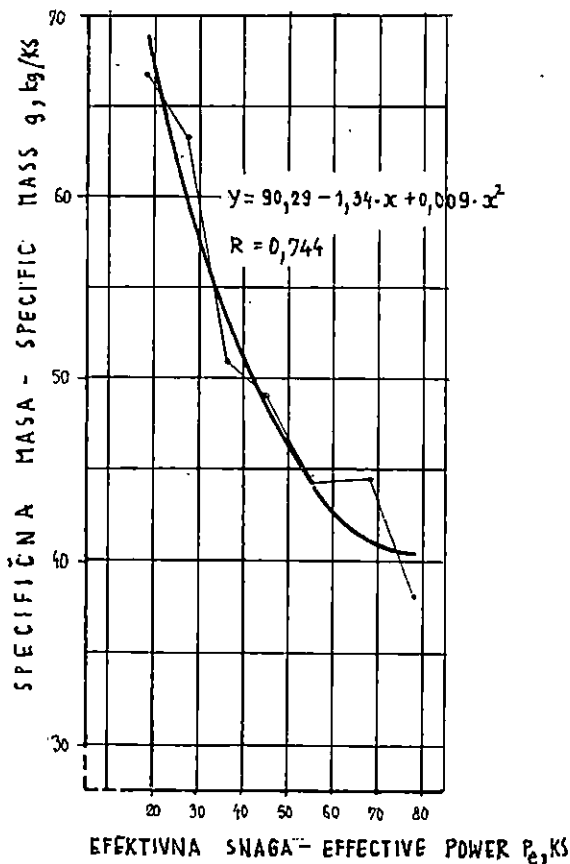
Značaj ovih razmatranja je to veći, ukoliko se podsjetimo da vučna sila, među ostalim, direktno zavisi i od opterećenja stvorenog masom traktora. Dakle, sa stanovišta vučne sile, mora postojati određena masa traktora, da bi se mogla iskoristiti snaga pogonskog motora. Tek u slučaju rada traktora s vitlom i mogućnosti sidrenja traktora uz panj, deblo ili pomoću vlastite podizne daske, moguće je koristiti i veću snagu traktora i pri smanjenoj specifičnoj masi. Kod vuče oblovine nošene jednim krajem od strane traktora, ne dolazi do mogućnosti smanjenja specifične mase traktora. Kako je jedino takav rad ekonomski opravdan tijekom privlačenja, ne treba u bliskoj budućnosti očekivati bitne promjene veličine specifičnih masa šumskih traktora.



Sl. — Fig. 20. Ovisnost efektivne snage pogonskog motora o visini adaptiranih šumskih traktora — Relationship between effective engine power and height of adapted forestry tractor



Sl. — Fig. 21. Ovisnost efektivne snage pogonskog motora o visini zglobnih traktora — Relationship between effective engine power and height of skidders

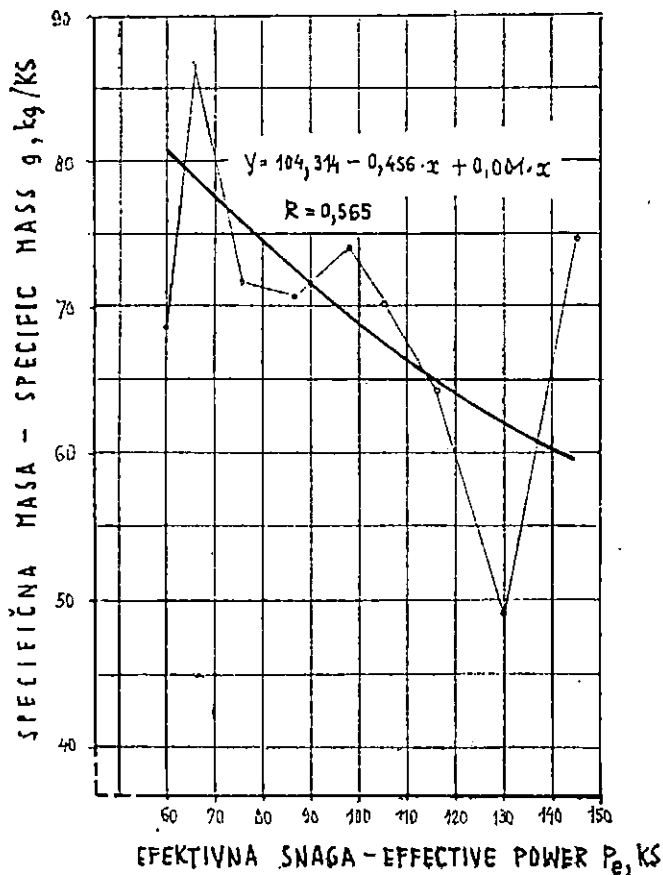


Sl. — Fig. 22. Ovisnost specifične mase o efektivnoj snazi pogonskog motora adaptiranih šumskih traktora — Relationship between specific mass and effective engine power of adapted forestry tractors

4.16. Specifični imaginarni i stvarni tlak traktora — Specific imaginary and actual pressure of tractor

Kako je već naglašeno u poglavlju Cilj i problematika istraživanja, parametar specifičnog imaginarnog tlaka traktora, uveo je u morfološku analizu traktora Becker, 1956. Ovaj pokazatelj je definiran kao omjer mase vozila i površine imaginarnog pravokutnika, određenog okvirkom širinom i dužinom traktora,

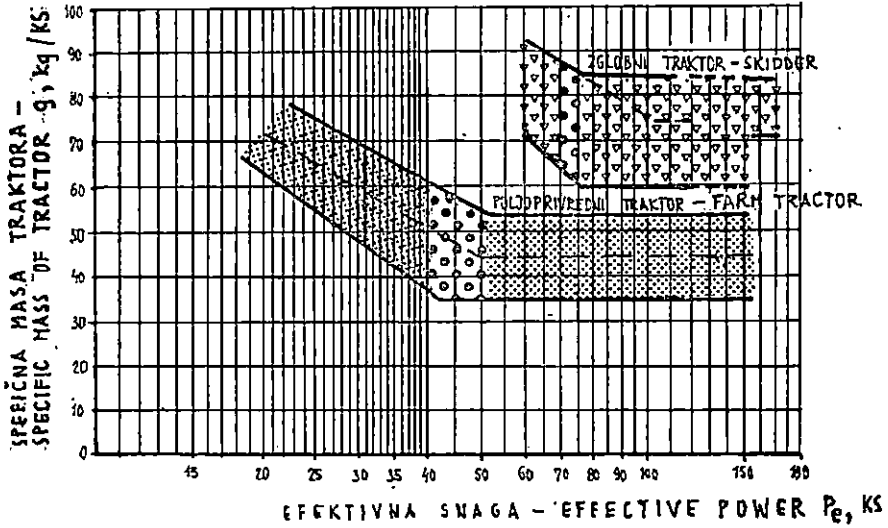
$$p_{im} = \frac{G}{B \cdot L} = \frac{G}{A_{im}} \dots \text{kp/m}^2 \quad (24)$$



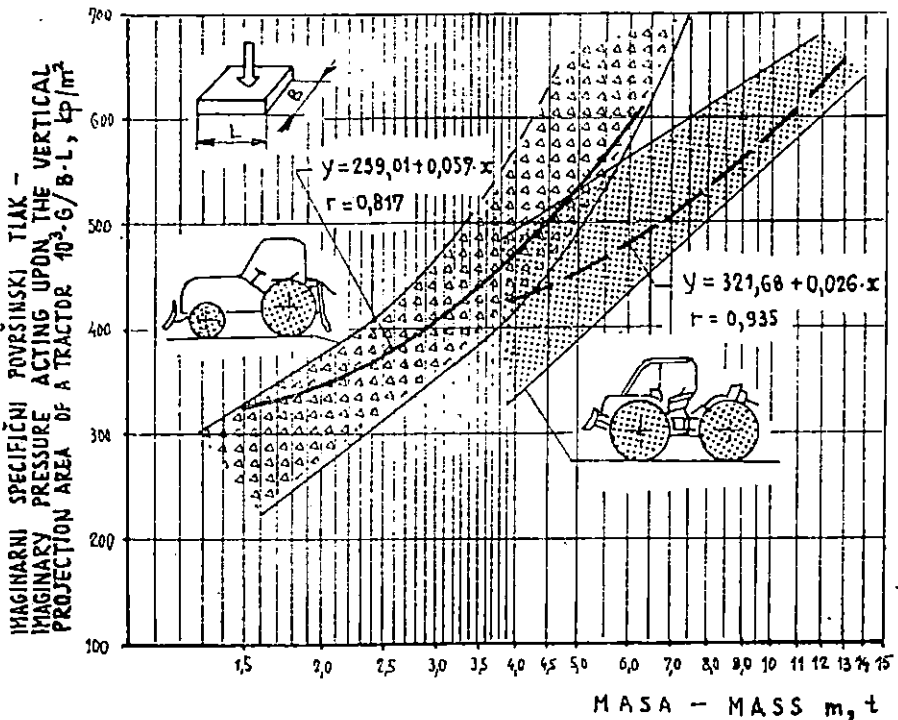
Sl. — Fig. 23. Ovisnost specifične mase o efektivnoj snazi pogonskog motora zglobnih traktora — Relationship between specific mass and effective engine power of skidders

Izvršena je korelacijska analiza imaginarnog specifičnog tlaka i mase traktora. Između veličina specifičnog imaginarnog tlaka i opterećenja uslijed mase traktora, korelacija je obračunata primjenom regresijskih jednadžbi pravca. Funkcije su ucrtane u polulogaritamskom koordinatnom sustavu (sl. 25) na kojem su unijeti podaci za parametre pravca i korelacijski koeficijenti.

Iz grafičkog prikaza je vidljivo da pri masi traktora od ca. 4 t dolazi do razdvajanja imaginarnog specifičnog tlaka za dvije promatrane vrste traktora. Specifični tlak adaptiranih traktora raste brže od tlaka zglobnih traktora što je i razumljivo, s obzirom na manje ograničenje duljine takvih traktora zbog zahtjeva zadovoljavajućeg polumjera okretanja.



Sl. — Fig. 24. Ovisnost specifične mase o efektivnoj snazi pogonskog motora zglobnih i adaptiranih šumskih traktora — Relationship between specific mass and effective engine power of adapted forestry tractors and skidders



Sl. — Fig. 25. Ovisnost imaginarnog tlaka o masi adaptiranih i zglobnih traktora — Relationship between imaginary pressure and mass of adapted forestry tractors and skidders

4.17. Značaj polumjera okretanja traktora za privlačenje drva — Importance of wood skidding tractor's turning radius

Jedan od uvjeta da se neki traktor može uspješno koristiti kod privlačenja drva je da ima dovoljno mali polumjer okretanja. Samo u tom slučaju će s teretom uspješno obilaziti prepreke, dubeca stabla, stijene i drugo.

Sustav zglobnog upravljanja, koji se isključivo koristi za šumske traktore III generacije, bitno smanjuje polumjer okretanja u odnosu na polumjer okretanja koji se ostvaruje s kinematikom upravljanja preko prednjih kotača, kakvu koriste adaptirani traktori za privlačenje. Naravno, ova pretpostavka vrijedi uz sve ostale iste morfološke karakteristike vozila.

Približna analiza polumjera okretanja adaptiranog i zglobnog traktora pokazuje, da traktor s izvedenom kinematikom zglobnog upravljanja može biti ca. 2 puta duži od traktora sa sustavom upravljanja preko prednjih kotača, a da ima isti polumjer okretanja. Sve to objašnjava činjenicu da duljina zglobnih traktora nastavlja rasti s masom traktora, što nije slučaj kod traktora standardne građe s upravljanjem preko prednjih kotača.

No, osim izvedbe gdje se zglob nalazi u sredini baze traktora, isti može biti smješten bliže jednoj od osovina traktora.

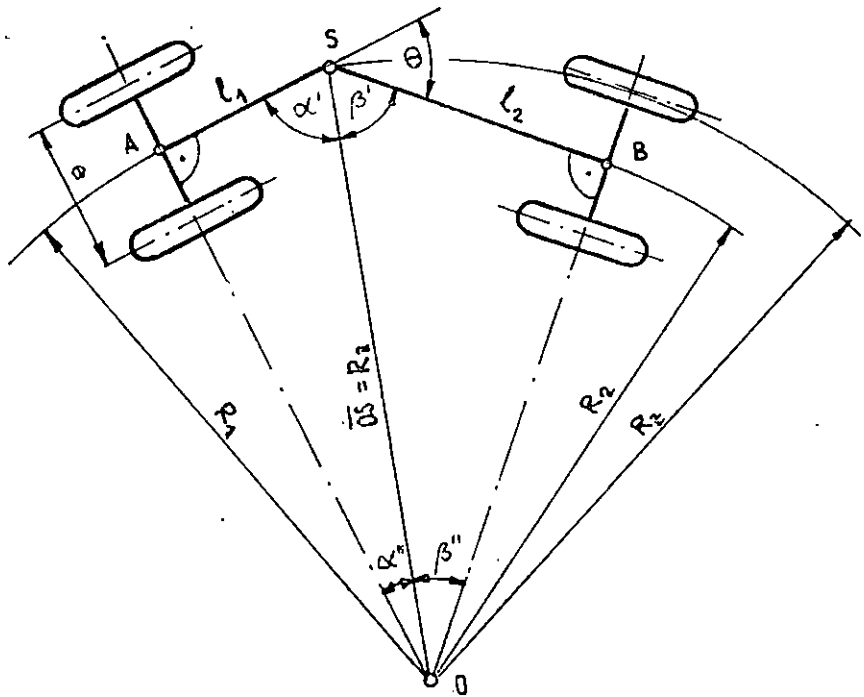
Za slučaj određivanja polumjera okretanja središta mostova A i B bez bočnog klizanja kotača zglobnog traktora, koji ima izveden stalni kut preklapanja prednje i stražnje sekcije, koristili smo oznake na slici 26.

Polumjer okretanja središta kraće sekcije;

$$\begin{aligned} \sin \alpha'' &= \frac{l_2}{R_2} \rightarrow R_2 = \frac{l_2}{\sin \alpha''} = \frac{l_1}{\sin \beta''} \\ \frac{l_2}{l_1} &= \frac{\sin \alpha''}{\sin \beta''} = \frac{\sin(\theta - \beta'')}{\sin \beta''} = \frac{\sin \theta \cos \beta'' - \cos \theta \sin \beta''}{\sin \beta''} \\ \frac{l_2}{l_1} &= \sin \theta \operatorname{ctg} \beta'' - \cos \theta & \operatorname{ctg} \beta'' &= \frac{R_1}{l_1} \\ \frac{l_2}{l_1} &= \sin \theta \cdot \frac{R_1}{l_1} - \cos \theta \\ l_2 &= R_1 \sin \theta - l_1 \cos \theta \\ R_1 &= \frac{l_1 \cos \theta + l_2}{\sin \theta} \end{aligned} \quad (25)$$

Na identičan način smo izveli veličinu polumjera okretanja središta mosta duže sekcije vozila sa zglobnim upravljanjem;

$$R_2 = \frac{l_2 \cos \theta + l_1}{\sin \theta} \quad (26)$$



Sl. — Fig. 26. Shematski prikaz određivanja polumjera kretanja središta mostova traktora sa zglobnim upravljanjem bez bočnog klizanja kotača — Schematic review of the turning radius determination of vehicles axle center for tractors with articulated steering without side sliding of wheels. l_1, l_2 — Udaljenost središta mostova od zgloba — Distance between axles center and joint; $\theta = \alpha'' + \beta''$ — Kut okretanja sekcija oko zgloba — Turning angles of vehicle's section around the joint; R_1, R_2 — Polumjeri okretanja središta prednjeg i stražnjeg mosta bez bočnog klizanja kotača — Turning radius of front and rear axles center without side sliding of wheels; R_z — Polumjer okretanja zgloba vozila — Turning radius of vehicle's joint

Specijalni slučaj ovakvog vozila je simetrično postavljen zglob, uz slijedeće uvjete: $R_1 = R_2 = R$ i $l_1 = l_2 = l$; $\delta = \frac{\theta}{2}$

$$R = \frac{l + l \cos \theta}{\sin \theta} = l \frac{1 + \cos \theta}{\sin \theta}$$

$$1 + \cos \theta = 2 \cos^2 \frac{\theta}{2} \quad \sin \theta = 2 \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2}$$

$$R = l \frac{2 \cos^2 \frac{\theta}{2}}{2 \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2}} = l \operatorname{ctg} \frac{\theta}{2} \quad (27)$$

4.2. Priprema istraživanja — Preliminary investigations

Kao što je opisano u poglavlju Metoda rada i objekt istraživanja, pripremna istraživanja su provedena u dva dijela. Prvi dio se odvijao na području ŠG Karlovac, Šumarija Draganić, Radilište Visoka, tijekom srpnja 1973. godine, a drugi dio na području iste Šumarije tijekom prosinca 1975. godine u Odjelu 11. Dok su prva pripremna istraživanja provedena na pomoćnom stovarištu, nastavak pokusa obavljen je u sastojini. Vuča je obavljena zglobnim traktorom Timberjack 360 s gumama 28,1 x 26". Tlak zraka je držan u granicama propisanim od proizvođača (17 do 19 p. s. i. \sim 1,195 do 1,335 at). Za cijelo vrijeme dinamometriranja radili smo na području do 5 000 kp, s brzinom registrirajuće trake od 10 cm/min, s konstantom 100 kp/mm. Sva snimanja su obavljena na horizontalnoj stazi, u dva smjera. Visina podignutog kraja je bila stalna te je iznosila 75 cm. Istovremeno je vučen samo jedan komad.

Uz penetracijske karakteristike tla istražene su i ovisnosti horizontalnog vučnog otpora, vučnog tereta, koeficijenta privlačenja, opterećenja tla uslijed vučnog tereta, koeficijenta otpora, klizanja zagonjskih kotača, horizontalne komponente vučne sile, vučne snage, stvarne brzine i dr. veličina bitnih za promatranje privlačenja drva zglobnim traktorima.

4.21. Smjernice za osnovna istraživanja na temelju rezultata pripremnih pokusa — Directions for main investigation based on results obtained in the preliminary experiments

Na temelju rezultata pripremnih istraživanja te iskustva s vođenjem takvih pokusa, pripremljena su osnovna istraživanja. Evo nekih bitnih rezultata i preporuka za vođenje daljnjih istraživanja.

— Koeficijent otpora kod vuče s podignutim debljim krajem iznosio je ca. 563 kp/t tereta; s podignutim tanjim krajem utvrđena je prosječna vrijednost od 572 kp/t tereta. Koeficijent otpora je ca. 2% manji kod vuče s debljim krajem naprijed.

Najveću razliku smo utvrdili u jednom pokusu kod vuče duge oblovine, gdje je za vuču s tanjim krajem naprijed utvrđeno povećanje vučnog otpora za 12,8 %.

— Dio tereta prenijetog s vučenog drva na traktor mijenjao se s postavljenim tanjim ili debljim krajem naprijed, te duljinom vučene duge oblovine. Ustanovljeno je, da je za pojedine duljine hrastovih trupaca i duge oblovine prenijeto na stražnji most traktora slijedeći dio tereta: duljine od 4 do 5 m, srednjeg promjera Φ 65 cm, s debljim krajem naprijed 51,5 %, s tanjim krajem naprijed 48,5 %; duljine 15 do 16 m, Φ 65 cm, s debljim krajem naprijed 57,1 %, s tanjim krajem naprijed 39,3 %.

Sve ovo iznijeto ukazuje da pri privlačenju hrastovine, zbog nesavršenog oblika oblovine (pravnost, kvrgavost, perac, ostaci grana i dr.) nije utvrđena bitna razlika za vuču s tanjim ili debljim krajem naprijed. Vučena je duga oblovina i sortimenti duljine od 4 do 16 m, malog pada promjera.

— Iz literature je poznato više načina mjerenja vučnih otpora pri privlačenju drva. Glavni nedostatak izabranog načina, koji je povijesno gledano gotovo isključivo korišten u sličnim istraživanjima, je nemogućnost mjerenja vertikalne komponente vučnog otpora, a time i veličine i položaja rezultante sile. Budući da je primjenom zglobnih traktora i adaptiranjem standardnih, primjena vučnog užeta pogonjenog vitlom postalo dominantni način izvlačenja, dobivene informacije ne daju uvid u djelovanje tereta na vučno vozilo.

— Relativno jednostavni hidraulični dinamometar zbog veličine mjernog pretvornika i zahtjeva za spajanjem istoga sa registrirajućom napravom, ograničava postizanje uvjeta bliskim u eksploataciji.

Na osnovu gore iznesenog za osnovna istraživanja smo postavili slijedeće smjernice: — istodobno utvrđivati vertikalnu i horizontalnu komponentu vučnog otpora; — primijeniti metodu električnog mjerenja mehaničkih veličina, koja omogućuje fleksibilnije povezivanje mjernih pretvornika i pisala; — osigurati veće brzine pomaka registrirajućeg papira u cilju praćenja dinamičkih pojava; — povećati raspone tereta u cilju utvrđivanja graničnih veličina vuče; — izabrati dovoljno dugu i široku stazu s karakteristikama tla sličnim iz drugog pripremnog pokusa, ali bez skeleta; — proširiti istraživanja i na vuču stabala; — proširiti istraživanja i na zbivanja na zagonskim kotačima; — u cilju smanjenja rasipanja mjernih veličina uslijed morfoloških karakteristika tereta, pokus izvršiti s jelovinom; — prijeći s mjerenja na fiksnoj duljini staze na mjerenje do potrebnog broja registriranih podataka; — konstruirati uređaj kojim će se omogućiti istodobno privlačenje većeg broja komada drva, kako bi uvjeti odgovarali eksploatacijskim, a da istodobno možemo utvrditi i dinamičke promjene vertikalne i horizontalne komponente vučnog otpora. Uređaj dimenzionirati prema rezultatima pripremnih mjerenja.

1.3. Osnovna istraživanja — Main investigations

Osnovna istraživanja smo proširili na bitno nova područja u odnosu na ona kod pripremnih istraživanja. Što se tiče vučenog tereta, radili smo s jelovinom i smrekovinom; vukli smo stabla, debla, dugu oblovinu i sortimente. Istraživanje je prošireno i na ostale gubitke snage traktora, kako bi mogli odrediti stupanj korisnosti kotača traktora, te vučnu korisnost traktora.

U rezultatima je prikazan samo dio utvrđenih ovisnosti osnovnim istraživanjima, za koje smo smatrali da će ponajbolje ilustrirati bitne eksploatacijske parametre pri privlačenju drva.

U cilju lakšeg praćenja, rezultate smo svrstali prema naravi pojave u nekoliko poglavlja, iako će se često i oni iz različitih područja nadopunjavati i objašnjavati suštinu zbivanja.

4.31. Karakteristike tla — Soil characteristics

Cilj istraživanja karakteristika tla je bio ustanovljenje bitnih parametara za lokomociju i vuču drva opisanim traktorima. Izabrani su slijedeći pokazatelji svojstava tla: mehanički otpor tla, vlaga i granulometrijski sastav čestica tla. Na jednoj dubini utvrdili smo i srednji tlak po širini traga kotača.

4.31.01. Mehanički otpor i vlaga tla — Mechanical resistance and soil moisture

Penetracijski pokus je obavljen penetrometrom i penetrografom. U prvom slučaju smo ustanovljivali radnju potrebnu za penetraciju konusa šipke u tlo, a u drugom silu potrebnu za istu svrhu. Istodobno je mjerena i vlaga tla u nekoliko horizonata. Penetrograf koristi protusilu opruge kao mjeru za silu utiskivanja konusa. Otpor tla (kp/cm^2) u slučaju rada s penetrometrom je radnja po jedinici utisnutog volumena (kp cm/cm^3), (J o u n g 1968 i dr.).

Na slici 27 prikazan je originalni snimak penetracijskog pokusa penetrografom. Vidljivo je da se radi o istovrsnom tlu, kako to navodi B e k k e r (1973).

Za računsko izjednačenje primijenjena je regresijska jednadžba drugog reda. Za svaki pojedini slučaj utvrđena je i granična sila utiskivanja penetrometra.

Slika 28 prikazuje zavisnost dubine penetriranja od radnje izvršene po jedinici utisnutog volumena tla.

Karakteristična penetracijska krivulja tla na kojem je obavljeno odnosno istraživanje, prikazana je na slici 29. Analiza pokazuje da se radi o istovrsnom tlu; korelacijska veza je potpuna. Srednja vrijednost granične sile utiskivanja iznosi 10,4 kp.

Testiranjem je utvrđeno da sadržaj vlage u tlu pripada jednom skupu te dajemo samo srednju vlagu: $\bar{w}_r = 47,9 \pm 2,04 \%$.

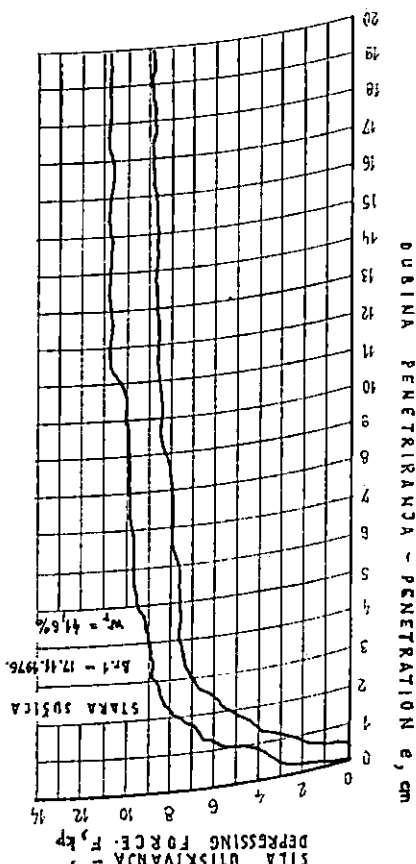
4.31.02. Granulometrijski sastav tla — Grain size composition of soil

Granulometrijski sastav tla, ili sadržaj zrna različite veličine u određenoj količini tla, prikazali smo prema JUS U. B1. 018, gdje je u postocima izražena težina frakcije koja prolazi kroz sito u zavisnosti od zrnatosti. Ovakav granulometrijski dijagram je prikazan na slici 30.

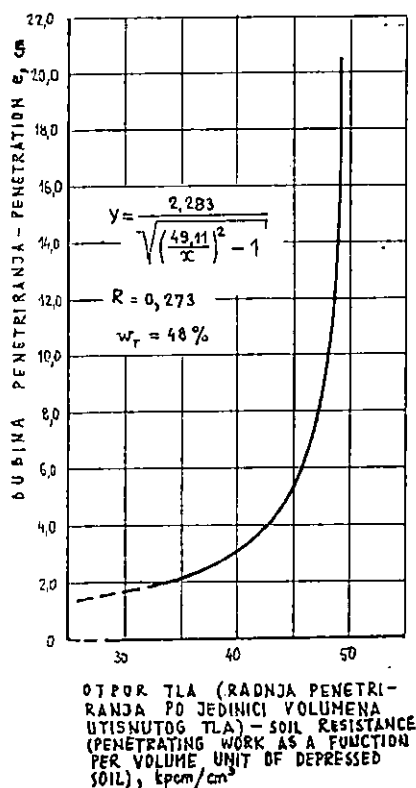
Prema toku krivulje iz granulometrijskog dijagrama tla, možemo tlo okarakterizirati kao i l o v a č u. Iz polulogaritamskog dijagrama je vidljivo, da smo kao granice između šljunka i pijeska uzeli 2 mm, pijeska i praha 0,06 mm te između praha i gline 0,002 mm.

Oznaku tla smo odredili prema dijagramu za klasifikaciju tla ureda za tla USA (US Bureau of Soils), poznat kao trokutasti dijagram za klasifikaciju. Na slici 31 je prikazan navedeni dijagram i u njega ucrtano mjesto tla za koji je određen granulometrijski sastav (B e n n e t t, 1962).

Upravo za ilovaču se smatra da je nedovoljno određen pojam, te se stoga u mehanici tla izbjegava. B e n n e t t (1962) pod ilovačom podrazumijeva sastav od 30—50 % pijeska, 30—50 % praha i 0—20 % gline.



Sl. — Fig. 27. Zapis penetracijskog pokusa sa pisala — Transcript from recorder cone penetrometer test

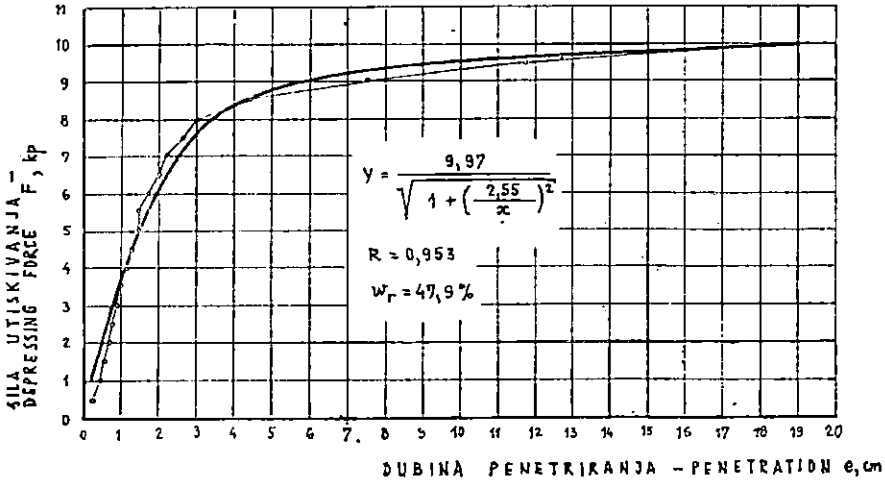


Sl. — Fig. 28. Ovisnost dubine penetracije o radnji po jedinici volumena utisnutog tla — Relationship between penetration and work per volume unit of depressed soil

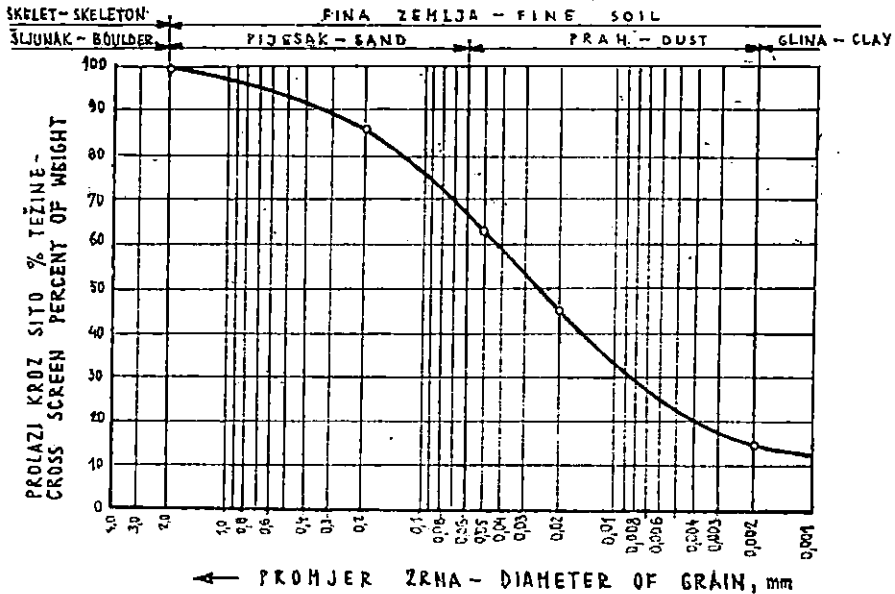
4.31.03. Tlak u tlu po širini traga kotača — Underground pressure through the width of the track

Na dubini od 14 cm ustanovili smo srednji tlak uzrokovan prolazom kotača traktora po širini njegovog traga. Ovu dubinu smo odabrali zato, jer je na njoj prestao utjecaj rebara pneumatika. Mjerenja su obavljena za prolaz neopterećenog traktora, te istog s ovješanim teretom (1 komad duge oblovine), koji je tijekom vuče uzrokovao vertikalnu komponentu sile od 850 kp i vodoravnu vučnu silu od 325 kp.

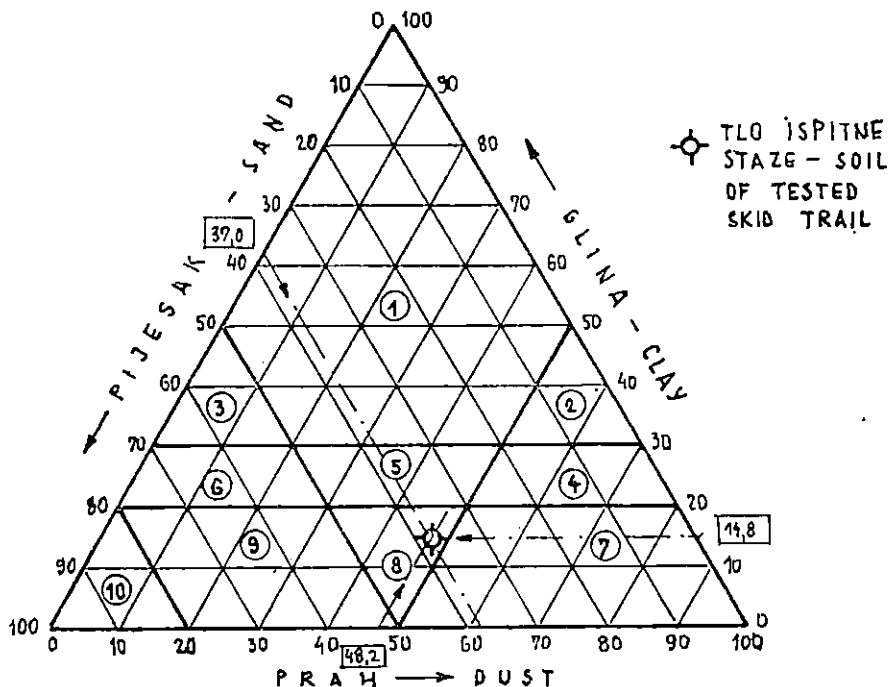
Rezultati mjerenja su prikazani na slici 32, posebno za prednji i stražnji most. U histogram su unijeti srednji rezultati utvrđenih tlakova. Kod kretanja praznog traktora opterećenje je bilo koncentrirano u uskoj zoni oko središnjeg pojasa gume, te je tu i ustanovljen izričiti maksimum. Do-



Sl. — Fig. 29. Ovisnost sile utiskivanja koničnog penetrometra o dubini penetriranja — Relationship between depressed force of conepenetrometer and penetration



Sl. — Fig. 30. Granulometrijski sastav tla — Grain size composition of soil



Sl. — Fig. 31. Dijagram klasifikacije tla prema Uredu za tla USA — Soil classification diagram in accordance with Office of soil of USA. ○ Ispitivano tlo u dijagramu — Tested soil in diagram (1) Glina — Clay; (2) Prašnasta glina — Dusty clay; (3) Pjeskovita glina — Sandy clay; (4) Prašnasto glinovita ilovača — Dusty clay loam; (5) Glinasta ilovača — Clay loam; (6) Pjeskovito glinovita ilovača — Sandy clay loam; (7) Prašnasto ilovača — Dust loam; (8) Ilovača — Loam; (9) Pjeskovita ilovača — Sandy loam; (10) Pijesak — Sand

datnim opterećenjem uslijed obješenog tereta došlo je i do prijenosa pritiska na većoj širini gume. Pritom nije bitno povećan maksimalni srednji tlak. Dok smo na stražnjem mostu u zoni uz centralnu nedvojbenu ustanovili povećanje tlaka, na prednjem mostu je došlo do rasterećenja i smanjenja srednjih tlakova tik uz ekvatorijalni središnji pojas gume.

4.32. Tehničko-eksploatacijski parametri traktora pri privlačenju drva — Technical-exploitation parameters at wood skidding

U ovom poglavlju ćemo obuhvatiti rezultate istraživanja više parametara koji se mijenjaju tijekom privlačenja drva. Da bi mogli pristupiti matematičko-statističkoj obradi rezultata istraživanja, izvršili smo prethodne proračune i testove. Iznijet ćemo najvažnije.

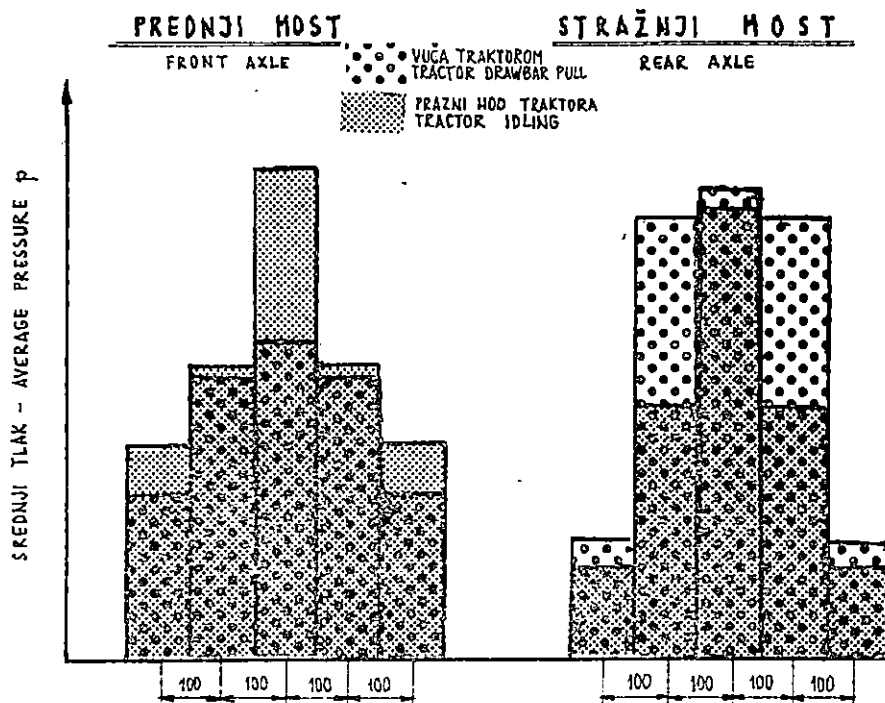
Budući da ispitivani traktor raspolaže diferencijalom koji se u času nastupanja određene razlike broja okretaja blokira (tzv. No - spin diffe-

rential), provjerili smo da li se brzine vrtnje prednjeg i stražnjeg mosta bitno razlikuju. Dakle, za navedeni slučaj smo utvrdili signifikantnost razlika dviju aritmetičkih sredina. U svim testiranim slučajevima se radilo o velikim uzorcima s različitim frekvencijama.

Između aritmetičkih sredina broja okretaja prednjeg i stražnjeg mosta određena je signifikantnost, pa je dobiveno za vožnju u II stupnju prijenosa $t = 0,25$, a u III stupnju prijenosa $t = 0,21$. Za broj stupnjeva slobode $n = 280$, odnosno $n = 254$, uz koeficijent rizika 0,05 vidimo, da je granična vrijednost $t_0 = 1,97$. Prema tome, aritmetičke sredine nisu signifikantno različite, te su u daljoj obradi rezultata istraživanja uzimane kao jedan skup.

Budući da smo gotovo isključivo sve pokuse privlačenja obavljali u II i III stupnju prijenosa, prije obrade su sve mjerene i obračunate veličine testirane s obzirom na uključeni stupanj prijenosa. Samo u slučaju signifikantne razlike, dalju obradu smo obavili odvojeno. U tu svrhu izvršeno je ca. 500 testova signifikantnosti aritmetičkih sredina. Zbog opsega materijala nećemo iznositi navedene rezultate testiranja.

Nakon utvrđivanja stohastičke veze između pojedinih pokazatelja, a prije računskog izjednačenja regresijskim jednadžbama, analizom vari-

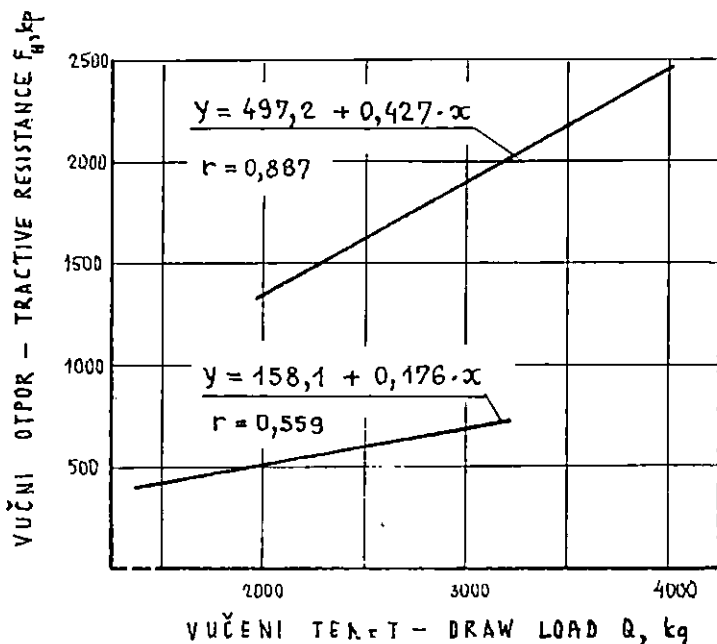


Sl. — Fig. 32. Prikaz rezultata mjerenja srednjeg tlaka po širini traga kotača — Presentation of measurement results of average pressure upon the width of track

jance je utvrđeno, da li postoji signifikantna razlika vrijednosti zavisne varijable. Tek nakon toga smo pristupili izračunavanju korelacija proučavanih činilaca. I ove rezultate nećemo prikazivati zbog velikog broja obavljenih analiza (oko 800).

4.32.01. Vodoravna komponenta vučnog otpora (vodoravna komponenta vučne sile) — Horizontal component of the tractive resistance (Horizontal component of the tractive force)

Dok je koeficijent pravolinijske korelacije za vuču stabala ($r = 0,887$) pokazao vrlo jaku vezu, za vuču debala, duge oblovine i trupaca utvrđena je jaka veza (sl. 33). Zbog navedenog smo kasnije ispitali zakonitosti koje

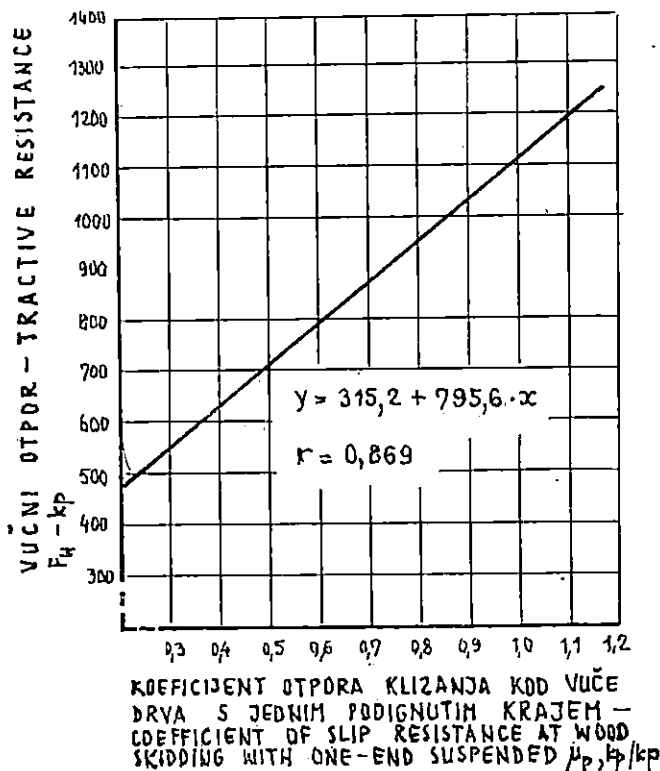


Sl. — Fig. 33. Ovisnost vučnog otpora o vučenom teretu — Relationship between tractive resistance and draw load

vladaju kod vuče različitih tereta, prema njihovim morfološkim osobinama, orijentaciji i dr. Količine tereta se kreću u granicama od 1,5 t do ca. 4,0 t, što je iznosilo oko 72 % adhezijske mase traktora (masa traktora koja sudjeluje u stvaranju adhezijskog opterećenja).

Vučna sila traktora koristi se za savladavanje horizontalne komponente vučnog otpora stvorenog na mjestu dodira vučenog tereta s tlom. Taj otpor je proporcionalan s normalnom komponentom opterećenja uzrokovanog drvom i koeficijentom otpora klizanja između tereta i tla.

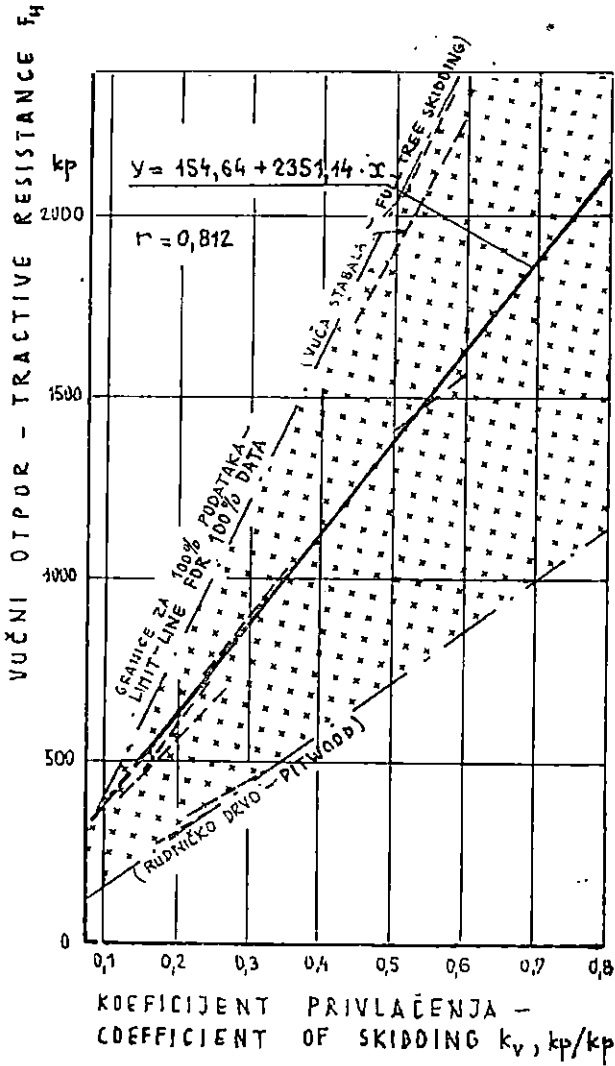
Istraživanja (sl. 34) su potvrdila da postoji vrlo jaka veza između proučavanih pokazatelja. U proučavanom slučaju vuče s porastom koeficijenta otpora nedvojbeno raste i horizontalna komponenta vučnog otpora, te kod sile od ca. 1 100 kp iznosi 1,0 kp/kp.



Sl. — Fig. 34. Ovisnost vučnog otpora o koeficijentu otpora — Relationship between tractive resistance and coefficient of resistance

Posebnu smo pažnju posvetili proučavanju zavisnosti vučne sile od koeficijenta privlačenja. Jednadžba pravca i koeficijenta korelacije prikazani su na slici 35. Regresijska analiza je pokazala da se za sortimente manjih dimenzija, kao što je rudničko drvo, nalaze pravci regresije ispod, a za vučena stabla iznad linijske veze uvrđene za sve podatke pokusa. Na dijagramu su ucrtane i granice za 100 % podataka.

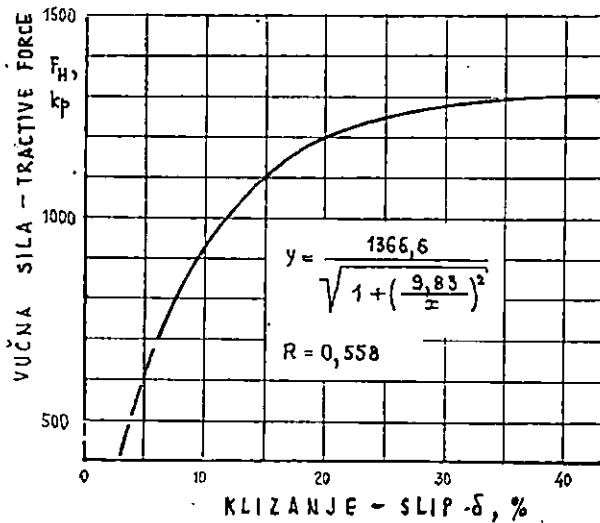
Rezultati osnovnih istraživanja su pokazali da postoji granična vučna sila koja se može ostvariti određenim traktorom u eksploatacijskim uvjetima, određenim sa stanjem podloge i voznog sustava. Na slici 36 prikazana je zavisnost veličine vučne sile od klizanja prigranskih kotača. Tzv. peti kotač za registriranje stvarno prevaljenog puta kod privlačenja



Sl. — Fig. 35. Ovisnost vučnog otpora o koeficijentu privlačenja — Relationship between tractive resistance and coefficient of skidding

drva veoma teško prati mikroneravnine stvorene uslijed klizanja traktora i vuče tereta. Dijelom smo ublažili navedeni problem, prebacivanjem mje-rača puta uz pokretni laboratorij, koji se kretao paralelno s traktorom, ali po tvrdom putu.

Već su priprema istraživanja pokazala, da koeficijent vuče predstavlja bitni pokazatelj vučnih karakteristika traktora. Jedan od načina mogućeg povećanja vučne sile je povećanje adhezijskog opterećenja traktora. Kod ispitivanih traktora sa zagonom na sve kotače, veličina vertikalne komponente tereta se u punom iznosu dodaje masi traktora, te zajedno tvore adhezijsko opterećenje traktora. Produkt koeficijenta vuče i adhezijskog opterećenja daje veličinu moguće vučne sile. Naravno, i drugi faktori utječu na navedene pojave, o čemu će se govoriti u daljim razmatranjima.



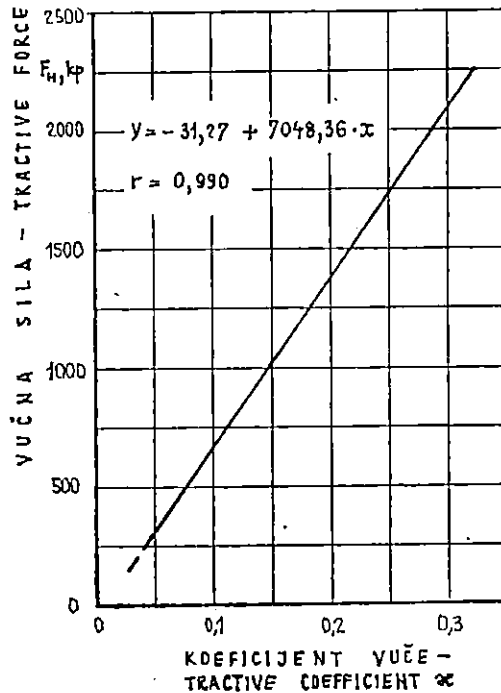
Sl. — Fig. 36. Ovisnost sile vuče o klizanju — Relationship between draw pull (tractive force) and slip

Treba naglasiti, da su maksimalni iznosi koeficijenta vuče za promatrani traktor tijekom pokusa privlačenja, relativno niski ($\alpha \sim 0,3$), sl. 37. Isti su ostvareni na граничном klizanju od oko 40 %. To ukazuje na potrebu daljeg proučavanja navedenih činilaca, posebno načina za povećanje faktora u cilju porasta vučne sile, npr. koeficijenta prijanjanja (adhezije); npr. sa korištenjem lanaca, dodatnim utezima i dr. Svi promjenljivi elementi mjereni su tijekom pokusa mjernim sustavom kojim su registrirane dinamičke promjene horizontalne i vertikalne komponente vučnog otpora.

Nakon određivanja signifikantnosti razlika (analizom varijance) aritmetičkih sredina vučne sile za rezultate pokusa, prišli smo utvrđivanju korelacijskih veza za pojedine grupe, u cilju utvrđivanja njihove ovisnosti

o brzini kretanja vozila. Utvrđena veza pokazuje, da se ne može utvrditi zakonitost o rastu ili padu vučenih otpora u promatranom dijapazonu brzina.

Mnogi autori iznose slične rezultate istraživanja vučnih otpora pri privlačenju drva. Najčešće koriste bezdimenzijske parametre — koeficijent otpora i privlačenja, kao pokazatelje uvjeta i karakteristika tereta, tla i traktora. Gotovo da nema radova koji bi opisivali zavisnost vučnog otpora od gubitka klizanja, koeficijenta vuče i brzine kretanja.



Sl. — Fig. 37. Ovisnost horizontalne komponente sile vuče o koeficijentu vuče — Relationship between horizontal component of tractive force and tractive coefficient

Calvert i Garlicki 1968 navode rezultate istraživanja faktora koji utječu na horizontalnu silu pri privlačenju drva s jednim podignutim krajem. Svi faktori, osim tipa tla, signifikantno su utjecali na veličinu vučnog otpora. Prema ovim autorima, temeljni utjecaj imaju masa tereta i njegova orijentacija tijekom privlačenja. Dok je masa označena kao značajan faktor, orijentacija je određena kao bitan parametar za uvjete istraživanja pod kojima su radili istraživači. Koeficijent privlačenja (k_v) se smatra korisnom i interesantnom veličinom. Na njegov iznos utječe tip tla, visina hvatanja tereta, orijentacija tereta i brzina kretanja. Na šljun-

čanom terenu autori su ustanovili niže vrijednosti koeficijenta privlačenja nego na pjeskovitom tlu. Za vuču 12 stabala smreke ustanovljena je maksimalna sila vuče od 720 kp. Koeficijent privlačenja se kretao od 0,32 do 0,39, dok su naše mjerene sile iznosile u osnovnom pokusu i do 3 puta veće od gore spomenutih. Maksimalni koeficijenti privlačenja utvrđeni tijekom pokusa iznosili su 0,8 kp/kp. Koeficijent otpora se izražava iz stvarnih mjerenja vertikalne i horizontalne komponente vučnog otpora. Autori su mišljenja, da se cjelokupna sila otpora ne može objasniti samo trenjem klizanja između tereta i tla, već se njezin iznos utvrđen u granicama od 0,66 do 0,85 kp/kp, tumači efektom »oranja« (»plowing«) i »guranja tla« (»gouging«) od strane vučenog tereta. Uzrok tome je nesavršenost oblika tereta, neokresane grane i dr. U našem slučaju vuče smrekovine i jelovine, maksimalno utvrđeni iznosi koeficijenta otpora iznosili su 1,2 kp/kp, dakle u određenom broju slučajeva sila vuče je iznosila i do 20 % više nego bi iznosio normalni pritisak na tlo. Treba naglasiti da navedeni iznosi nisu postignuti kod maksimalnih tereta od ca. 4,0 t. Tada je utvrđen koeficijent otpora od 1,0 kp/kp. Ovo potvrđuje rezultate Calverta i Garlickog (1968) da niz nemjerljivih činilaca utječe na bitno povećanje otpora tijekom privlačenja drva.

Horizontalni vučni otpor su proučavali i Pampel (1978), Steinlin i Zehntner (1953 A i B), Stajniak (1965), Arvesen (1970), Bennett (1962), Lünzmann (1954, 1964), Dahl (1973), X. de Mégille (1957) i dr.

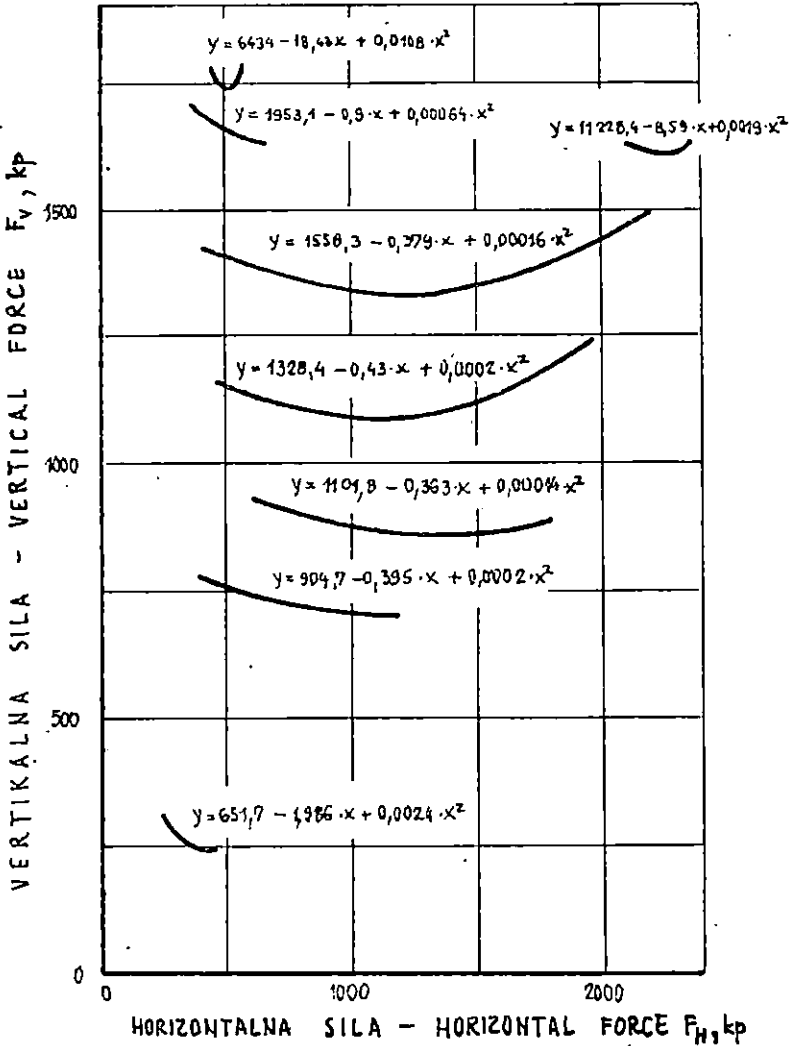
4.32.02 Vertikalna komponenta vučnog otpora — Vertical component of the tractive resistance

Nisu poznata istraživanja pri privlačenju drva, gdje bi se promatrala zavisnost vertikalne od horizontalne komponente vučnog otpora. Sličnim problemima se bave znanstvenici pri proučavanju vuče poljoprivrednih oruđa, koja se mogu s izvjesnom rezervom usporediti s našim rezultatima.. Naime, pri radu nekih poljoprivrednih oruđa, slično kao pri vuči drva, nastaju vertikalne sile, Brčić 1970, Pirić 1973. i dr.

Stvarnu ovisnost vertikalnih sila o horizontalnom otporu moglo se izvršiti tek nakon analize varijance vertikalne sile u cilju utvrđivanja signifikantnosti razlika njihovih aritmetičkih sredina. Sve to smo uradili za pojedine stupnjeve prijenosa. Na taj način smo dobili raspone vertikalnih opterećenja traktora uslijed oslanjanja tereta na stražnji most. Takve grupe koje pripadaju jednom statističkom skupu, izjednačili smo regresijskim krivuljama drugog stupnja, slika 38.

Svaka iduća krivulja, koja se nalazi iznad prethodne, označuje mogućnost za povećanje adhezijskog opterećenja traktora. U većini slučajeva je vidljiv blagi pad, a zatim trend porasta vertikalnog opterećenja u zavisnosti od porasta horizontalne sile.

Pri razmatranju treba imati u vidu da je vertikalna sila pri privlačenju drva posljedica kako statičkog opterećenja tereta na traktor tako i dinamičkog utjecaja vučenog otpora.



Sl. — Fig. 38. Ovisnost vertikalne komponente vučnog otpora o horizontalnoj komponenti — Relationship between horizontal and vertical component of tractive resistance

Osnovni uvjet za usporedbu rezultata je taj, da su istim traktorom vučeni različiti tereti, te istovremeno mjerene obje komponente vučnog otpora.

Objašnjenje toka krivulje treba tražiti u nemjerljivim činiteljima eksperimentalnog utvrđivanja sila, npr. u malim promjenama hvatišta sila uslijed istezanja užeta i dr.

Da bi upotpunili sliku o vertikalnom opterećenju koja se pojavljuju kao dodatno opterećenje traktora, razmotrili smo utjecaj brzine kretanja traktora na njegove promjene. I ovdje je potvrđena tvrdnja Calverta i Garlickog (1968), da se pri istraživanju privlačenja drva može govoriti samo o približnim rezultatima zbog niza nemjerljivih veličina, a koje bitno utječu na fizikalne pojave. I ovdje smo proveli postupak obrade podataka kao i u prethodnim slučajevima.

Čitava analiza pokazuje velike razlike zavisnosti vertikalne sile vučnog otpora od brzine kretanja, te se ne mogu donijeti generalni zaključci.

4.32.03. Rezultantna sila u vučnom užetu — Choker Line Force

Istodobno mjerenje dinamičkih promjena horizontalne i vertikalne komponente, omogućile su izračunavanje rezultantne sile u vučnom užetu. To je važna činjenica pri privlačenju drva, jer na adhezijsko opterećenje traktora uz veličinu vertikalne sile, bitno utječe i veličina, kut i udaljenost rezultantne sile otpora, ostvarene vučnom silom u užetu. Ovdje je bitno spomenuti da pod krakom sile podrazumijevamo udaljenost rezultante otpora od uporišnih točaka traktora, oslonih točaka kotača na tlo. Horizontalnu i vertikalnu udaljenost hvatišta rezultante kod našeg istraživanja zglobnih traktora držali smo približno konstantnom. Moguća su odstupanja tek uslijed istezanja užeta.

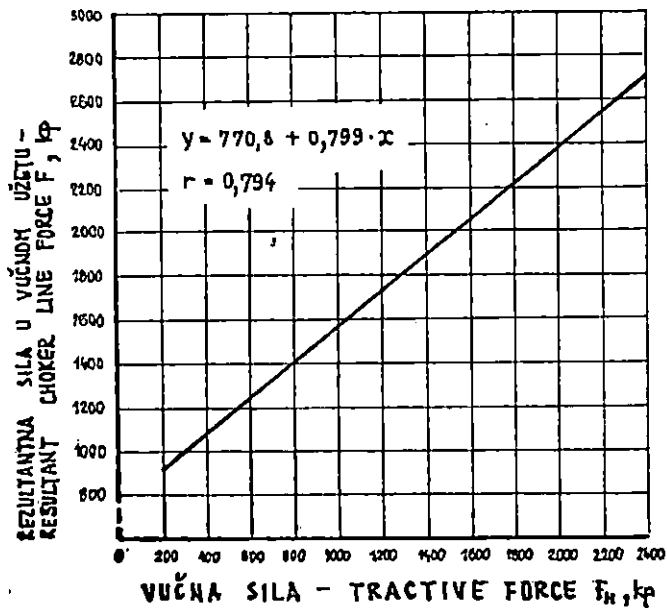
Rezultati su prikazani na sl. 39. Interesantno je visoko presjecište regresijskog pravca s osi y, na ca. 770 kp. To je posljedica utjecaja vertikalne sile u rezultanti.

Bennett (1962) navodi da je za vodoravnu komponentu vuče stabala potrebno ca. 60 %, a za vuču debala 49 % rezultantne sile u vučnom užetu. Između rezultantne vučne sile i veličine vučenog tereta, uspostavljena je jaka veza (v. sl. 40). Iz rezultata je vidljivo da kod uspostavljanja veze odrezak na osi y postaje zanemariv (ca. 78 kp).

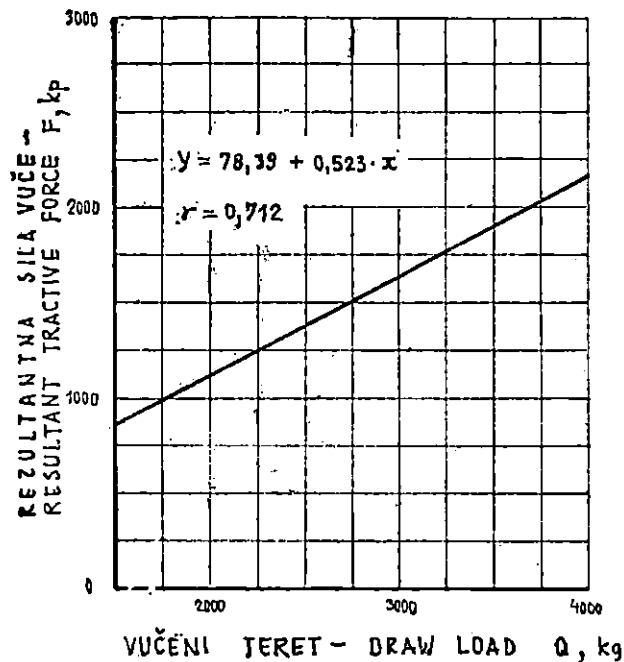
Trebalo bi svakako istražiti ponašanja parametra bruto koeficijenta privlačenja drva, definiranog kako slijedi:

$$k_v' = \frac{F}{Q} \text{ gdje je } F = \sqrt{F_H^2 + F_V^2}$$

Autori koji su istraživali privlačenje drva nisu uveli takav parametar, budući da je tek u nekoliko slučajeva mjerena i dinamička promjena vertikalnog iznosa otpora vuče. U našem slučaju se takav bruto koeficijent privlačenja kretao od 0,525 do 0,563 kp/kp.



Sl. — Fig. 39. Ovisnost rezultantne vučne sile o horizontalnoj komponenti vučnog otpora — Relationship between resultant tractive force and horizontal component of tractive resistance



Sl. — Fig. 40. Ovisnost rezultantne vučne sile o vučenom otporu — Relationship between resultant tractive force and drawing load

4.32.04. Koeficijent vuče — Tractive coefficient

Kod istraživanja traktora u eksploataciji šuma, rijetko susrećemo i proučavanje klizanja i koeficijenta vuče. Kako je iznijeto u »Cilju i problematici istraživanja«, klizanje se proučavalo tek pri utvrđivanju učinaka traktora, Bojanin et al. (1976), Sever i Bojanin (1976), i dr. No, nitko od istraživača koji su proučavali privlačenje određenim traktorom, nije obuhvatio razmatranje utjecaja vertikalne komponente vučne sile na formiranje adhezijskog opterećenja, i time omogućio praćenje specifične vučne sile, tzv. koeficijenta vuče, pokazatelja, koji nam utvrđuje koji se dio opterećenja zagonjskih kotača koristi kao korisna vučna sila.

Na slici 41 prikazani su rezultati regresijske analize zavisnosti koeficijenta vuče od klizanja. Nakon završenog testiranja rezultata mjerenja, stvorili smo niz grupa elemenata koji pripadaju jednom skupu te ih izjednačili regresijskim jednadžbama drugog reda. Kao što se to često radi u takvim prilikama, orijentacijski smo izjednačili i sve mjerene podatke. Vidi se da je uspon krivulje veoma strm, što je karakteristika tla slabe mogućnosti prihvaćanja sila sa kotača.

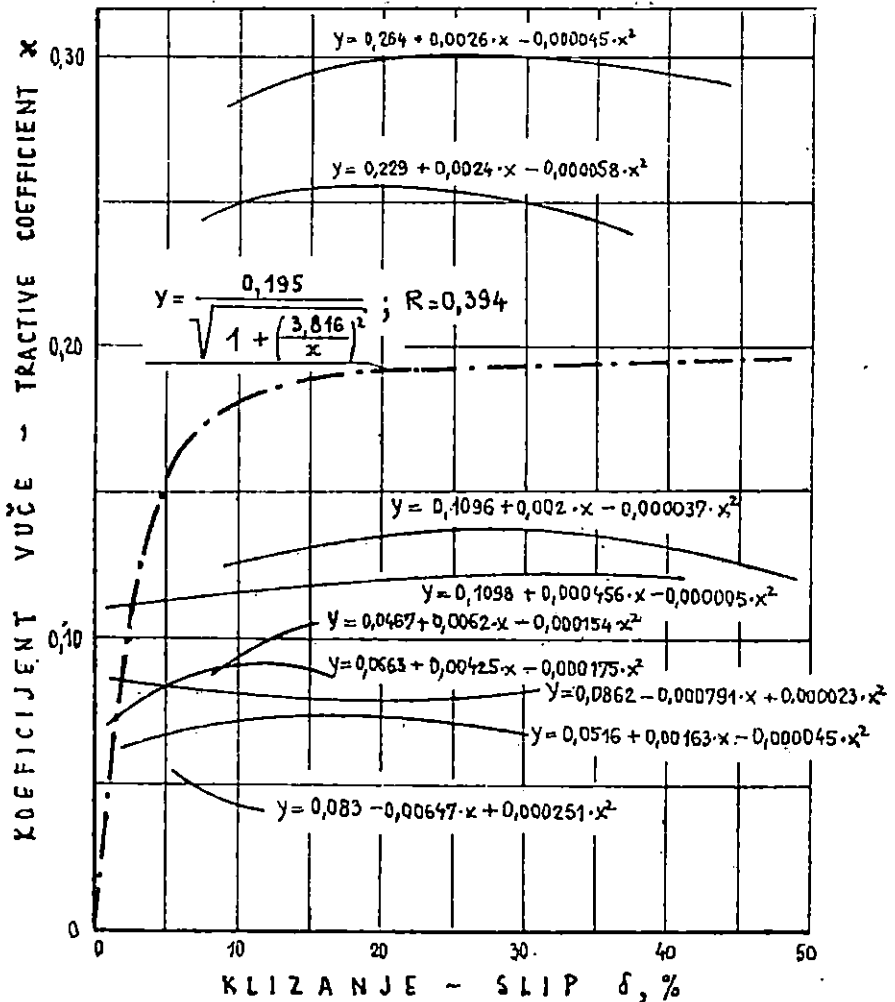
Vidi se da smo postigli maksimalne vrijednosti koeficijenta vuče od 0,3. Naglašavamo, da je i u ovom slučaju utvrđena veza između slabe i srednje. Razloge treba tražiti jedino u mjerenim elementima za određivanje stvarnog i teoretskog puta kotača traktora, a ne u veličinama sila. Da je to tako, potvrđuju potpune zavisnosti utvrđene između koeficijenta vuče i vučne sile, gdje je određena zavisnost istih energetskih veličina, ali bez gubitaka klizanja.

Kolobov i Parfenov (1972) bezdimenzijsku veličinu koeficijenta vuče nazivaju koeficijent iskorišćenja adhezijske težine. Zavisnost tog parametra od klizanja, može se prema mišljenju autora koristiti za ocjenu vučne karakteristike traktora.

Jednaku tvrdnju iznosi i niz drugih autora, Mininzon (1965), Coolman (1970), Križnar (1970 i 1980), Križnar et al. (1980) i mnogi drugi.

Za radove na eksploataciji šuma je važna činjenica, da u slučaju rada na raskvašenim tlima s porastom klizanja vučna sila i koeficijent vuče teže nekoj graničnoj vrijednosti. U tom slučaju rebra guma ne mogu prodrijeti do osnovnog nosivog sloja tla. Kada bi mogli koristiti gume s dovoljno visokim rebrima, koja bi prodrle do takvog nosivog sloja, s porastom klizanja bi i dalje rasla vučna sila.

Kolobov i Parfenov (1972) navode da veliko praktično značenje ima ostvarivanje prosječnih zavisnosti $\mu = f(\delta)$ za teoretske vučne karakteristike projektiranog traktora. Isti autori daju zbroj eksperimentalno određenih rezultata navedenih veličina. Navode da do rasipanja podataka dolazi zbog različitih uvjeta ispitivanja. Autori smatraju da za svaki tip tla i različitu vlažnost treba izvršiti ispitivanja navedenih parametara. Za traktore formule 4×4 s istim promjerom kotača, kakvi su šumski zglobni traktori, navodi se da postižu veće koeficijente vuče od traktora 4×4 , ali s različitim promjerima kotača, kakve adaptiramo za radove na privlačenju drva.



Sl. — Fig. 41. Ovisnost koeficijenta vuče o klizanju zagonskih kotača traktora — Relationship between tractive coefficient and slip of driving wheels of tractor

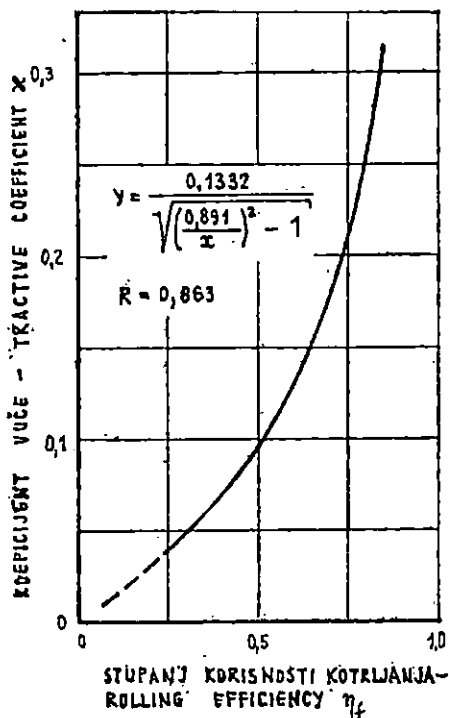
Parfenov (1968) daje rezultate istraživanja koeficijenta vuče za traktore 4×4 s istim promjerom kotača, kod postizavanja nominalne vučne sile uz klizanje 17 do 18 %, u iznosu od 0,4.

Mali koeficijent vuče ustanovljen kod šumskih zglobnih traktora, može se objasniti relativno velikom masom takvih traktora (60 do 80 kg/KS), te uvjetima i stanjem tla tijekom pokusa.

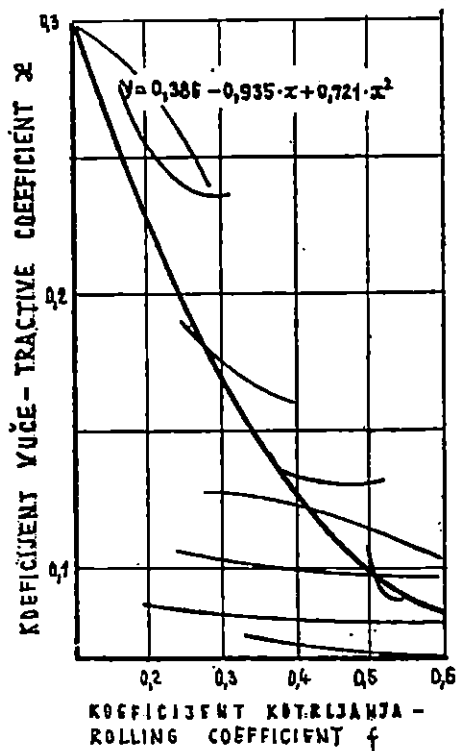
Da bi provjerili pretpostavke u vezi niskih korelacijskih indeksa pri utvrđivanju veza koeficijenta vuče i klizanja, podvrgnuli smo regresijskoj

analizi koeficijent vuče u ovisnosti o stupnju korisnosti koeficijenta kotrljanja. I ovdje je potvrđeno, da navedena korisnost poprima granične vrijednosti za $\eta_f \sim 0,9$. Uspostavljena korelacijska veza je vrlo jaka (v. sl. 42).

Postoje različiti putovi za određivanje koeficijenta kotrljanja f . Iz mjerenih energetske veličine izračunali smo za osnovni pokus navedeni parametar ($f = 1 - \eta_f$), te podvrgli regresijskoj analizi ovisnost koeficijenta vuče o koeficijentu kotrljanja.



Sl. — Fig. 42. Ovisnost koeficijenta vuče o stupnju korisnosti kotrljanja — Relationship between tractive coefficient and rolling efficiency



Sl. — Fig. 43. Ovisnost koeficijenta vuče o koeficijentu kotrljanja traktora — Relationship between tractive coefficient and tractor's rolling coefficient

Slika 43 pokazuje rezultat provedene analize. U intervalu vrijednosti koeficijenta kotrljanja od 0,1 do 0,6 izjednačili smo rezultate regresijskom jednadžbom drugog reda sve mjerene veličine. U svim slučajevima je konstatirani pad koeficijenta vuče s porastom koeficijenta kotrljanja. U dijagramu su ucrtane i krivulje obračunate za pojedine statističke uzorke utvrđene analizom varijance.

4.32.05. Iskorištenje horizontalne komponente vučnog otpora — Efficiency of horizontal component of tractive resistance

U cilju utvrđivanja utjecaja horizontalne komponente sile otpora na povećanje vertikalne sile, analiziran je odnos $\varepsilon = f(F_H)$, sl. 44.

Za najveće terete kod vučnih sila preko 1800 kp primjećuje se da rastom vučnog otpora pada iskorištenje horizontalne komponente vučnog otpora. Ovo ne bi trebalo smatrati generalnim zaključkom, već više posljedicom djelovanja niza drugih činitelja, koji nisu obuhvaćeni planom pokusa. Kod vučnih otpora od oko 1800 kp, iskorištenje horizontalne komponente vučnog otpora iznosi oko 0,5. Dakle, za najveće terete, oko 50 % njihove mase sudjeluje tijekom privlačenja kao vertikalna sila u stvaranju adhezijskog opterećenja. U slučaju manjih tereta s vučnim otporom od oko 500 kp, daleko je veći postotak iskorištenja horizontalne komponente vučnog otpora. U graničnim slučajevima je prešao vrijednost $\varepsilon = 4,5$.

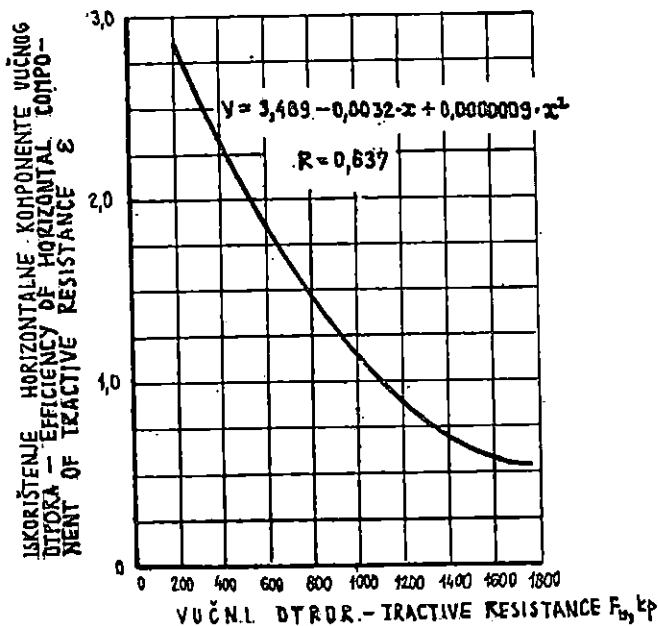
4.32.06. Kut nagiba vučnog užeta — Angle of inclination of choker line

Istodobnim mjerenjem obih komponenta vučnog otpora, mogle su se za cijeli tok pokusa odrediti promjene kuta nagiba vučnog užeta. Najinteresantnija je zavisnost nagiba vučnog otpora od horizontalne komponente sile vuče. Uz iznos i kut djelovanja resultantnog otpora bitno utječe na adhezijsko opterećenje traktora. Treći faktor, vertikalnu udaljenost i horizontalnu udaljenost resultantnog vučnog otpora, možemo smatrati konstantnim. Mnogi autori su naglasili značaj promjene kuta nagiba resultantne sile vuče, Calvert i Garlicki (1968), Bennett (1962), Samset (1979) i dr. Budući da resultantna vučna sila djeluje uvijek u smjeru vučnog užeta, katkada se naziva i »linijom djelovanja sila choke-ra«. Ovaj parametar je bitan za razmatranje raznih tehnoloških sustava vuče drva.

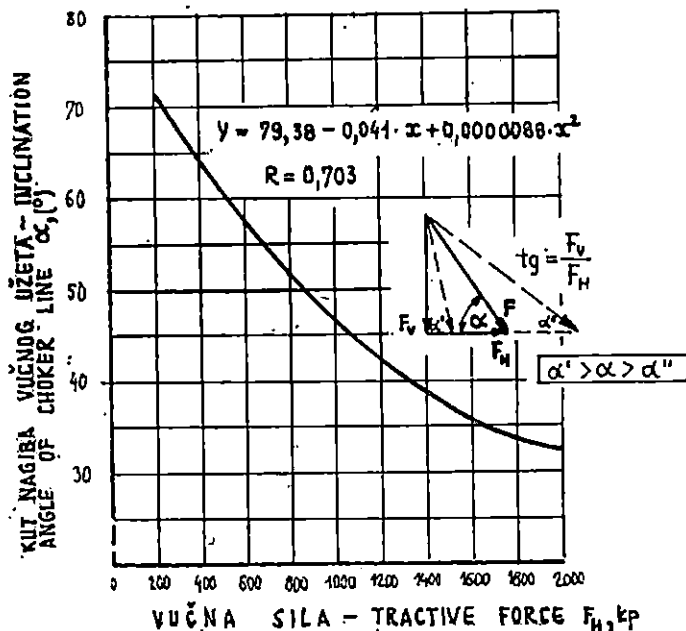
Na slici 45 prikazali smo zavisnost kuta nagiba ukupnog vučnog otpora od horizontalne komponente vučnog otpora. S porastom vodoravne sile vuče, kut nagiba resultantne vučne sile pada. Jaka veza nam potvrđuje, da je kod sile vuče od oko 2000 kp kut nagiba iznosio oko 30°, a kod malih vučnih sila od 400 do 600 kp, od 50 do 75°.

Istražujući veze između kuta nagiba vučnog užeta i resultantne vučne sile u užetu, analiza varijance je pokazala da prilikom regresijske analize moramo odvojeno promatrati nekoliko grupa mjernih veličina. Grupu A na slici 46 predstavljaju vučena stabla. To je grupa kod koje smo konstatairali bitno smanjenje kuta nagiba vučnog užeta. U grupi B su rezultati vuče debala i duge oblovine. U prvoj grupi se s porastom resultantne vučne sile može govoriti o malom padu kuta nagiba (veza je veoma slaba), a u drugoj o rastu kuta nagiba užeta s porastom vučne sile. U ovom slučaju se granične vrijednosti porasta postižu kod sila od oko 2 000 kp.

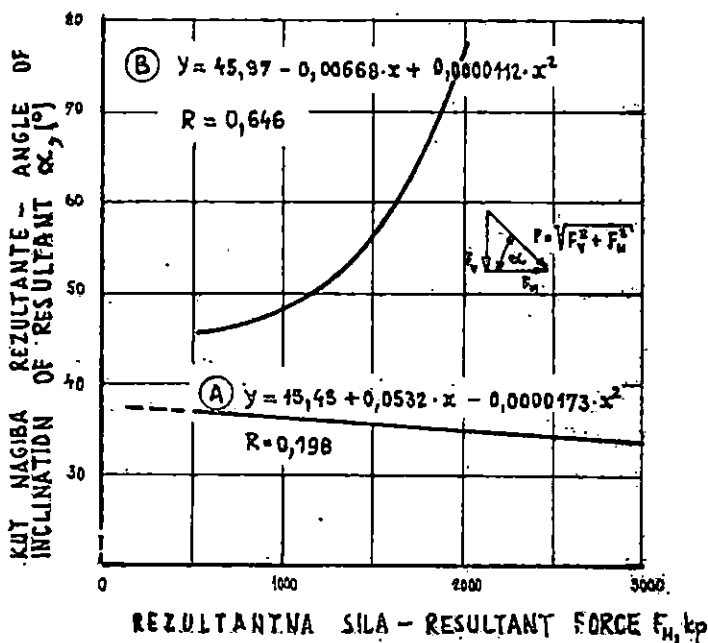
Posljednju analizu kuta nagiba vučnog užeta obavili smo za zavisnost od adhezijskog opterećenja traktora. Na slici 47 prikazani su rezultati utvrđenih zavisnosti. Primijenili smo jednadžbu pravca. Uspostavljena korelacijska veza je jaka, pa možemo tvrditi da s porastom adhezijskog



Sl. — Fig. 44. Ovisnost iskoristivosti horizontalne komponente vučnog otpora o vučnom otporu — Relationship between efficiency of horizontal component of tractive resistance and tractive resistance



Sl. — Fig. 45. Ovisnost kuta nagiba vučnog užeta o horizontalnoj komponenti vučnog otpora — Relationship between inclination angle of choker line and horizontal component of tractive resistance



Sl. — Fig. 46. Ovisnost kuta nagiba vučnog užeta o rezultantnoj sili vuče — Relationship between inclination angle of choker line and resultant tractive force

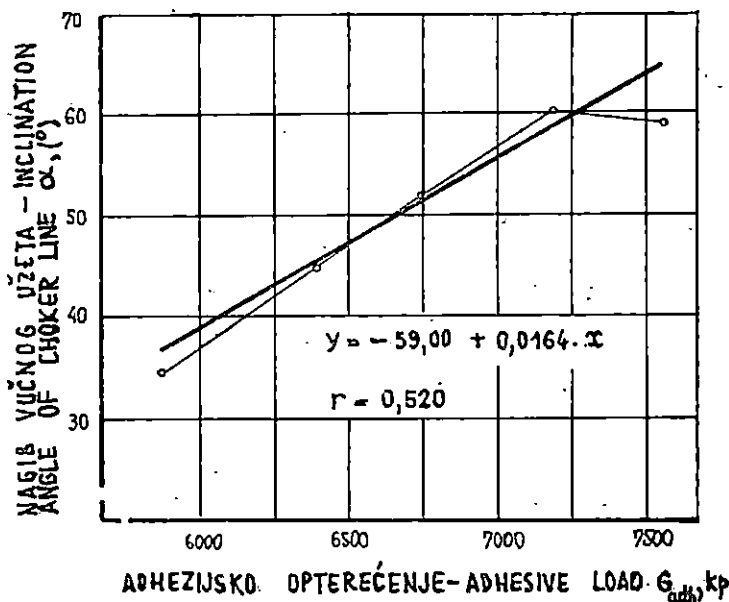
opterećenja raste i kut nagiba vučnog užeta. Ovaj zaključak je naizgled u suprotnosti s prethodnim, no treba imati na umu da u adhezijsko opterećenje u svom punom iznosu sudjeluje i opterećenje uzrokovano masom traktora, te da ono prevladava nad veličinom vertikalnog opterećenja uslijed vučenog tereta.

4.32.07. Opterećenje vučenog tereta na tlo — Load of skidding wood on ground

U cilju ispitivanja veličine koeficijenta otpora vuče drva s jednim podignutim krajem, izvršili smo korelacijsku analizu opterećenja vučenog tereta na tlo u zavisnosti od koeficijenta otpora. Rezultat potvrđuje tvrdnju mnogih istraživača — Bennett (1962), Arvesen (1970), Calvert (1968), Garlicki (1967) i dr., da velik broj nemjerljivih pokazatelja utječe na promatranu zavisnost.

Slika 48 pokazuje utvrđenu vezu promatranih veličina jednadžbom krivulje regresije te indeksom korelacije.

Smatramo da bitnu ulogu na iznos koeficijenta otpora ima veličina kontaktne površine, koja ne utječe na koeficijent trenja. To je već ranije navelo neke istraživače da govore o koeficijentu otpora pri privlačenju drva, a ne o koeficijentu trenja klizanja. Problem se samo spominje u



Sl. — Fig. 47. Ovisnost kuta nagiba vučnog užeta o adhezijskom opterećenju traktora — Relationship between inclination angle of choker line and adhesive load of tractor

radovima Calverta i Garlickog 1968. Navodi se da veličina dodirne površine koju opterećuje vučeni teret zavisi o orijentaciji vuče, visini kopčanja tereta, modulu elastičnosti drva (utječe na veličinu progiba tereta), a svakako moramo dodati i broj komada koji se istodobno vuče, te njihov položaj tijekom privlačenja.

Općenito možemo tvrditi da postoji slaba korelacijska veza vertikalnog opterećenja vučenog tereta na tlo i koeficijenta otpora. S porastom koeficijenta otpora pada opterećenje na tlo, što proizlazi i iz definicije koeficijenta otpora; isti je obrnuto proporcionalan s veličinom vertikalnog opterećenja na tlo. U pojedinim slučajevima utvrdili smo upravo obrnuti trend promatranih veličina, što potvrđuje prethodna razmatranja da kontaktna površina, kao promjenljivi faktor u stvarnim uvjetima vuče, uzrokuje pri vuči drva takve promjene potrebne vučne sile, da se pojavljuje obrnuti trend. U pojedinim slučajevima našeg pokusa, tek smo kvalitativno opisivali dodirnu površinu tereta i tla.

4.32.08. Koeficijent iskorištenja opterećenja tereta — Coefficient of efficiency of load loading

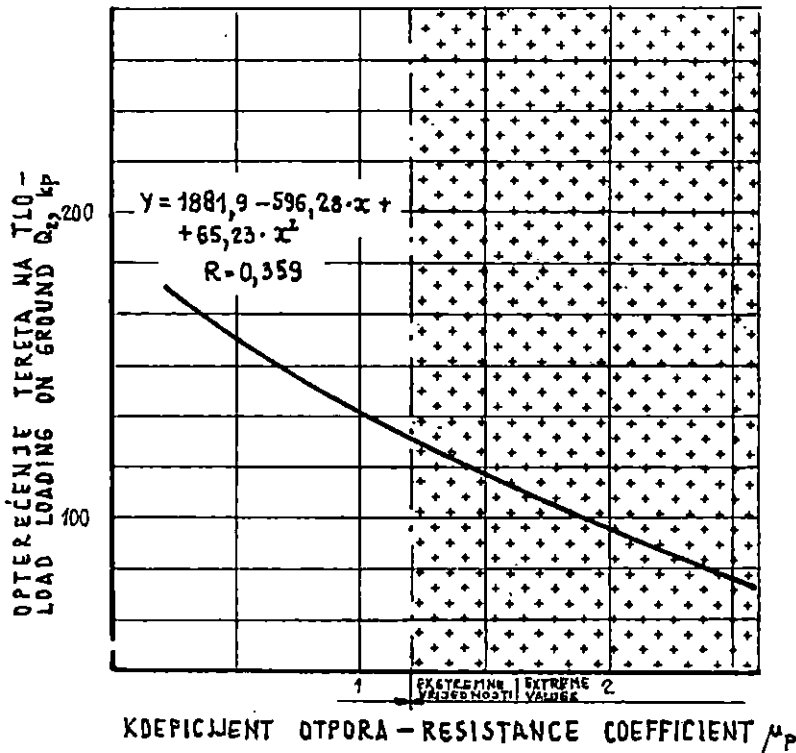
Kod vrste transporta poznatog kao »polunošeno«, gdje se dio tereta u obliku vertikalne komponentne sile oslanja na traktor, a preostali dio na tlo, kako je to bilo pri proučavanom tipu privlačenja, interesantan je po-

datak o iskorištenju opterećenja uzrokovanog teretom. I u ovom slučaju smo testirali sve rezultate mjerenja, te provedli regresijsku analizu. U gotovo svim slučajevima mogli smo konstatirati da s porastom vučne sile koeficijent iskorištenja težine tereta pada. To važi i za korelacijskom analizom utvrđenu vezu promatranih parametara, uzevši u obzir sve mjerne podatke. Jedino objašnjenje za to je da s povećanjem vučnog otpora raste i dio tereta koji se oslanja na tlo, a time smanjuje preneseni dio na traktor u obliku vertikalnog opterećenja F_V .

4.32.05. Vučna snaga — Traction power

U području realnih brzina pri privlačenju otpor gibanja vozila se relativno malo mijenja, te će povećanje brzine kretanja uzrokovati mali porast sile potrebne za savladavanje otpora. Zbog toga treba očekivati da porast snage kod promijenjene brzine relativno malo raste zbog povećanja sile, ali će bitno više rasti zbog utjecaja porasta brzine.

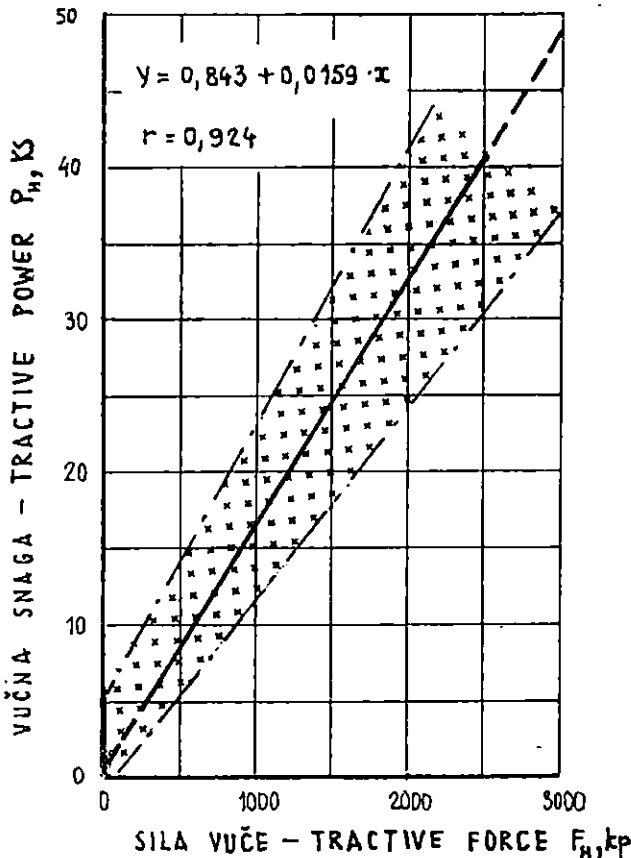
U gotovo svim definiranim skupovima, s porastom sile na obodu kotača rasla je i vučna snaga. Granične vrijednosti obodne sile za promatrani



Sl. — Fig. 48. Ovisnost vertikalnog opterećenja tereta na tlo o koeficijentu otpora — Relationship between vertical loading on ground and resistance coefficient

traktor iznose oko 2 200 kp. Obodna sila je određivana iz zakretnih momenata mjerenih na svim kotačima i polumjera kotača ($F_o = M_o/r_d$). Objašnjenje za lagani pad veze je prema Beckeru (1956), u eventualnom porastu koeficijenta otpora gibanja, a time i veličine sile potrebne za savladavanje otpora kotrljanja, sa čime je ista brže rasla od utjecaja brzine privlačenja.

Kod istraživanja vučnih karakteristika traktora ispituje se zavisnost vučne snage od vučne sile. Ostvarena snaga bitno ovisi o snazi pogonskog motora i adhezije između voznog sustava i tla. Dakle, tu snagu možemo definirati kao stvarnu brzinu djelovanja vučne sile. Parametar vučne snage spada u važnije pokazatelje traktora, jer predstavlja korisnu snagu koja se može realizirati prilikom obavljanja korisnog rada. Ona je ograničena pogonskom snagom motora i adhezijom voznog sustava. Slika 49 pokazuje jače rasipanje mjernih podataka kod većih vučnih sila (vuča stabala). Korelacijska veza utvrđena za sve mjerne podatke je potpuna. Budući da



Sl. — Fig. 49. Ovisnost vučne snage o sili vuče — Relationship between tractive power and tractive force

rezultati istraživanja za eksploatacijske uvjete pri privlačenju drva nisu poznati, možemo konstatirati da je utjecaj faktora koji djeluju na kolebanja mjernih veličina na području eksploatacije šuma, bitno veći od onih u poljoprivredi.

Zavisnost vučne snage od vertikalne komponente vučnog otpora, pokazala je, da se sa sitnim sortimentima može malo utjecati na porast vertikalne komponente sile; a time i na adhezijsko opterećenje i vučnu snagu. Tek pri vuči većih tereta dolazi do porasta ostvarene vučne snage, vjerojatno s povećanjem adhezijskog opterećenja, a time i moguće vučne sile.

Za uvjete našeg pokusa i primijenjenog traktora, mogla se ustanoviti granična vrijednost vertikalnog opterećenja od 1 270 kp, iako je utvrđena veza veoma slaba. Dio zavisnosti do oko 1 000 kp, pokazuje gotovo proporcijski porast vučne snage s porastom vertikalnog opterećenja.

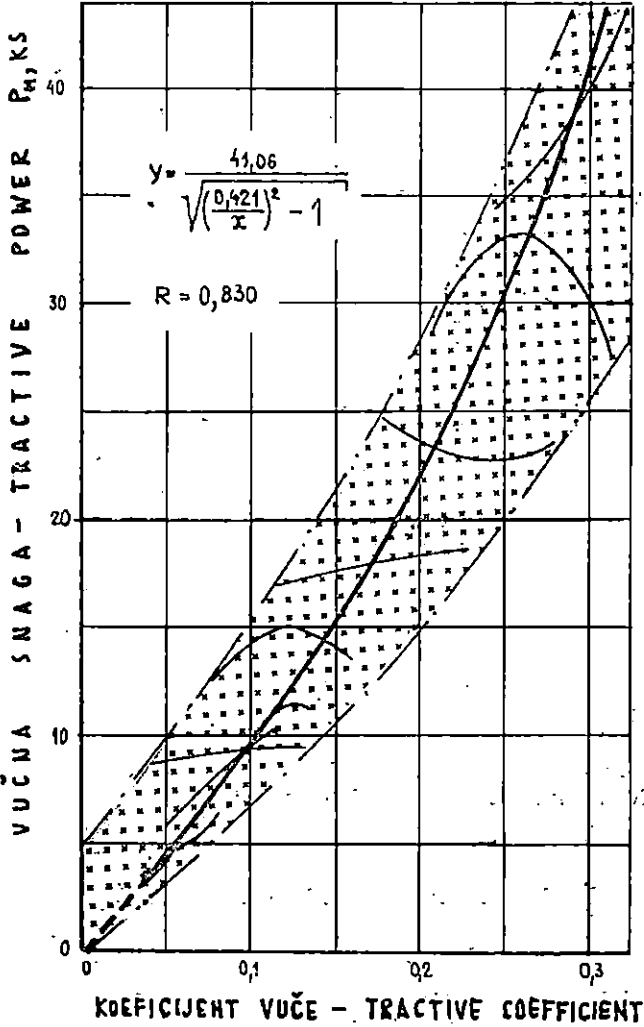
S porastom koeficijenta vuče ustanovili smo i porast vučne snage. Vrlo jaka veza analiziranih parametara, kako se vidi iz slike 50, potvrđuje da je u promatranom rasponu brzina, stohastička veza izražena krivolinijskom jednadžbom strma, te je i ovisnost vučne snage o koeficijentu vuče izrazita. U slučaju manjih tereta, za vrijednost koeficijenta vuče do 0,1, utvrđene zavisnosti se gotovo poklapaju s regresijskom krivuljom. Poslije toga, s većim vučenim teretom, te znatnijim brojem utjecajnih nemjerljivih pokazatelja, pojavljuje se veće rasipanje elemenata, da bi ipak pri razmatranju svih pokusa vuče zajedno utvrdili usku vezu.

Dalje proučavanje vučne snage bilo je usmjereno na utvrđivanje njezine zavisnosti od brzine kretanja traktora. Raspon brzina se kretao od ca. 2 do 7 km/h, što odgovara brzinama koje su ustanovljene u nizu znanstvenih istraživanja pri proučavanju rada zglobnih traktora. U gotovo svim slučajevima ustanovljen je s porastom brzine i porast snage vuče.

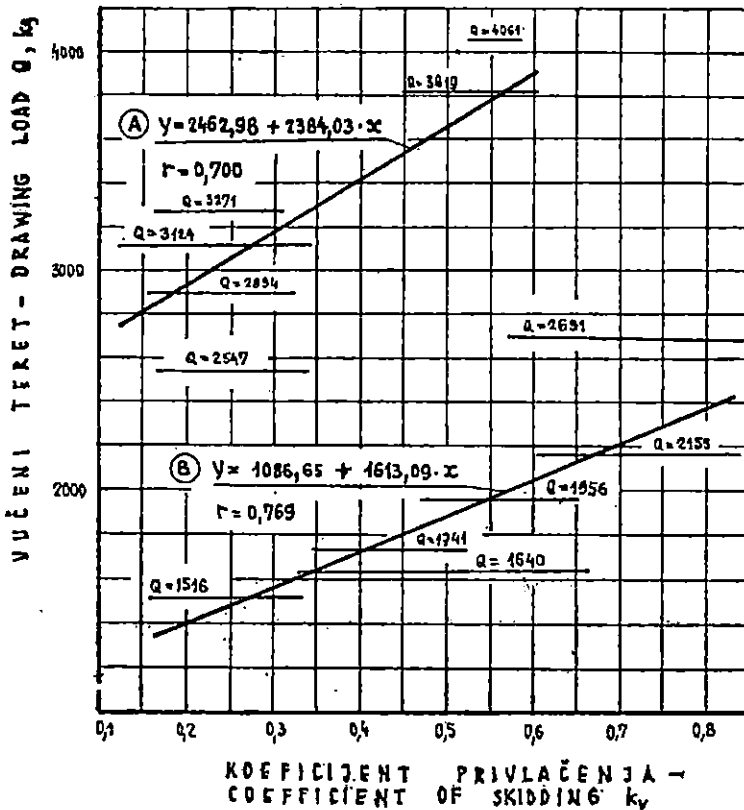
4.32.10. Masa vučenog tereta — Mass of traction load

Istraživanja veličine mase vučenog tereta usmjerili smo na utvrđivanje eventualnih veza s koeficijentom privlačenja i koeficijentom otpora. I u ovom slučaju smo sve uzorke utvrđene i provjerene analizom varijance izjednačili pravcima regresije tipa $Q = A$, gdje je A relativni broj — masa tereta utvrđena vaganjem. Dalju analizu smo usmjerili na ispitivanje i utvrđivanje eventualnih veza promatranih činilaca za stabla, debla i dugu oblovinu. Određene stohastičke veze prikazane su na slici 51. Za obje spomenute grupe utvrdili smo usku vezu, te možemo govoriti da s porastom koeficijenta privlačenja raste i veličina vučenog tereta. Koeficijent smjera pravca regresije za vučena stabla poprma veće vrijednosti nego u slučaju vuče debala, te je taj pravac strmiji, a veza izrazitija. Obrazloženje treba tražiti u različitim intenzitetima rasta horizontalne sile vuče za dva promatrana slučaja.

Na identičan način je proučena veza mase vučenog tereta i koeficijenta otpora. I u ovom slučaju možemo govoriti o izrazitoj zavisnosti mase i koeficijenta otpora (sl. 52).



Sl. — Fig. 50. Ovisnost vučne snage o koeficijentu vuče — Relationship between tractive power and tractive coefficient



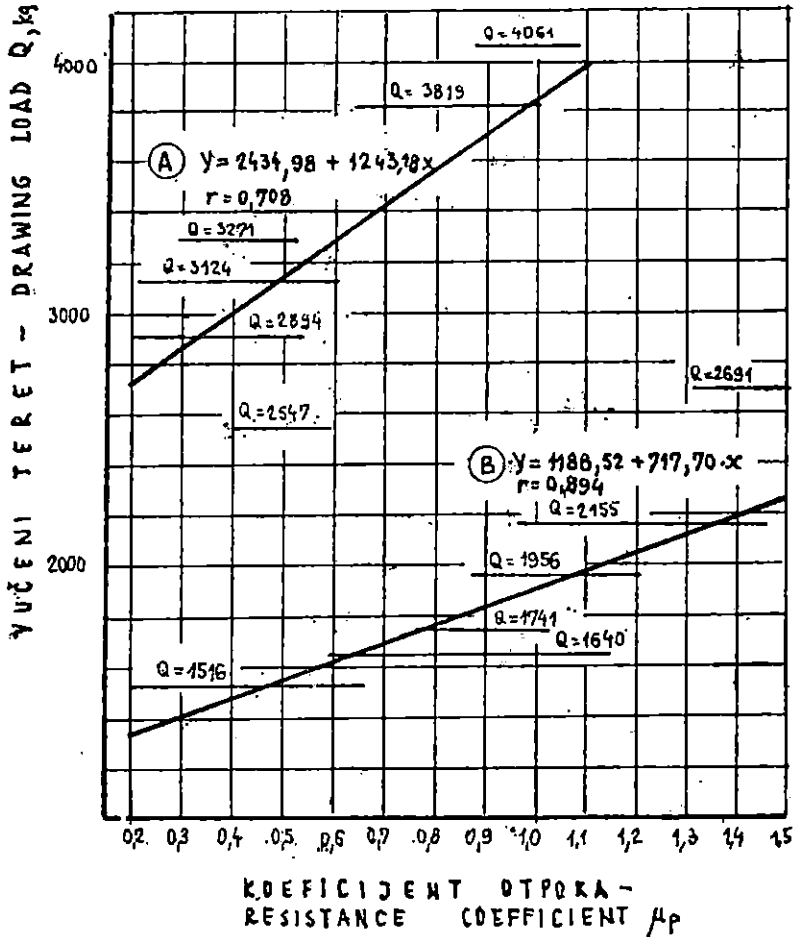
Sl. — Fig. 51. Ovisnost mase tereta o koeficijentu privlačenja — Relationship between load mass and coefficient of skidding

4.32.11. Obodna (tangencijalna) sila — Peripheral (tangential) force

Cilj korelacijske analize bio je da se utvrdi granična veličina obodne sile ostvarene na kotaču traktora. Stohastička veza promatranih parametara prikazana je krivolinijskom regresijskom jednačbom (sl. 53). Pokazala se jaka korelacijska veza. Do klizanja od ca. 10 % raste obodna sila gotovo proporcionalno s klizanjem, a dalje se približava graničnoj vrijednosti od oko 1 900 kp. I ovdje važe razmatranja o točnosti mjerenja veličine klizanja u specifičnim uvjetima privlačenja drva te značaju navedenog parametra pri utvrđivanju učinka traktora tijekom radova na privlačenju drva.

4.32.12. Snaga na obodu kotača — Power on wheel periphery

Pri radu traktorom na vodoravnoj podlozi, snaga dovedena na obod kotača jednaka je zbroju snage za savladavanje otpora kotrljanja i ostva-

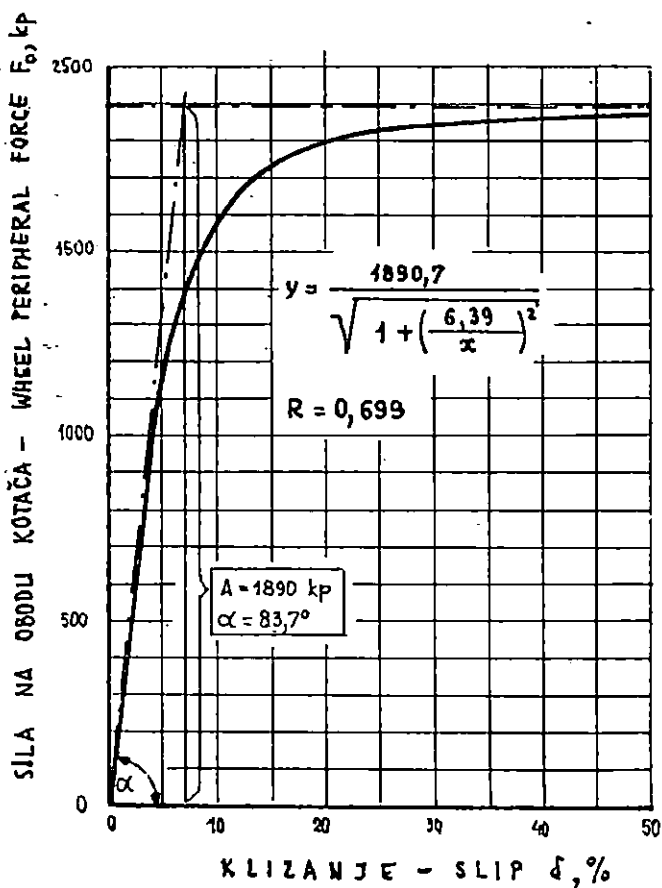


Sl. — Fig. 52. Ovisnost mase tereta o koeficijentu otpora — Relationship between load mass and resistance coefficient

rene snage za vuču, $P_o = P_H + P_f$. Ta snaga je proporcionalna s ostvarenom obodnom silom, ali i brzinom njezinog djelovanja. U pojedinim slučajevima, zbog klizanja, koje dovodi do smanjenja stvarne brzine, došli smo do graničnih vrijednosti. Cilj ove analize nije bio da se utvrde vučne karakteristike traktora, jer to spada u rutinske radove prilikom postupka atestiranja, već da se utvrdi ponašanje promatranih veličina tijekom tehnološkog procesa privlačenja.

4.32.13. Adhezijsko opterećenje traktora — Tractor adhesiv load

Utjecaj vertikalnog opterećenja na ostvarenje veće moguće vučne sile, računski je obradio Lünzmann 1968. Razmatrao je 3 načina vuče drva; vuča po tlu, drvo oslonjeno na pomoćna kolica i drvo oslonjeno na traktor. Oslonimo li drva na traktor, dio njegova tereta povećava adhezij-



Sl. — Fig. 53. Ovisnost obodne sile kotača o klizanju — Relationship between peripheral force of wheel and slip

sko opterećenje, pa se granica polovičnog tereta od vlastite mase povećava za 20 %, a teret jednak masi traktora može se vući na usponu od 14 %. Iz ovog računskog primjera, vidljiv je pri formiranju stvarnog adhezijskog opterećenja, utjecaj vertikalnih sila uslijed oslanjanja tereta na traktor.

Svi naši pokusi odvijali su se s teretom ovješanim na traktor. Adhezijsko opterećenje traktora određeno je na osnovu statičkog mjerenja mase traktora i dinamičkog mjerenja vertikalnog opterećenja tereta. U radovima pri privlačenju drva, statički ustanovljena ravnoteža opterećenja mostova se narušava. Stražnji se most, kako je to pokazano u »Problematici i cilju istraživanja«, dodatno opterećuje punim iznosom vertikalnih sila koje djeluju na traktor preko vučnog užeta vitla, kao i prijenosom dijela opterećenja s prednjeg mosta uslijed djelovanja momenta vertikalnih i horizontalnih komponenti rezultantne vučne sile.

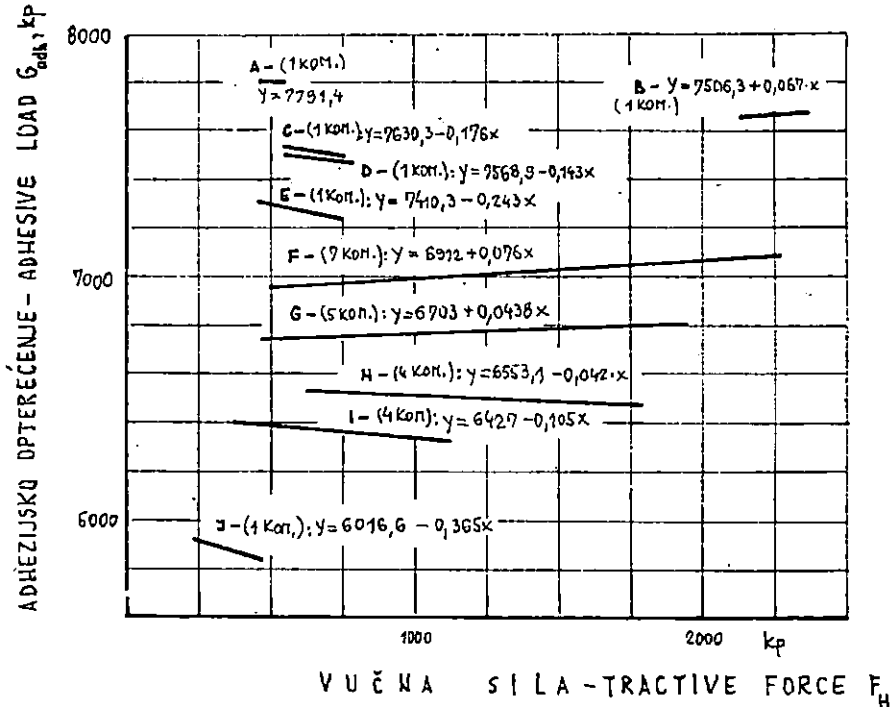
Di bi smo utvrdili postoji li zavisnost adhezijskog opterećenja od horizontalne komponente vučne sile, nakon utvrđivanja statističkih uzoraka, proveli smo regresijsku analizu. Stohastičku smo vezu uspostavili pomoću pravolinijske korelacije, da bi smo vidjeli postoji li trend rasta ili pada adhezijskog opterećenja uslijed porasta vučne sile. Otprilike u polovini slučajeva utvrdili smo neznatan porast, a u drugoj polovini pad adhezijskog opterećenja s porastom vučne sile. Izuzmemo li pojedinačne terete u grupama A, B, C, D i E (v. slika 54), može se vidjeti da pri vući većih tereta u slučajevima F i G, postoji blagi trend rasta adhezijskog opterećenja s porastom vučne sile, a u slučajevima H i I, kada smo vukli manje terete koje i nije racionalno privlačiti, blagi pad. Specifična težina traktora bez ovješeno tereta od 74 kp/KS, u krajnjem je slučaju povećana tijekom eksploatacije na ca. 103 kp/KS, što znači da je povećano opterećenje zagonjskih kotača za ca. 28 %. Ovog časa ne razmatramo problem uzdužne stabilnosti traktora. Iz navedenog razmatranja možemo zaključiti da je u promatranom slučaju bio veći utjecaj vertikalnih sila u formiranju veličine adhezijskog opterećenja. Nisu poznata slična istraživanja za radove na privlačenju drva.

Parfenov (1968) smatra da je uz snagu pogonskog motora, adhezija traktora s tlom drugi bitni limitirajući faktor vučne snage.

4.32.14. Omjer dinamičkog opterećenja stražnjeg i prednjeg mosta traktora — Dynamic front and rear axle loading ratio

U statičkom rasporedu opterećenja mostova istraživanog traktora na prednji je otpadalo 66,7 %, a na stražnji 33,3 % opterećenja. Uslijed djelovanja sile vuče tijekom privlačenja, dolazi do dodatnog opterećenja traktora, ali i do preraspodjele opterećenja s prednjeg na stražnji most, kako je to objašnjeno u »Problematici i cilju istraživanja«. Omjer opterećenja stražnjeg i prednjeg mosta spremnog za privlačenje iznosi ca. 0,5. Cilj istraživanja u ovom dijelu radnje je bio da se utvrdi navedeni omjer tijekom privlačenja u zavisnosti od dviju komponenti rezultantne vučne sile.

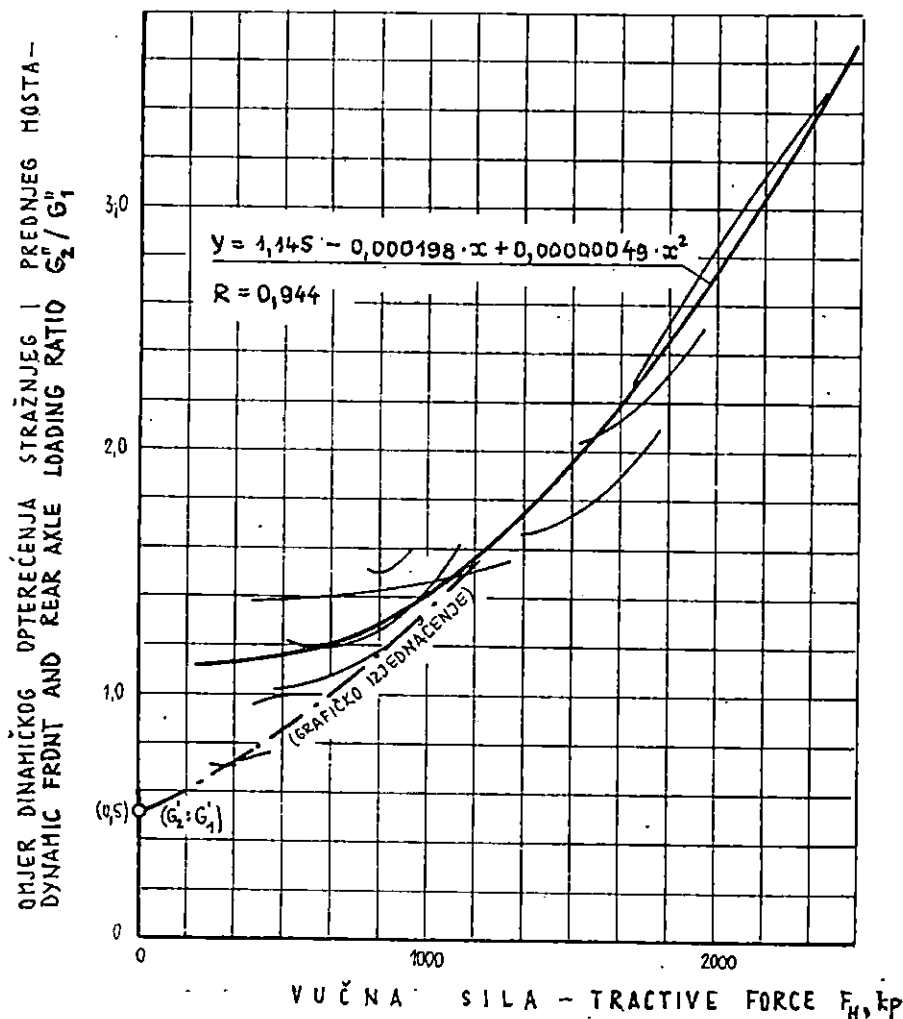
I ovom prilikom smo odredili statističke skupove, a potom proveli regresijsku analizu. Funkcijska veza u svim slučajevima je pokazala, da



Sl. — Fig. 54. Ovisnost adhezijskog opterećenja traktora o sili vuče — Relationship between adhesive load of tractor and tractive force

s porastom vučne sile raste i omjer dinamičkog opterećenja stražnjeg i prednjeg mosta traktora. Veličina korelacijskog indeksa potvrđuje da postoji potpuna veza navedenih parametara (K u m p i sur., 1970). Analiza vuče manjih tereta, s potrebnom vodoravnom komponentom sile vuče do oko 1 000 kp, pokazuje nešto veće rasipanje elemenata nego u slučaju vuče većih tereta. Već kod horizontalne vučne sile od oko 1 500 kp u eksploatacijskim uvjetima, stražnja osovina postaje dvostruko opterećenija od prednje. Kod najvećih tereta je navedeni omjer dosegao vrijednost od 3,5, kada dolazi u pitanje uzdužna stabilnost traktora. Sve to znači bitno veće opterećenje stražnjeg mosta, kao i bitno veću mogućnost ostvarenja prijenosa vuče preko istog. Veći broj sličnih istraživanja morao bi dati odgovor o realnoj potrebi stalnog pogona preko svih kotača traktora. Trebalo bi vjerojatno mijenjati koncepciju navedene kategorije, odlučivši se za alternativni prednji zagon. Na dijagramima slike 55 dani su parametri regresijske jednadžbe i indeks korelacije za sve elemente. Grafičkim izjednačenjem samo minimalnih tereta, te ustanovljenjem presjecišta s osi y, dolazimo do točke omjera statičkog opterećenja mostova traktora (ca. 0,5).

Da bi utvrdili stohastičku vezu između omjera dinamičkog opterećenja stražnjeg i prednjeg mosta traktora tijekom privlačenja i vertikalne



Sl. — Fig. 55. Ovisnost omjera dinamičkog opterećenja stražnjeg i prednjeg mosta traktora o vučnoj sili — Relationship between dynamic front and rear axle loading ratio of tractor and tractive force

komponente vučne sile, podvrgnuli smo elemente navedenih parametara regresijskoj analizi. Za sve utvrđene skupove smo ustanovili da porastom vertikalne sile raste i omjer opterećenja mostova. Intenzivniji rast (strmija regresijska krivulja) utvrđen je za vuču stabla, gdje je bitno veći statički dio vertikalne sile. Iako nešto manje od horizontalne sile, i vertikalna sila bitno utječe kod zglobnih traktora na preraspodjelu opterećenja s prednjeg mosta na stražnji most. Razlog nešto manjeg utjecaja treba tražiti

u manjem kraku hvatišta vertikalne sile od kraka vodoravne komponente vučne sile. U našem slučaju je omjer krakova horizontalne i vertikalne sile iznosio oko 3,9. Razmotrimo li razloge tako velikoj razlici, vidjet ćemo da se ovdje radi o suprotnim zahtjevima; s jedne strane želimo podići teret što više i time smanjiti kontaktnu površinu s tlom, s druge pak prihvatiti ga što bliže tlu, kako bi krak bio manji, čime se na neki način približavamo vuči po tlu. Što se tiče kraka vertikalne sile, ograničavajući faktor je jedino konstrukcijske prirode. Teret nastojimo prihvatiti što bliže simetrali stražnjeg mosta.

Mnogi autori navode da navedeni koeficijent utječe na uzdužnu stabilnost, manevarsku sposobnost, klizanje zagonskih kotača, nosivost guma i dr.

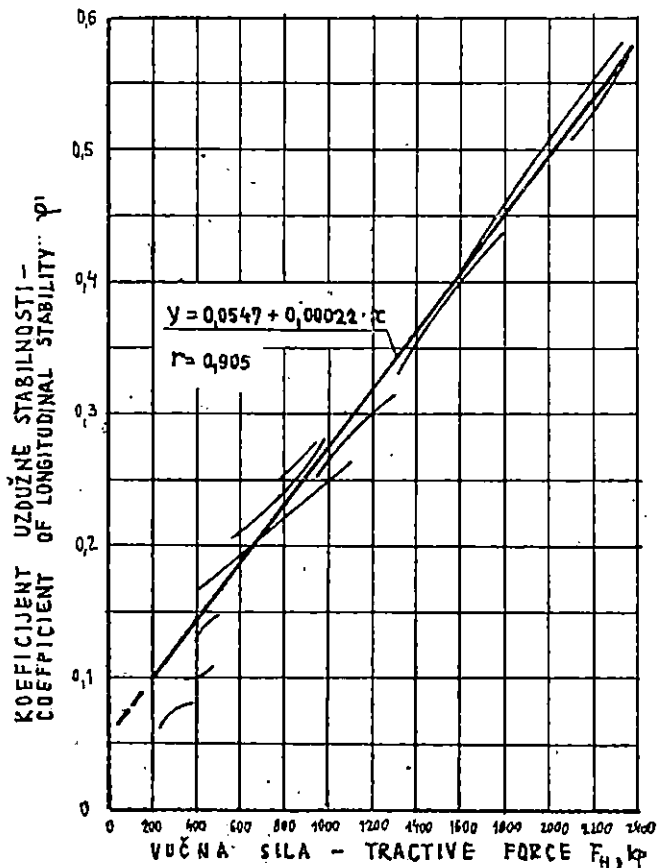
Popov i Anđelković (1980 B) navode za zglobne traktore jednakih polumjera kotača za koje je $0,9 < \lambda_r \leq 1,0$ ($\lambda_r = r_{\text{pred.}}/r_{\text{str.}}$), odgovarajući dinamički koeficijent raspodjele eksploatacijske težine traktora, kako slijedi: $0,85 < \lambda_d \leq 1,0$, gdje je λ_d omjer dinamičkog opterećenja prednjeg i stražnjeg mosta. Vidimo da se uvjeti rada poljoprivrednih traktora bitno razlikuju od onih u šumarstvu, što treba imati uvijek na umu kada koristimo takve traktore kao osnovne agregate koje adaptiramo za radove na privlačenju drva. Posebno se moramo složiti s tvrdnjom autora, da prije svakog novog agregatiranja treba prekontrolirati odgovarajuću statičku raspodjelu eksploatacijskog opterećenja prednjeg i stražnjeg mosta. U šumarstvu moramo dodati da treba kontrolirati dinamička opterećenja mostova, jer jedino ona pokazuju stvarnu situaciju tijekom privlačenja.

4.32.15. Koeficijent uzdužne stabilnosti — Coefficient of longitudinal stability

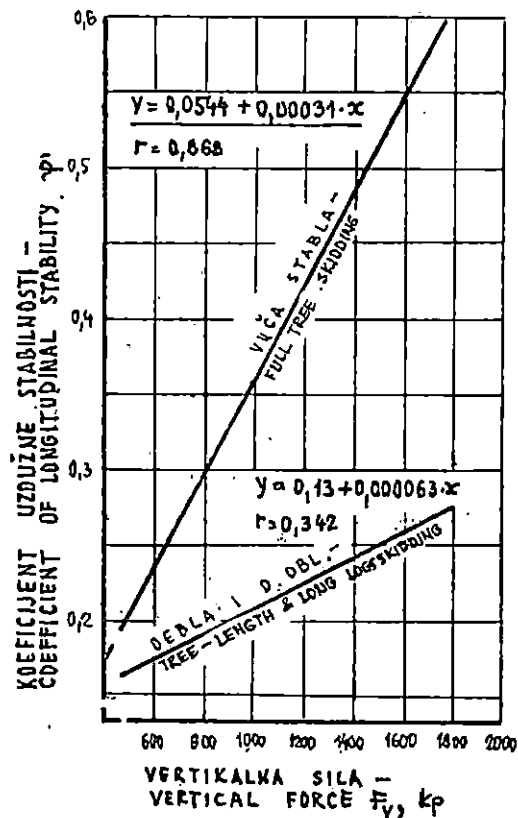
Kao što je već naglašeno, tijekom privlačenja dolazi do prenošenja opterećenja s prednjeg na stražnji most traktora. Uslijed tog prenošenja dolazi do rasterećenja prednjeg mosta traktora, a time i do narušavanja uzdužne stabilnosti. Koeficijentom uzdužne stabilnosti izrazili smo omjer prenesenog tereta i statičkog opterećenja prednjeg mosta.

Regresijskom analizom izjednačeni su svi statistički uzorci određeni analizom varijance, te svi podaci zajedno. S porastom horizontalne komponente vučne sile raste i koeficijent uzdužne stabilnosti; korelacijska veza je potpuna. Vidi se da se kod maksimalnih vučnih sila, preko 55 % statičkog tereta prednjeg mosta prenese na stražnje kotače. Na slici 56 prikazani su dijagrami utvrđenih korelacijskih veza za pojedine statističke uzorke, te za sve zajedno.

I za slučaj vertikalnih sila utvrđenih prilikom vuče stabla regresijskom smo analizom konstatairali vrlo jaku vezu s koeficijentom uzdužne stabilnosti (sl. 57). Pri vuči debala s porastom vertikalne sile utvrdili smo rast koeficijenta uzdužne stabilnosti, ali koeficijent smjera jednadžbe pravca poprima manje vrijednosti no u prethodnom slučaju; veza je manje izrazitija. Veće rasipanje mjernih vrijednosti uzrokovalo je utvrđivanje slabe veze proučavanih pokazatelja.



Sl. — Fig. 56. Ovisnost koeficijenta uzdužne stabilnosti o vučnoj sili — Relationship between coefficient of longitudinal stability and tractive force



Sl. — Fig. 57. Ovisnost koeficijenta uzdužne stabilnosti o vertikalnoj sili — Relationship between coefficient of longitudinal stability and vertical force

Slijedeću informaciju o rasterećenju prednje osovine i poremećaju uzdužne stabilnosti nastojali smo dobiti utvrđivanjem korelacijske zavisnosti koeficijenta ($1 - \varphi'$) te horizontalne i vertikalne komponente vučne sile. Ova analiza je trebala potvrditi već prije utvrđene činjenice o zavisnosti koeficijenta uzdužne stabilnosti i komponentata vučne sile.

Ovakva istraživanja bila bi od posebnog značenja za traktore formule 4 x 2 koje često koristimo u fazi privlačenja drva, jer kod njih osim što dolazi do promjene uzdužne stabilnosti, s rasterećenjem prednje osovine postaje otežano upravljanje traktorom.

4.32.16. Klizanje — Slip

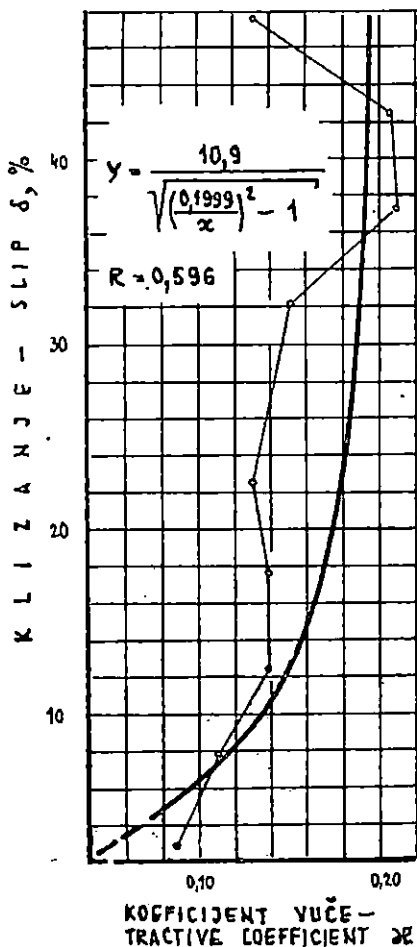
Kao što je navedeno u »Cilju i problematici istraživanja«, krivulja funkcije $\delta = f(F_H)$ i sličnih parametara vuče, ima linearni tok, a zatim se asimptotski približava vrijednosti koja odgovara maksimalnoj vučnoj sili. Teoretski je to kod 100 %-tnog klizanja, a u stvari pri nekom nižem postotku klizanja, ovisno o vrsti i stanju tla i karakteristikama voznog sustava. U biti su za suho i vlažno tlo zakonitosti iste, samo će na vlažnom tlu biti manje ostvarene sile.

Regresijska analiza klizanja i vertikalnog opterećenja traktora uslijed veličine vučenog tereta izvršena je odvojeno za uzorke utvrđene testiranjem, ali i za sve vrijednosti zajedno. U pojedinim slučajevima možemo govoriti o padu klizanja s porastom vertikalnog opterećenja. U stvari, porast vertikalne komponente vučnog otpora znači za traktor formule 4 x 4 porast adhezijskog opterećenja, a time i mogućnost ostvarenja veće vučne sile uz ostale nepromijenjene parametre. Pri razmatranju svih mjerenih rezultata, možemo govoriti o prestanku rasta klizanja kod postizavanja određenog iznosa vertikalnog opterećenja, za određene uvjete pod kojima je izveden eksperiment.

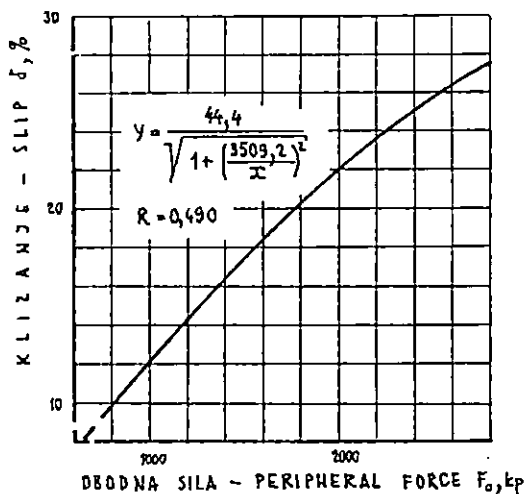
Ovisnost klizanja o koeficijentu vuče je utvrđena u cilju provjere inverzne korelacije iznijete u 4.32.04. Na slici 58 se vidi, da se granična vrijednost koeficijenta vuče za sve izvršene pokuse, približava vrijednosti 0,2, što je ca. upola manje od vrijednosti utvrđenih kod poljoprivrednih radova, (P a r f e n o v, 1968).

Zavisnost klizanja i sile na obodu kotača pokazuje, da s porastom sile dovedene na obod kotača raste gotovo proporcionalno i klizanje zagonskih kotača, slika 59. Iako je za sve podatke jačina korelacijske veze prema K u m p i suradnici (1970) srednja, primijenjena je krivolinijska veza, da bi utvrdili graničnu vrijednost klizanja za uvjete tla i voznog sustava tijekom pokusa. Utvrđena vrijednost od ca. 44 % pada izvan mjernog područja, te se takva ekstrapolirana veličina ne bi mogla uzeti kao mjerodavna za uvjete ostvarene u našem pokusu.

Treba naglasiti da razni autori navode različiti postotak klizanja za ekonomičan rad traktora.



Sl. — Fig. 58. Ovisnost klizanja za-gonskih kotača o koeficijentu vuče — Relationship between slip of driving wheels and tractive coefficient



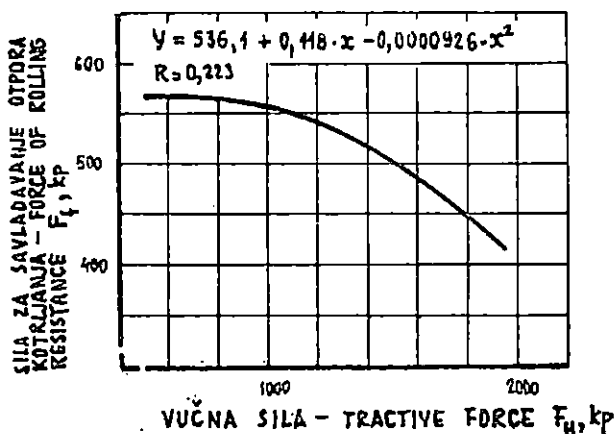
Sl. — Fig. 59. Ovisnost klizanja o obodnoj sili kotača — Relationship between slip and peripheral force of wheel

4.32.17. Sila za savladavanje otpora kotrljanja — Rolling resistance force

Za proučavano područje vučnih sila utvrdili smo ovisnost sile otpora kotrljanja o ostvarenoj vučnoj sili. U cijelom području eksploatacije uočljive su promjene od 0,041 do 0,084 kp/kp. Nakon definiranja statističkih skupova, izvršili smo regresijsku analizu. Na slici 60 je prikazan dijagram za jednu grupu sa 116 mjernih podataka. Uočljivo je, da s porastom vučne sile postoji trend pada sile potrebne za savladavanje otpora kotrljanja traktora. Utvrđena veza je veoma slaba, što je i razumljivo, jer su takve promjene posljedica promjene brzina, povećanja klizanja, adhezijskog opterećenja i dr.

Ovisnost veličine sile otpora kotrljanja o brzini kretanja traktora, istražena je za raspon brzine od 2 do 7 km/h. Porast i pad sile otpora ko-

trljanja s porastom brzine pokazuje i ovom prilikom da je rad na privlačenju drva podložan utjecaju daleko većeg broja činitelja, nego je to slučaj pri korištenju traktora kao vučnog stroja u drugim područjima privrede. Jedan od razloga velikog rasipanja rezultata mjerenja je i način provedbe eksperimenta u eksploatacijskim uvjetima, gdje je traktor opterećen velikim brojem promjenljivih veličina.



Sl. — Fig. 60. Ovisnost sile otpora kotrljanja o horizontalnoj komponenti vučne sile — Relationship between force of rolling resistance and horizontal component of tractive force

4.32.18. Stupanj korisnosti otpora kotrljanja — Efficiency of rolling resistance

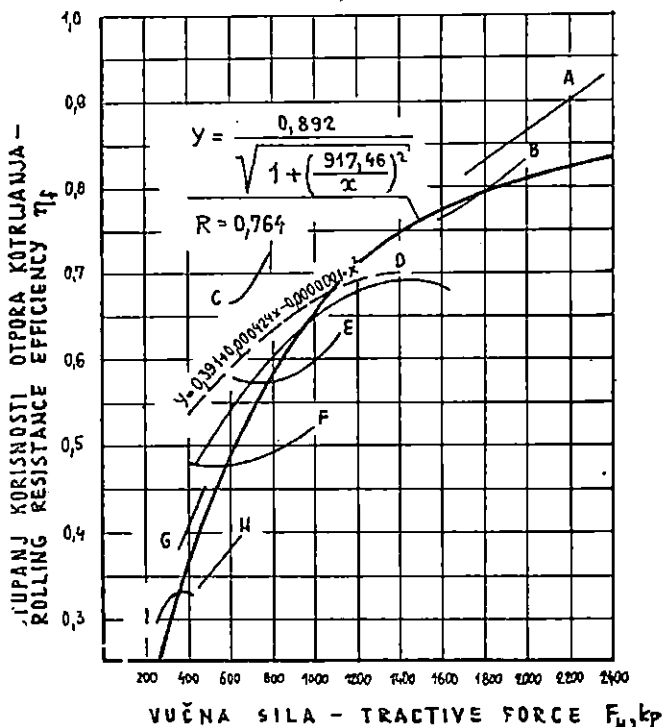
U čitavom proučavanom području (sl. 61) s porastom vučne sile utvrdili smo i rast stupnja korisnosti otpora kotrljanja. I regresijska jednadžba za sve rezultate mjerenja pokazuje vrlo jaku vezu pokazatelja. Granične vrijednosti stupnja korisnosti otpora kotrljanja za sve rezultate mjerenja približavaju se vrijednosti od 0,89. Utvrđene krivulje F, G, H i I ukazuju na neopravdanost vuče malih tereta zglobnim traktorom. U ovom slučaju se radilo o rudničkom drvu. Tu su postignute vrijednosti stupnja korisnosti otpora kotrljanja ispod 0,5.

Računsko izjednačenje stupnja korisnosti otpora kotrljanja i koeficijenta vuče izvršili smo jednadžbom pravca regresije, čiji je dijagram prikazan na slici 62.

Utvrđena korelacijska veza je vrlo jaka, pa se može reći da s porastom koeficijenta vuče raste i stupanj korisnosti otpora kotrljanja.

4.32.19. Stupanj korisnosti klizanja — Slip efficiency

Stupanj korisnosti klizanja je jednostavna veličina dobivena na osnovu klizanja. Za razliku od nje, stupanj korisnosti otpora kotrljanja



Sl. — Fig. 61. Ovisnost stupnja korisnosti otpora kotrljanja o vučnoj sili — Relationship between rolling resistance efficiency and tractive force

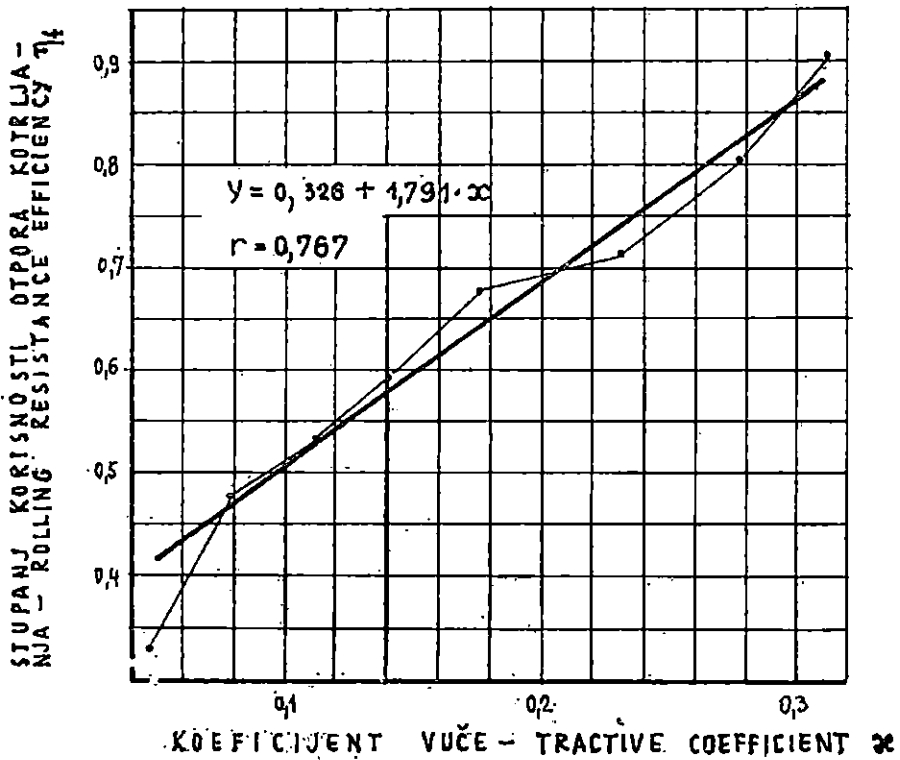
uzrokovan je složenijim fizikalnim zbivanjima; određuje se iz veličine sile otpora kotrljanja i vučnih sila te sile na obodu kotača. Na njega utječu brzina kretanja, klizanje pogonskih kotača, adhezijsko opterećenje i dr.

Za sve rezultate mjerenja utvrdili smo jednadžbu pravca regresije u cilju utvrđivanja zavisnosti stupnja korisnosti klizanja od koeficijenta vuče. Linijska korelacija je prikazana na slici 63. Slabi korelacijski koeficijent potvrđuje prije iznijete pojave oko utvrđivanja veličine klizanja zagonskih kotača i složenost utvrđivanja energetske veličine pri privlačenju drva.

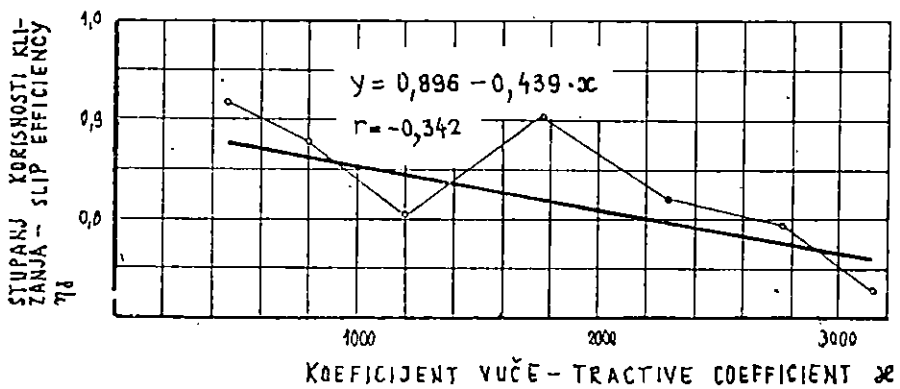
4.32.20. Stupanj korisnosti kotača (voznog sustava) — Efficiency of wheel (driving system)

Tijekom osnovnih istraživanja, kad su i mjereni parametri za određivanje stupnja korisnosti kotača, traktor je radio bez lanaca.

Razmatranja se nadovezuju na ona prethodna o stupnju korisnosti otpora kotrljanja i klizanja, čiji produkt tvori upravo ovdje proučavani stupanj korisnosti kotača (vuče kotača, trakcije, trakcijskog uređaja, voz-



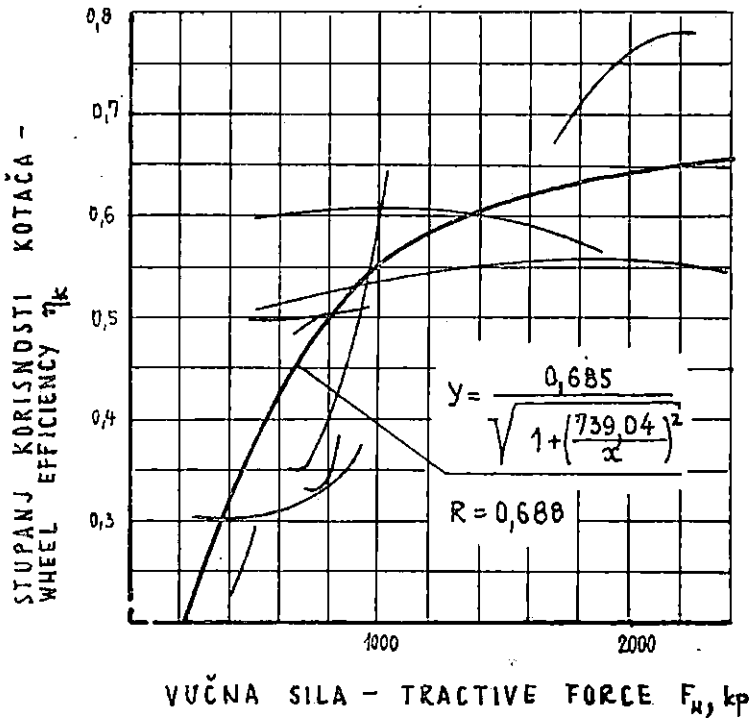
Sl. — Fig. 62. Ovisnost stupnja korisnosti otpora kotrljanja o koeficijentu vuče — Relationship between rolling resistance efficiency and tractive coefficient



Sl. — Fig. 63. Ovisnost stupnja klizanja o koeficijentu vuče — Relationship between slip efficiency and tractive coefficient

nog sustava i dr.), $\eta_k = \eta_t \cdot \eta_s$. Prije iznošenja vlastitih rezultata istraživanja, moramo naglasiti da povećanje obodne i vučne sile traktora, ima za posljedicu smanjenje stupnja korisnosti klizanja, uzimajući u obzir njegove gubitke klizanja. Gubici klizanja se mogu smatrati proporcionalnim obodnoj sili ovisno od mehaničkih svojstava tla, konstrukcije voznog sustava i adhezijskog opterećenja. Istovremeno dolazi do povećanja stupnja korisnosti otpora kotrljanja, uzimajući u obzir gubitke uslijed kotrljanja. Dakle, karakterističan tok elemenata stupnja korisnosti kotača η_t i η_s , određuju i tok pokazatelja η_k .

Nakon provedenog testiranja svih 264 rezultata mjerenja, za pojedine statističke uzorke izvršili smo regresijsku analizu. Za neke grupe nismo mogli donijeti generalni zaključak. U većem broju slučajeva s porastom vučne sile stupanj korisnosti voznog sustava (kotača) u prvom dijelu je rastao, a zatim je došlo do njegovog pada. Primijenili smo i sličnu obradu na sve podatke; koristili smo krivolinijsku vezu koja pokazuje eventualnu graničnu vrijednost promatranog parametra. Dijagrami su prikazani na slici 64 s parametrima i indeksom korelacije tako utvrđene veze. Vidi se da uzimajući u obzir sve slučajeve vuče kao jedan skup, postoji



Sl. — Fig. 64. Ovisnost stupnja korisnosti kotača o horizontalnoj komponenti vučne sile — Relationship between wheel efficiency and horizontal component of tractive force

porast stupnja korisnosti vuče kotača traktora do neke granice, a potom se asimptotski približava graničnoj vrijednosti. U našem slučaju je takva proračunska vrijednost stupnja korisnosti 0,685. Maksimalnu vrijednost postignutu u jednom pokusu postigli smo u iznosu od $\eta_k = 0,76$.

Iz dosadašnjeg razmatranja stupnja korisnosti kotača traktora, vidi se stalni utjecaj vertikalnih sila. S obzirom na plan pokusa, traktor je ispitivan u rasponu od minimalnog opterećenja, pa sve do blizu granice narušavanja njegove uzdužne stabilnosti.

Generalno se može govoriti o rastu stupnja korisnosti voznog sustava s porastom vertikalnog opterećenja. Veliko rasipanje rezultata potvrđuje i mišljenja niza drugih autora da kod privlačenja drva postoje specifični uvjeti rada i opterećenja voznog sustava. Principijelno treba kod najvećih gubitaka snage na klizanje i kotrljanje očekivati najmanji stupanj korisnosti kotača.

Za čitavo promatrano područje koeficijenata vuče, utvrdili smo porast stupnja korisnosti kotača traktora s porastom koeficijenta vuče, kako je to prikazano na slici 65. I ovo je razlog da pri privlačenju drva radimo u području što viših koeficijenata vuče, jer ćemo time povećati stupanj korisnosti prijenosa sila s kotača na tlo.

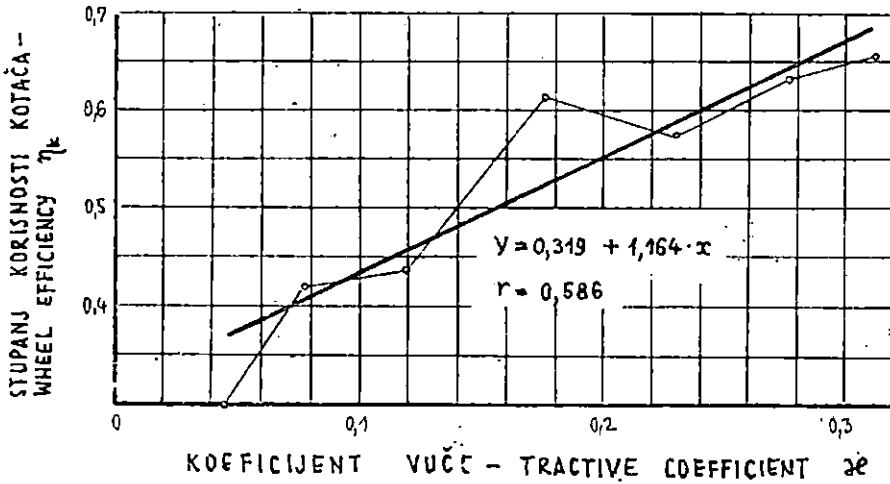
Regresijska analiza zavisnosti stupnja korisnosti vuče kotača i sile dovedene na obod kotača, pokazuje međusobnu vrlo jaku vezu, slika 66. Za određeni vozni sustav koji je ispitivan, pod određenim uvjetima podloge po kojoj su se kretali kotači, utvrđen je trend funkcije prema graničnoj vrijednosti od oko $\eta_k = 0,58$. Naravno, navedeni rezultati važe samo pod uvjetima odvijanja pokusa i u promatranom području veličina istraživanih parametara.

Veličina klizanja na zagonskim kotačima direktno utječe na veličinu stupnja korisnosti kotača. Načelno bi se moglo tvrditi, da je povoljniji što veći teret koji ostvaruje velike vertikalne sile u području malih horizontalnih vučnih otpora.

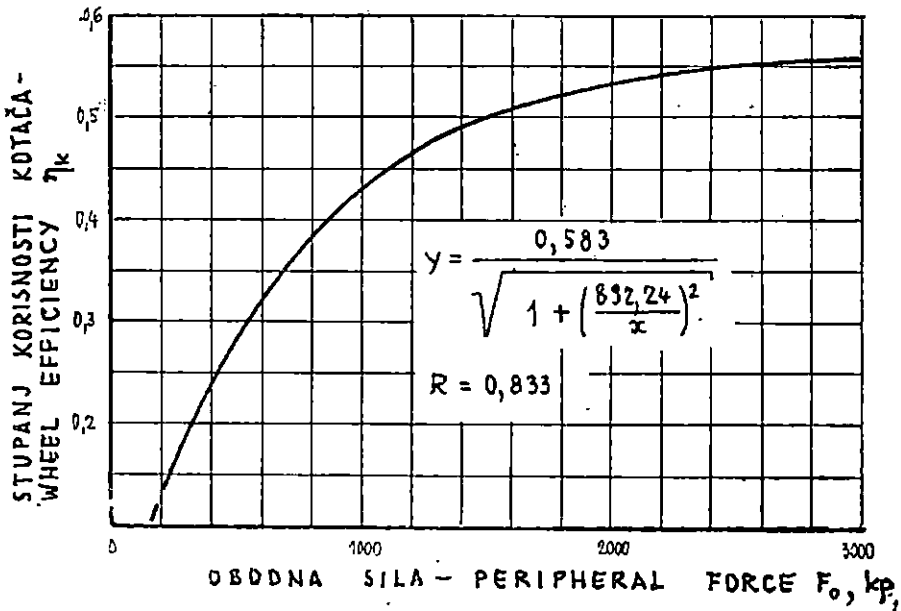
Preraspodjela opterećenja s prednjeg mosta na stražnji u uvjetima eksploatacije utječe na veličinu stupnja korisnosti kotača. Za sve utvrđene skupove izračunate su krivolinijske veze. U većini slučajeva možemo govoriti o malom porastu η_k s porastom prijenosa opterećenja s prednjeg na stražnji most traktora. Rezultati su prikazani na slici 67. Izvršeno je i izjednačenje svih rezultata mjerenja. Parametri utvrđene funkcije i korelacijski indeks dani su uz dijagram krivulje. Ovaj rezultat se nikako ne može generalno primjenjivati za pojedine stvarne slučajeve.

4.32.21. Vučna korisnost traktora — Tractive efficiency of tractor

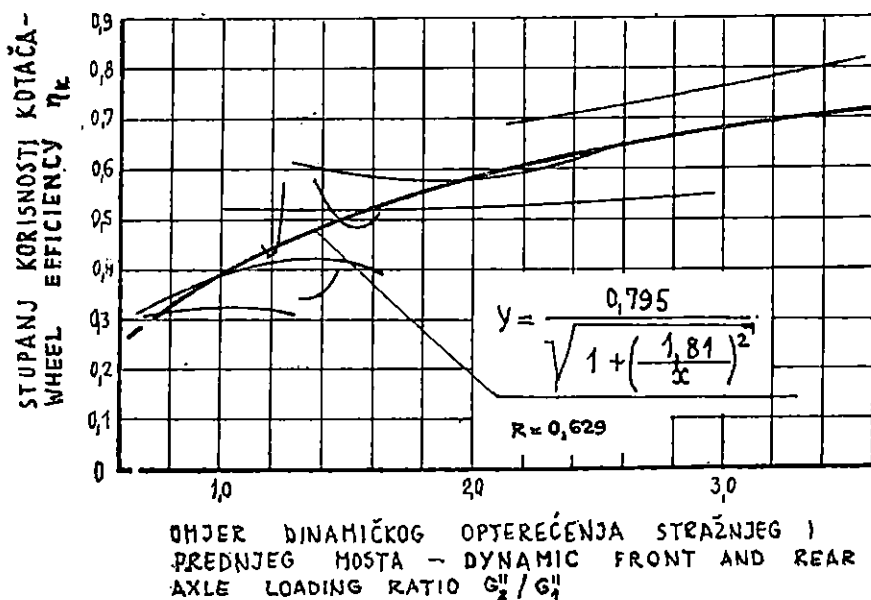
I mi ćemo kao i Kolobov i Parfenov (1972) ukupnu korisnost vuče traktora promatrati uključivši samo mehaničke gubitke transmisije, ne uzimajući u obzir i gubitke snage ostalih potrošača, koji se pojavljuju i kod traktora za privlačenje drva. Nećemo razmatrati i sveukupnu korisnost traktorskog agregata, koji bi u sebi sadržavao i korisnost pogonskog motora. Tako razmatra stupanj korisnosti vuče traktora Jandel (1972), te navedeni parametar smatra bitnom karakteristikom rada vozila.



Sl. — Fig. 65. Ovisnost stupnja korisnosti kotača o koeficijentu vuče — Relationship between wheel efficiency and tractive coefficient



Sl. — Fig. 66. Ovisnost stupnja korisnosti kotača o obodnoj (tangencijalnoj) sili — Relationship between wheel efficiency and peripheral (tangential) force



Sl. — Fig. 67. Ovisnost stupnja korisnosti kotača o omjeru dinamičkog opterećenja stražnjeg i prednjeg mosta traktora — Relationship between wheel efficiency and dynamic ratio of front and rear axel of tractor

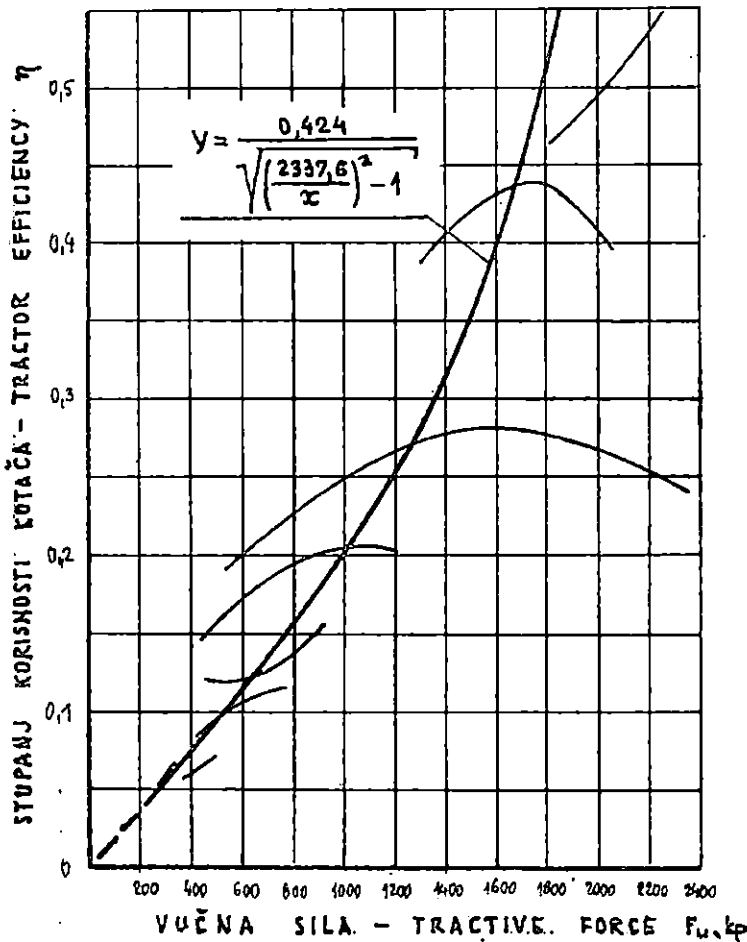
I u ovom slučaju smo postupili kao kod dosadašnje obrade rezultata mjerenja. Nakon testiranja svih mjerenih veličina, regresijskom analizom utvrdili smo funkcijske ovisnosti korisnosti vuče traktora i vučne sile. Na dijagramima prikazanim na slici 68 prikazane su ovisnosti. Za svaki uzorak se kod određene veličine vučne sile može utvrditi eventualno postignuti maksimalni stupanj korisnosti vuče traktora. Vršne točke krivulje predstavljaju najmanju sumu gubitaka traktorske energije te određuju optimalno područje rada s obzirom na vučnu silu.

Kod manjih veličina vučenih tereta, gdje je i manja vertikalna sila, stupanj korisnosti vuče traktora ne mijenja se bitno; s porastom tereta za određenu vrijednost vertikalnog opterećenja poprima neku vršnu vrijednost. Kod vuče stabala, pokušali smo odrediti graničnu vrijednost vertikalne sile koju smo ostvarili tijekom pokusa. Granična vrijednost vertikalnog opterećenja izračunata je za naš slučaj privlačenja ca. 1 800 kp. Maksimalni stupanj korisnosti vuče traktora utvrđen je ca. 0,55. Pokušaj utvrđivanja sličnih graničnih vrijednosti za vuču debala i duge oblovine, nije dao zadovoljavajuće elemente jačine uspostavljene korelacije. Rezultat regresijske analize svih mjerenih rezultata u cilju utvrđivanja zavisnosti stupnja korisnosti vuče traktora i klizanja, dan je na slici 69. Iako je jačina utvrđene korelacije veoma slaba, vidi se da je pri klizanju od oko 24 % postignuta maksimalna srednja vrijednost stupnja korisnosti vuče traktora za cjelokupno osnovno istraživanje.

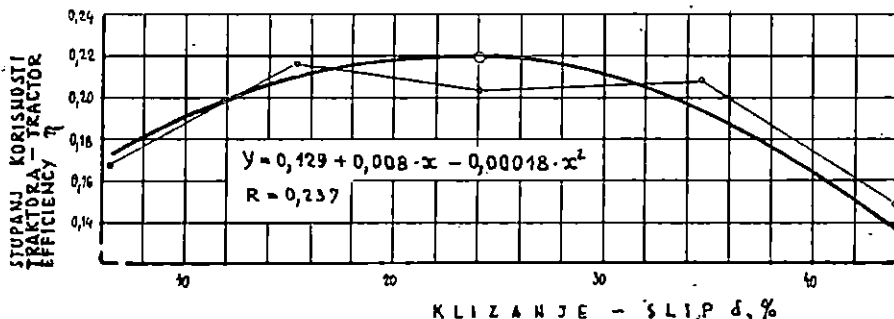
I preraspodjela tereta u stvarnim uvjetima privlačenja utječe na stupanj ukupne korisnosti vuče traktora. Za razne slučajeve vuče postignut je kod raznih vrijednosti odnosa opterećenja prednjeg i stražnjeg mosta optimalni stupanj korisnosti.

4.32.22. Koeficijent otpora kotrljanja — Coefficient of rolling resistance

Parametar koeficijenta otpora kotrljanja izračunavali smo jedino iz energetski mjerenih veličina na kotaču traktora i presjeku traktora — vučni teret, $f = 1 - \eta$, $\eta = 1 - F_H/F_0$. Za sve mjerene podatke stohastičku smo vezu prikazali jednadžbom pravca regresije, slika 70. Apsolutna vri-



Sl. — Fig. 68. Ovisnost stupnja vučne korisnosti traktora o horizontalnoj komponenti vučne sile — Relationship between tractive efficiency of tractor and horizontal component of tractive force



Sl. — Fig. 69. Ovisnost stupnja vučne korisnosti traktora o klizanju zagonskih kotača — Relationship between tractive efficiency of tractor and slip of driving wheels

jednost koeficijenta smjera je znatna, pravac regresije je strm, što znači da je veza parametara koeficijenta otpora kotrljanja i koeficijenta vuče izrazita. Dakle, s porastom koeficijenta vuče, pada veličina koeficijenta otpora kotrljanja, što je lako objašnjivo iz definicije veličine oba parametra. Koeficijent otpora kotrljanja izračunan iz veličine sile otpora kotrljanja i opterećenja traktora na tlo nije pokazao čvrstu vezu s koeficijentom otpora kotrljanja izraženom na gornji način.

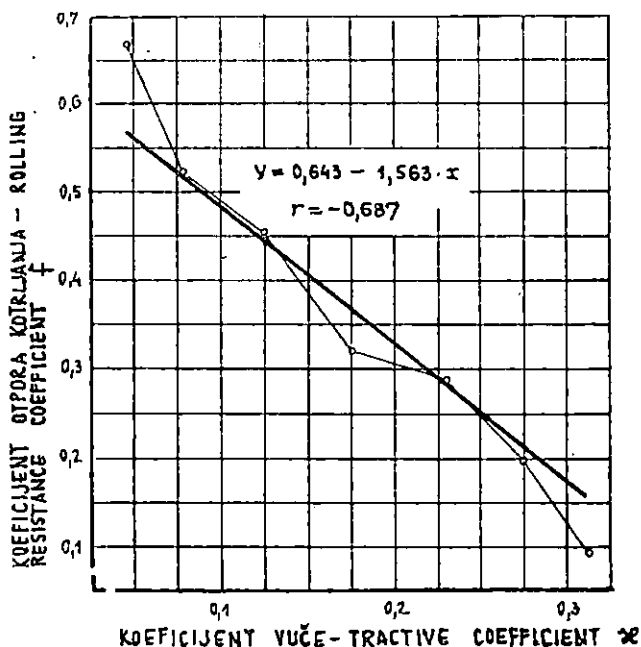
4.32.23. Brzina privlačenja — Skidding speed

Osim u jednom slučaju, u svim pokusima privlačenja, kako je bilo već prije naglašeno, koristili smo II i III stupanj prijenosa brzina. Odvojeno za II i III brzinu analizirali smo zavisnost brzine privlačenja od sile (momenta) dovedenog na kotače. Na dijagramu slike 71 prikazane su utvrđene krivolinijske veze. Na osnovu rezultata istraživanja možemo govoriti tek o trendu pada brzine s povećanjem obodne sile na kotačima traktora. I utvrđeni padovi brzina (nešto je veći u III brzini) utvrđena jačine korelacije ne dozvoljavaju da za privlačenje drva donosimo generalne zaključke.

Pokušaj analize svih podataka za utvrđivanje ovisnosti brzine privlačenja o veličini vučne sile, potvrdio je tek s nešto jačom vjerojatnošću, da s porastom vučne sile opada brzina traktora, slika 72.

4.32.24. Specifična masa traktora — Specific mass of tractor

U cilju potvrde već prije iznijetih činjenica da pri privlačenju bitno raste veličina specifične mase traktora, koja je bitan element u ostvarenju određene adhezije vozila, proveli smo obradu statističkih uzoraka određenih analizom varijance. Regresijska analiza je potvrdila potpunu korelacijsku vezu stvarne specifične mase traktora i adhezijskog optere-



Sl. — Fig. 70. Ovisnost koeficijenta otpora kotrljanja o koeficijentu vuče — Relationship between rolling resistance coefficient and tractive coefficient

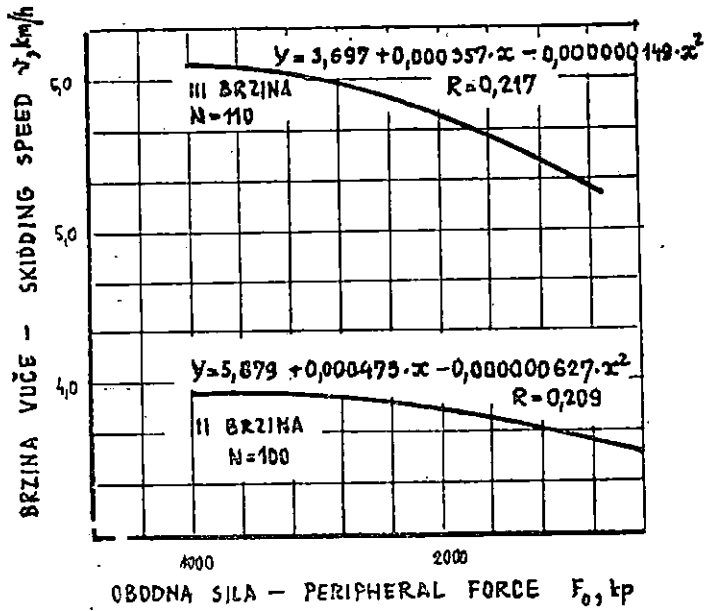
ćenja. Za jednadžbu pravca regresije smo utvrdili parametre, kao i koeficijent korelacije, slika 73. Analiza je potvrdila prije iznijetu činjenicu da se tijekom privlačenja u ekstremnom slučaju povećala specifična masa traktora za ca. 28 %.

4.33. Tehničko-eksploatacijski parametri privlačenja drva pri povećanoj vlažnosti tla — Technical-exploitation parameters of wood skidding at increased soil moisture

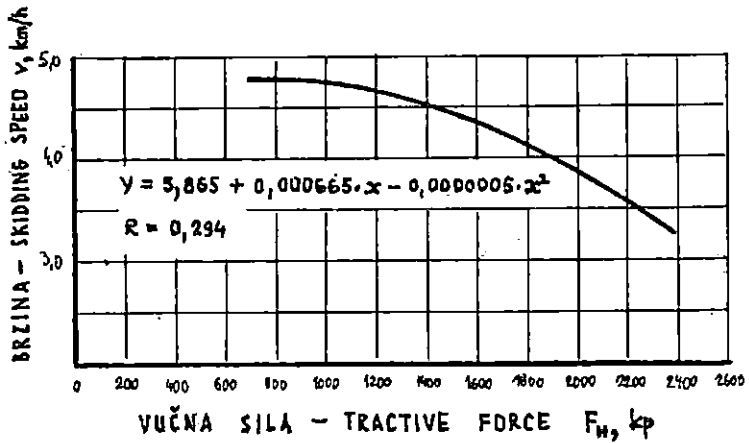
U prvom dijelu osnovnih istraživanja prikazani su osnovni pokazatelji karakteristika tla na kojem je obavljen eksperimentalni dio istraživanja. Dio pokusa smo ponovili pod inače istim uvjetima, ali pri povećanoj vlažnosti tla. U ovom poglavlju ćemo dati rezultate istraživanja, kako bi utvrdili eventualne promjene parametara vuče drva. U tu svrhu smo odabrali nekoliko pokazatelja i statistički ih obradili; to su: vlaga tla, mehanički otpor tla, sila vuče, klizanje zagonskih kotača, brzina privlačenja, zakretni moment kotača.

4.33.01. Karakteristike tla — Soil characteristics

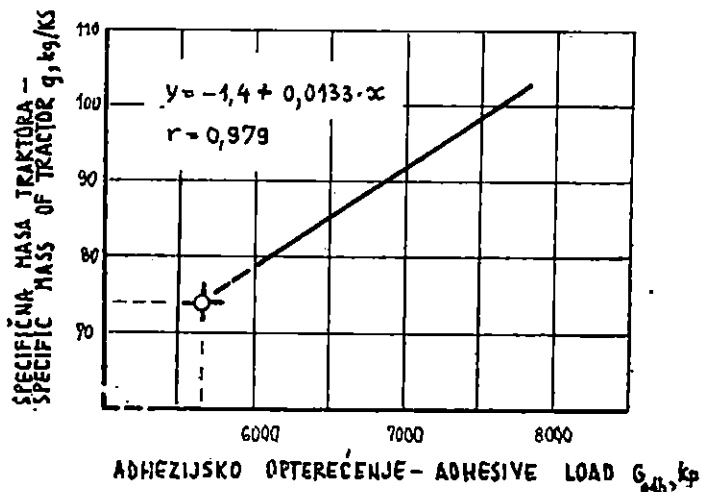
Vlaga tla u stanju povećane vlažnosti iznosila je 64,4 % (kod normalne vlažnosti za vrijeme ostalih osnovnih pokusa ustanovljena je srednja vlažnost od 47,9 %).



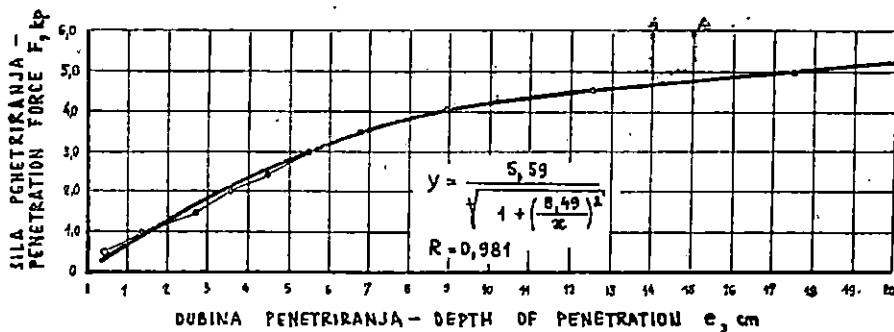
Sl. — Fig. 71. Ovisnost brzine privlačenja o obodnoj sili — Relationship between skidding and peripheral force



Sl. — Fig. 72. Ovisnost brzine privlačenja o vučnoj sili — Relationship between skidding speed and tractive force



Sl. — Fig. 73. Ovisnost specifične mase traktora o adhezijskom opterećenju — Relationship between specific mass of tractor and adhesive load



Sl. — Fig. 74. Ovisnost sile penetracije o dubini prodiranja — Relationship between penetration force and depth of penetration

Penetracijskim pokusom pomoću penetrografa ustanovljen je mehanički otpor tla. Regresijska jednadžba i dijagram funkcije prikazani su na slici 74. Sila potrebna za penetriranje konusa šipke iznosila je 5,59 kp (do dubine od 20 cm). Penetracijskim pokusom kod ostalih osnovnih istraživanja utvrđena je srednja vrijednost sile potrebne za penetriranje u tlo od 10,37 kp.

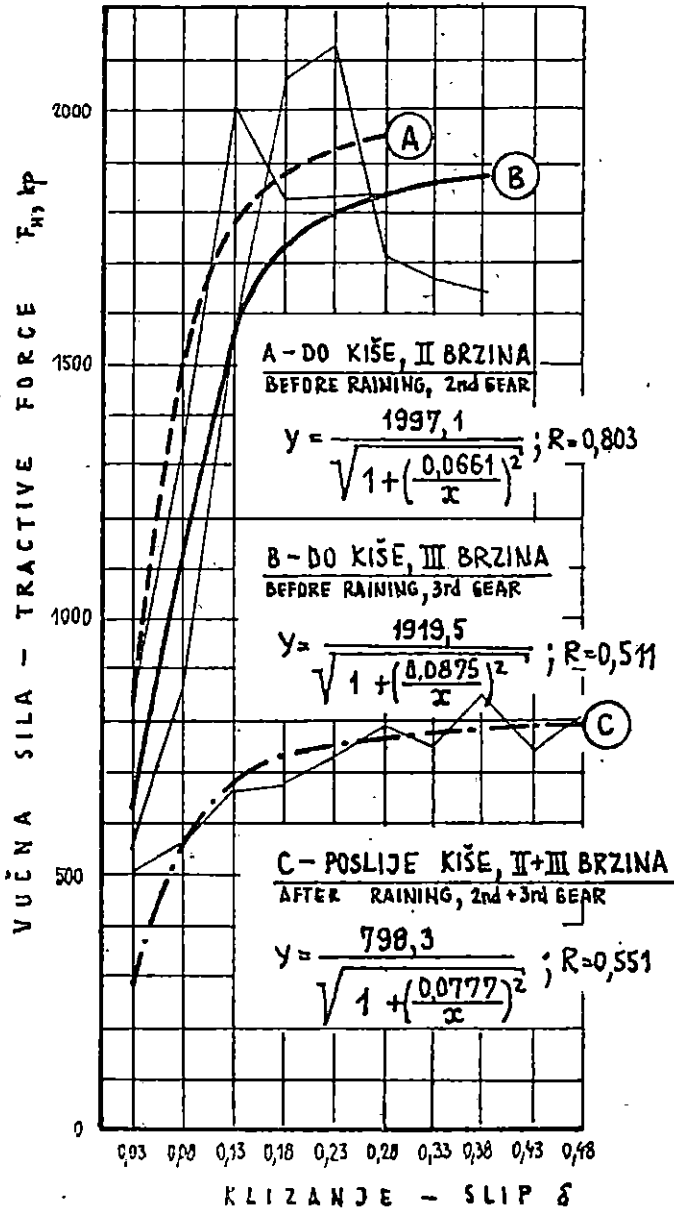
4.33.02. Zavisnost vučne sile i zakretnog momenta od klizanja — Relationship between both tractive force and torsional moment and slip

Nakon određivanja statističkih uzoraka regresijskom analizom smo izračunali krivolinijske veze ovisnosti vučne sile o veličini klizanja zagonjskih kotača. Za veličinu vučne sile u raznim stupnjevima prijenosa izmjereno prije, a isto tako i poslije kiše, utvrđena je signifikantnost razlika aritmetičkih sredina. Između aritmetičke sredine veličine vučne sile ostvarene u II i III stupnju prijenosa, kod tla s normalnom vlažnosti dobiveno je $t = 2,01$. Za broj stupnjeva slobode 47, uz koeficijent rizika 0,05, granična je vrijednost iz tabele $t_0 = 2,01$. Prema tome, aritmetičke sredine vučnih sila nisu signifikantno različite, te dalje računamo s jednim statističkim skupom. Sličan rezultat je utvrđen i za vučnu silu poslije kiše ($t = 1,127$; $t_0 = 1,976$).

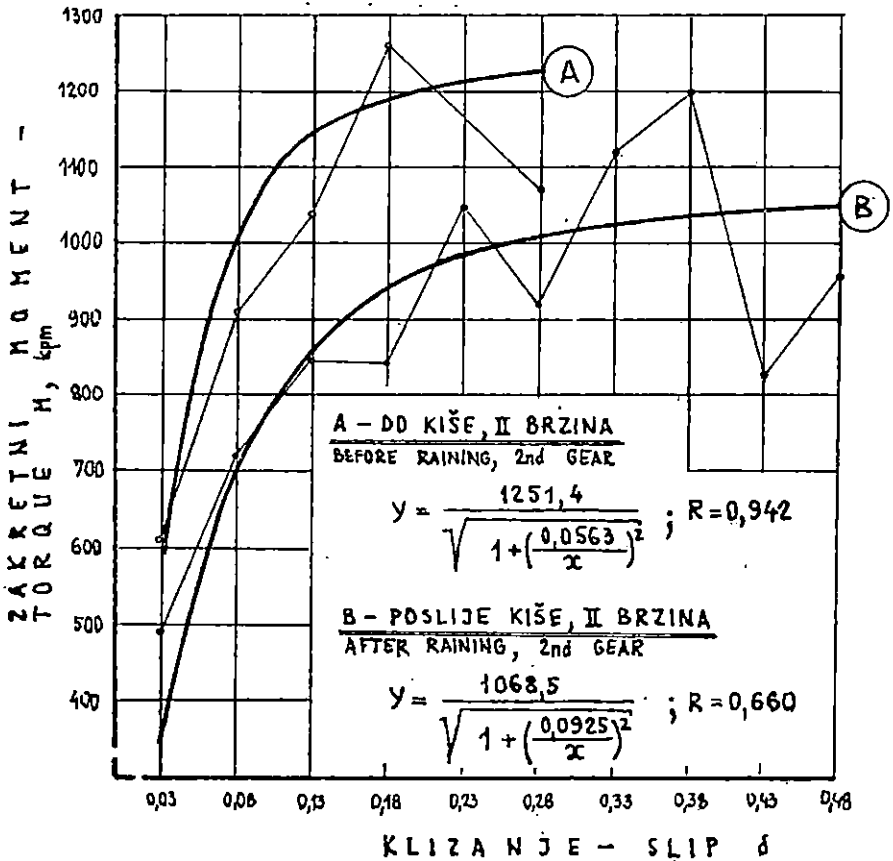
Testiranje aritmetičkih sredina veličine klizanja, pokazalo je da pri normalnoj vlažnosti postoji bitna razlika aritmetičkih sredina klizanja u II i III stupnju prijenosa ($t = 2,54$; $t_0 = 2,00$). Pri povećanoj vlažnosti tla, razlika iznosa klizanja nije pokazala signifikantnu razliku aritmetičkih sredina ($t = 0,905$; $t_0 = 1,975$). U daljoj regresijskoj analizi pri normalnoj vlažnosti tla, izračunavali smo korelaciju za pojedine prijenose odvojeno, a poslije kiše zajedno za oba stupnja prijenosa. Na slici 75 ucrtani su dijagrami jednadžbi krivulja regresije sa svim izračunatim parametrima i korelacijskim indeksima. Vidljivo je, da je pri povećanoj vlažnosti tla granična vučna sila pala na oko 40 % od one koja je postignuta pri normalnoj vlažnosti tla. U iznosima sila potrebnim za privlačenje u II i III stupnju prijenosa pri normalnoj vlažnosti tla nije bilo signifikantne razlike, ali je u III stupnju prijenosa ona ostvarena pri povećanom klizanju od 23 %, dok je u II stupnju prijenosa to granična sila vuče.

Stohastičku vezu između zakretnog momenta kotača i veličine klizanja odredili smo istim postupkom kao i u prethodnom slučaju. U ovom slučaju su utvrđene za sve slučajeve signifikantne razlike aritmetičkih sredina, pa smo korelacijsku vezu utvrdili zasebno za vuču u II i III stupnju prijenosa brzina.

Slika 76 pokazuje utvrđenu korelacijsku vezu zakretnog momenta i klizanja u II stupnju prijenosa, za vuču na tlu normalne vlažnosti, a također uz ostale iste uvjete, na tlu povećane vlažnosti. Za ca. 15 % je smanjen moment doveden kotačima traktora tijekom privlačenja po tlu povećane vlažnosti. Sve se to odvijalo pri povećanim gubicima klizanja,



Sl. — Fig. 75. Ovisnost vučne sile o klizanju — Relationship between tractive force and slip

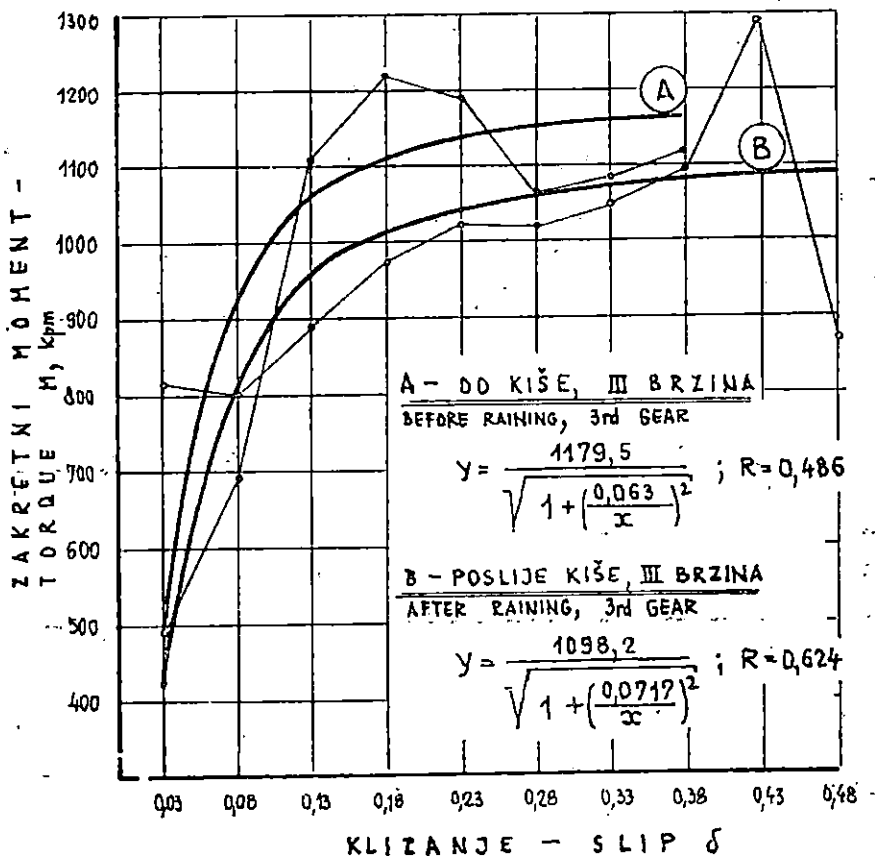


Sl. — Fig. 76. Ovisnost zakretnog momenta o klizanju pri radu u II stupnju prijenosa — Relationship between torque and slip at 2nd gear

U slučaju rada s III stupnjem prijenosa, slika 77, utvrđen je pri radu poslije kiše pad dovedenog momenta kotačima traktora za ca. 7%. Utvrđeni korelacijski indeksi su različiti; jačina korelacije se kreće od srednje do potpune. Kao kod svih pokusa privlačenja, rasipanje mjerenih veličina je znatno, posebno pri utvrđivanju klizanja zagonskih kotača.

4.33.03. Analiza ostalih parametara vuče za različite uvjete stanja tla —
 Analysis of other tractive parameters at different soil conditions

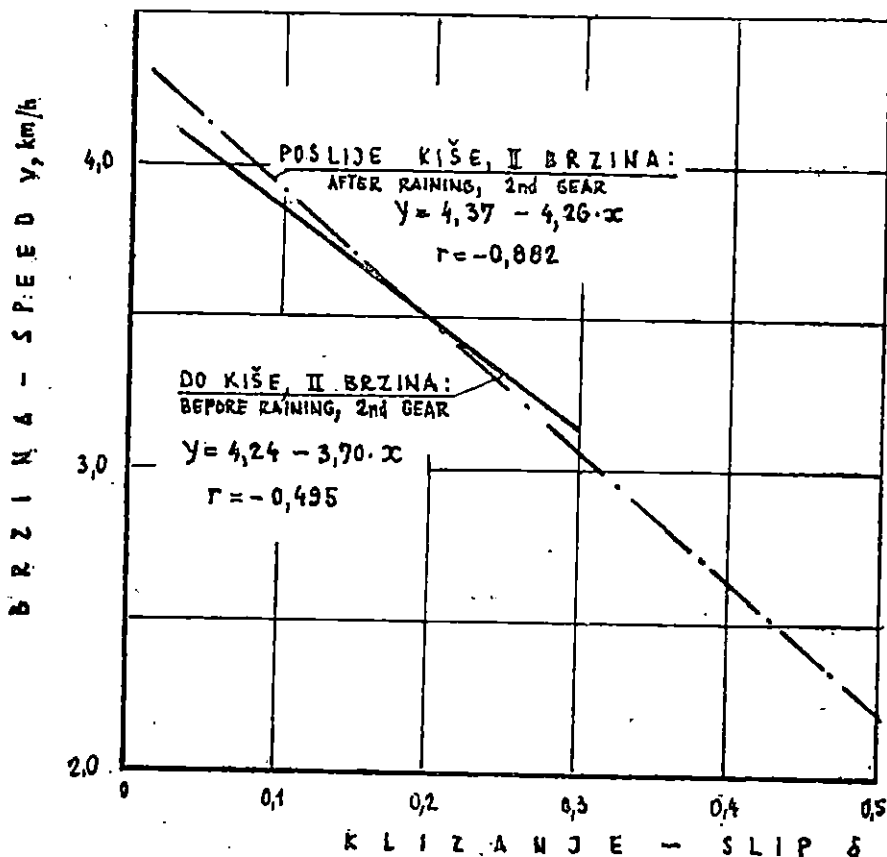
Utvrđene zavisnosti u prethodnom poglavlju, proširili smo sa još nekoliko veza između eksploatacijskih činilaca u slučaju privlačenja po tlu s normalnom i povećanom vlažnosti.



Sl. — Fig. 77. Ovisnost zakretnog momenta o klizanju pri radu u III stupnju prijenosa — Relationship between torque and slip at 3rd gear

Istraživanja smo u prvom redu proširili na istraživanja promjena brzine privlačenja s promjenom klizanja. U svim slučajevima je nakon izvršenog testiranja ulaznih veličina, utvrđena jednadžba pravca regresije, i to za funkciju zavisnosti $v = f(\delta)$.

Slika 78 prikazuje dijagrame utvrđenih linijskih veza brzine privlačenja i klizanja, za rad u II stupnju prijenosa. Koeficijent smjera jednadžbe pravca za slučaj rada pri povećanoj vlažnosti tla poprima veće apsolutne vrijednosti (ca. 13 %), pravac je strmiji, a veza brzine i klizanja izrazitija, iako ne i značajno različita. Interesantno je napomenuti da je utvrđena veza pri radu s povećanom vlažnosti tla vrlo jaka, u odnosu na srednju jačinu veze rada na tlu s normalnom vlažnosti tla.



Sl. — Fig. 78. Ovisnost brzine privlačenja o klizanju pri radu u II stupnju prijenosa — Relationship between speed and slip at 2nd gear

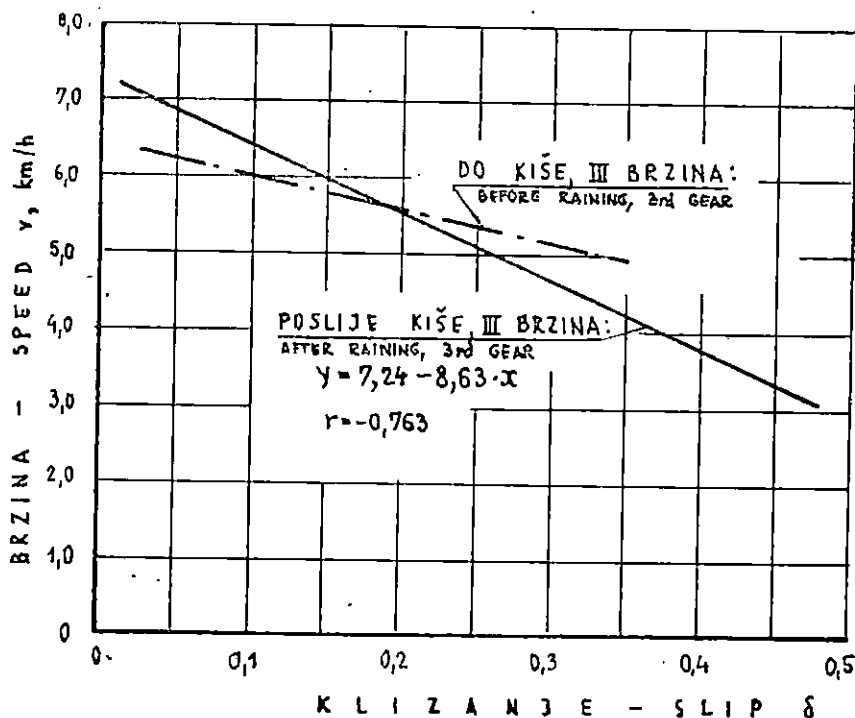
Slika 79 prikazuje dijagrame stohastičkih veza za statističke uzorke pri privlačenju u III stupnju prijenosa brzine. Sve utvrđene zakonitosti i ovdje se potvrđuju. Interesantno je napomenuti, da su na raskvašenom terenu, kod većih postotaka gubitka klizanja, rasipanja manja, a korelacijski koeficijenti veći.

Dijagrami na slikama 80 i 81 prikazuju jednadžbu pravca regresije zavisnosti $v = f(F_H)$ pri privlačenju drva za dva stanja vlažnosti tla. U oba slučaja je s porastom veličine vučne sile došlo do pada brzine. Pri radu s povećanom vlažnosti tla izračunate su nešto veće apsolutne vrijednosti koeficijenta smjera, što bi značilo da su ovisnosti brzine o vučnoj sili u takvim uvjetima rada izrazitije.

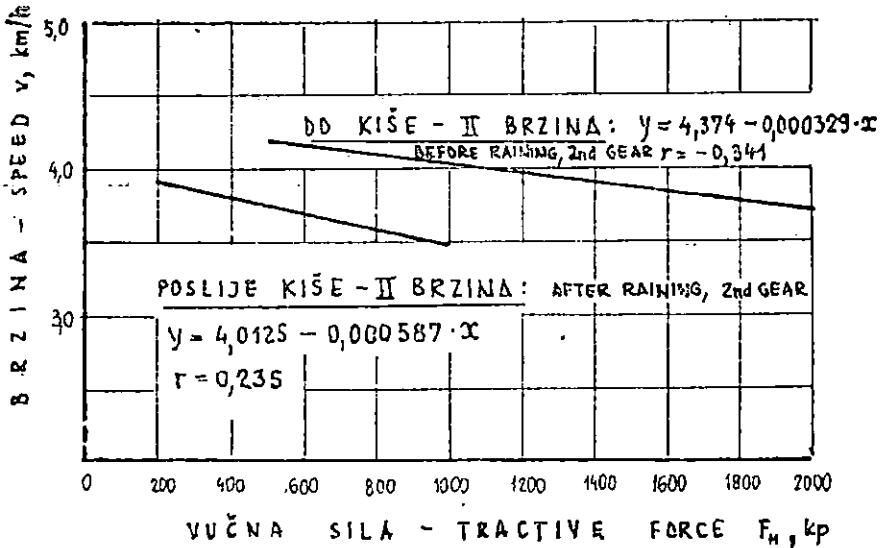
4.34. Parametri vuče drva u raznim oblicima — Parameters of skidding at different form of wood

U okviru osnovnih istraživanja, obuhvatili smo i proučavanje parametara pri vuči drva u raznim oblicima, razno orijentiranih tijekom privlačenja. Eksperimentalni dio rada je obuhvatio privlačenje deblovine, duge oblovine i sortimenata usmjerenih s debljim ili tanjim krajem u smjeru vuče. Drugi dio pokusa se sastojao u privlačenju stabala, debala, duge oblovine i konačno sortimenata. Kod stabala i deblovine mogli smo vući teret samo s debljim krajem orijentiranim u smjeru vožnje, jer čvrstoća ovršine nije bila dovoljna za vučnu silu ostvarenu čeličnim užetom s chokerima.

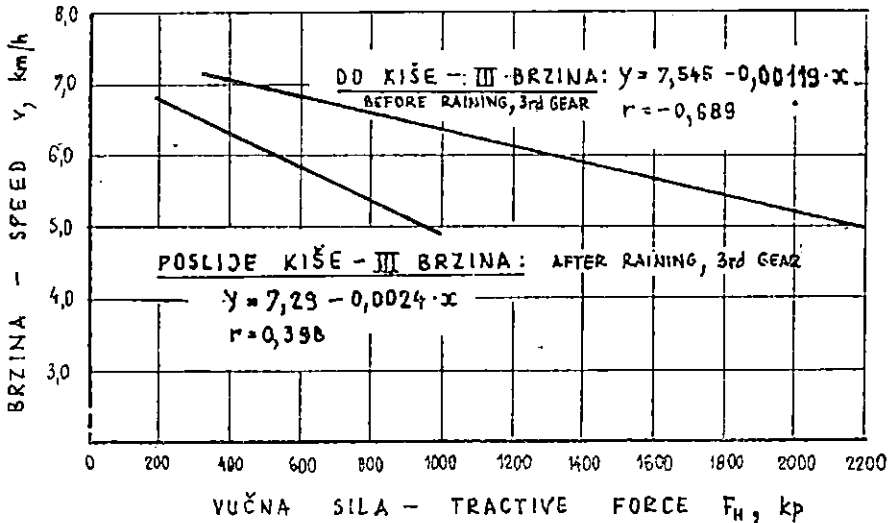
Izvršili smo i izbor parametara, za koje smo prema planu pokusa proveli testiranjem signifikantnosti razlika dviju aritmetičkih sredina, ili pak u slučaju proučavanja čvrstoća veza više aritmetičkih sredina, analizom varijance, da bi konačno utvrdili postoji li statistički signifikantna razlika.



Sl. — Fig. 79. Ovisnost brzine privlačenja o klizanju pri radu u III stupnju prijenosa — Relationship between skidding speed and slip at 3rd gear



Sl. — Fig. 80. Ovisnost brzine privlačenja o sili vuče pri radu u II stupnju prijenosa — Relationship between skidding speed and tractive force at 2nd gear



Sl. — Fig. 81. Ovisnost brzine privlačenja o sili vuče pri radu u III stupnju prijenosa — Relationship between skidding speed and tractive force at 3rd gear

Izabrani parametri za proučavanje vuče drva u raznim oblicima:

- horizontalna komponenta vučne sile, F_H
- vertikalna komponenta vučne sile, F_V
- koeficijent iskorištenja težine tereta, $\varphi = F_V/Q$
- koeficijent privlačenja, $k_v = F_H/Q$
- koeficijent otpora pri vuči drva, $\mu_p = F_H/(Q - F_V)$
- koeficijent vuče, $\kappa = F_H/(G + F_V) = F_H/G_{adh}$
- koeficijent iskorištenja vodoravne sile otpora (tanges kuta nagiba vučnog užeta), $\varepsilon = F_V/F_H$.

Prvi pokus je izveden sa teretom »A« od 2 komada duge deblvine, duljine 24 m, ukupne mase 2894 kg, prsnog promjera 45 i 38 cm, promjera na tanjem kraju od 17 i 19 cm.

Pokus B je započeo vučom stabla mase 3 819 kg, prsnog promjera 62 cm, duljine 32 m. 31 % duljine stabla je bilo bez grana.

Nakon kresanja grana i otpiljivanja ovršine, masa je iznosila 3 124 kg, duljina 24 m, promjer na tanjem kraju 25 cm. Iz takvog debla izrađena su 3 komada duge oblovine svaki duljine 8 m, promjera na debljem kraju 62, 50 i 40 cm, a na tanjem 50, 40 i 25 cm. Za sva tri načina vuče tereta naprijed je na čelično užu učvršćen deblji kraj.

U posljednjoj analizi promatrani su parametri vuče za sve slučajeve vuče koje srećemo u praksi (slučaj C). Rezultati istraživanja prikazani su u tablicama 3, 4 i 5.

Za promatrani slučaj vuče između aritmetičkih sredina horizontalnog otpora vuče F_H određena je signifikantnost, pa je dobiveno $t = 22,277$. Za broj stupnjeva slobode $n = 443$, uz koeficijent rizika 0,05, vidimo da je granična vrijednost za $t_0 = 1,966$. Prema tome, aritmetičke sredine su signifikantno različite. Horizontalna komponenta sile vuče u slučaju privlačenja opisane duge oblovine s tanjim krajem usmjerenim naprijed veća je za oko 36 % nego u slučaju vuče s debljim krajem vezanim o užu.

Pri razmatranju rezultata vertikalne komponente vučne sile F_V moramo naglasiti da se ovdje radi o stvarnoj sili pri vuči drva, a ne o statički utvrđenoj veličini opterećenja traktora zbog mase ovješeneog tereta. U slučaju vješanja debljeg kraja o vučno užu vertikalna sila je bila oko 29 % veća u II stupnju prijenosa nego u slučaju vješanja tanjeg kraja, a čak 43 % veća kod rada pod svim ostalim istim uvjetima u III stupnju prijenosa. Ovo je posljedica utjecaja dinamičkih faktora koji djeluju na vertikalnu silu tijekom vuče; udara tereta na mikrodepresijama, njihanja na vučnom užetu i sl.

Koeficijent iskorištenja težine vučnog tereta φ pokazuje nam koji dio vertikalne sile je posljedica težine tovara. Za vuču s debljim krajem naprijed utvrđen je za 29 % veći koeficijent iskorištenja težine pri radu u II stupnju prijenosa, te 43 % veći za rad u III stupnju prijenosa. Ove vrijednosti pokazuju koji se dio veličine opterećenja tereta kao dinamička sila iskorišćuje u stvaranju adhezijskog opterećenja traktora.

Tablica 3 — Table 3. Privlačenje duge oblovine (teret »A«) s tanjim debljim krajem
ovješanim o vučno uže — Skidding of long logs (load »A«) suspended on choker line

| Parametar Parameter | Stupanj prijenosa Gear ratio | Tanji kraj naprijed »T« Top end foremost »T« | | Deblji kraj naprijed »D« Butt end foremost »D« | | Postotna razlika za vuču s »T« i »D« krajem naprijed Difference at skidding with but end/top end foremost in % | |
|------------------------|------------------------------------|---|-----------|--|-----------|--|-----|
| | | M_x | $\pm s_x$ | M_x | $\pm s_x$ | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| F_H | kp | II i III | 782 | 11 | 503 | 8 | >36 |
| F_V | kp | II | 829 | 5 | 1167 | 27 | <29 |
| | | III | 829 | 5 | 1461 | 8 | <43 |
| φ | — | II | 0.286 | 0.002 | 0.403 | 0.009 | <29 |
| | | III | 0.286 | 0.002 | 0.505 | 0.003 | <43 |
| k_v | — | II | 0.260 | 0.006 | 0.174 | 0.002 | >33 |
| | | III | 0.276 | 0.005 | 0.174 | 0.002 | >37 |
| μ_p | — | II | 0.363 | 0.007 | 0.330 | 0.006 | >9 |
| | | III | 0.389 | 0.008 | 0.330 | 0.006 | >15 |
| κ | — | II i III | 0.125 | 0.005 | 0.072 | 0.001 | >42 |
| ε | — | II | 1.099 | 0.018 | 2.511 | 0.119 | <56 |
| | | III | 1.099 | 0.018 | 3.071 | 0.076 | <64 |

Tablica 4 — Table 4. Privlačenje stabla, debla i duge oblovine ovješene debljim krajem o vučno uže (test »B«) — Skidding of full tree, stem and long log with butt end suspended on choker line

| Parametar prijenosa Parameter Gear ratio | | | Stablo — Full tree 3 819 kg | | | Deblo bez ovršine 1 kom.; 24 m dulj.; 3 124 kg Stem without top 1 piece; 24 m length; 3 124 kg | | | Duga obloovina 3 kom.; 8 m dulj.; 3 124 kg Long logs 3 pieces; 24 m length; 3 124 kg | | |
|---|----|-----|--------------------------------|-----------------|-----------|---|-----------------|-----------|---|-----------------|-----------|
| | | | M_x | Indeks Index | $\pm s_x$ | M_x | Indeks Index | $\pm s_x$ | M_x | Indeks Index | $\pm s_x$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| F_H | kp | II | 1832 | 100 | 23 | 752 | 41 | 9 | 415 | 23 | 10 |
| | | III | 2005 | 100 | 17 | 752 | 37 | 9 | 474 | 24 | 15 |
| F_V | kp | II | 1448 | 100 | 33 | 1490 | 103 | 10 | 1811 | 125 | 8 |
| | | III | 1727 | 100 | 7 | 1490 | 86 | 10 | 1909 | 110 | 26 |
| φ | — | II | 0.386 | 100 | 0.005 | 0.477 | 124 | 0.003 | 0.580 | 150 | 0.003 |
| | | III | 0.452 | 100 | 0.002 | 0.477 | 105 | 0.003 | 0.610 | 135 | 0.009 |
| k_v | — | II | 0.479 | 100 | 0.006 | 0.240 | 50 | 0.003 | 0.133 | 28 | 0.003 |
| | | III | 0.524 | 100 | 0.004 | 0.240 | 46 | 0.003 | 0.152 | 29 | 0.005 |
| μ_D | — | II | 0.789 | 100 | 0.014 | 0.465 | 59 | 0.006 | 0.315 | 40 | 0.007 |
| | | III | 0.960 | 100 | 0.008 | 0.465 | 48 | 0.006 | 0.420 | 44 | 0.019 |
| κ | — | II | 0.260 | 100 | 0.004 | 0.106 | 41 | 0.001 | 0.057 | 22 | 0.001 |
| | | III | 0.272 | 100 | 0.002 | 0.106 | 39 | 0.001 | 0.063 | 23 | 0.002 |
| ε | — | II | 0.798 | 100 | 0.019 | 2.082 | 261 | 0.029 | 4.718 | 591 | 0.135 |
| | | III | 0.863 | 100 | — | 2.082 | 241 | 0.029 | 4.718 | 547 | 0.135 |

Sever S.: Istraživanja nekih eksploatacijskih parametara traktora pri privlačenju drva. Glasnik za šum. pokuse 22:183-303, 1984.

Tablica 5 — Table 5. Privlačenje stabla, debla i duge oblovine (slučaj »C«) — Skidding
full tree, stem and long logs (case »C«)

| Parametar Parameter | Stupanj prijenos Gear ratio | | Stablo — Full tree l=32.3 m; d=62 cm (DBH) 3 812 kg »D« | | | Deblo s ovršinom — Stem l=32.3 m; 3 271 kg »D« | | | Deblo bez ovršine — Stem without top 1 kom. — piece l=24 m; 3 124 kg »D« | | | Deblo bez ovršine — Stem without top 1 kom. — piece l=8 m; 3 124 kg »T« | | | Duga oblovin — Long logs 3 kom — pieces l=8 m; 3 124 kg »D« | | | Duga oblovin — Long logs 3 kom. — pieces l=8 m; 3 124 kg »T« | | |
|------------------------|--------------------------------------|-----|---|------|-----------------|--|------|-----------------|---|------|-----------------|--|------|-----------------|---|------|-----------------|--|------|-----------------|
| | | | M _x | Ind. | ±s _x | M _x | Ind. | ±s _x | M _x | Ind. | ±s _x | M _x | Ind. | ±s _x | M _x | Ind. | ±s _x | M _x | Ind. | ±s _x |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| F _H | kp | II | 1831 | 100 | 23 | 980 | 53 | — | 752 | 41 | 9 | 902 | 49 | — | 415 | 23 | 10 | 640 | 35 | 8 |
| | | III | 2005 | 100 | 17 | 1010 | 50 | — | 752 | 37 | 9 | 902 | 45 | — | 474 | 24 | 15 | 785 | 39 | 9 |
| F _V | kp | II | 1448 | 100 | 33 | 1483 | 102 | 13 | 1491 | 103 | 10 | 725 | 50 | 17 | 1811 | 125 | 8 | 1553 | 107 | 5 |
| | | III | 1727 | 100 | 7 | 1517 | 88 | 12 | 1493 | 86 | 10 | 873 | 50 | 8 | 1909 | 111 | 26 | 1553 | 90 | 5 |
| φ | — | II | 0.388 | 100 | 0.005 | 0.453 | 117 | 0.004 | 0.477 | 123 | 0.003 | 0.232 | 60 | 0.005 | 0.580 | 149 | 0.003 | 0.497 | 128 | 0.002 |
| | | III | 0.452 | 100 | 0.002 | 0.464 | 103 | 0.003 | 0.477 | 105 | 0.003 | 0.279 | 62 | 0.003 | 0.610 | 135 | 0.009 | 0.497 | 110 | 0.002 |
| k _v | — | II | 0.479 | 100 | 0.006 | 0.300 | 63 | — | 0.240 | 50 | 0.003 | 0.289 | 60 | — | 0.133 | 28 | 0.003 | 0.205 | 43 | 0.002 |
| | | III | 0.524 | 100 | 0.004 | 0.309 | 53 | — | 0.240 | 46 | 0.003 | 0.289 | 55 | — | 0.152 | 29 | 0.005 | 0.251 | 48 | 0.003 |
| μ _p | — | II | 0.789 | 100 | 0.014 | 0.548 | 69 | — | 0.465 | 59 | 0.006 | 0.376 | 48 | — | 0.315 | 40 | 0.007 | 0.412 | 52 | 0.002 |
| | | III | 0.960 | 100 | 0.008 | 0.576 | 60 | — | 0.465 | 48 | 0.006 | 0.401 | 42 | — | 0.420 | 44 | 0.019 | 0.504 | 52 | 0.006 |
| α | — | II | 0.260 | 100 | 0.004 | 0.138 | 53 | — | 0.106 | 41 | 0.001 | 0.142 | 55 | — | 0.057 | 22 | 0.001 | 0.089 | 34 | 0.001 |
| | | III | 0.272 | 100 | 0.002 | 0.141 | 52 | — | 0.106 | 39 | 0.001 | 0.139 | 51 | — | 0.063 | 23 | 0.002 | 0.109 | 40 | 0.001 |
| ε | — | II | 0.798 | 100 | 0.019 | 1.513 | 189 | — | 2.082 | 261 | 0.001 | 0.804 | 101 | — | 4.718 | 591 | 0.135 | 2.524 | 316 | 0.039 |
| | | III | 0.863 | 100 | 0.011 | 1.502 | 174 | — | 2.082 | 241 | 0.029 | 0.968 | 174 | — | 4.718 | 547 | 0.135 | 2.041 | 236 | 0.031 |

Koeficijent privlačenja k_v kao pokazatelj potrebne sile za privlačenje jedinice težine tovara pri radu u II stupnju prijenosa s debljim krajem naprijed bio je veći za 33 %, a u III stupnju prijenosa za 37 % veći. Budući da je koeficijent vuče pokazatelj potrebne veličine vučne sile za jedinicu težine tovara, jasno je da je racionalnija vuča s debljim krajem naprijed, jer je potrebna manja specifična sila po jedinici težine vučnog tovara.

Koeficijent otpora pri vuči drva s jednim podignutim krajem μ_p važan je pokazatelj uvjeta privlačenja, morfoloških karakteristika tereta, stanja i vrste tla, vrste drva, okoranosti i dr. U II stupnju prijenosa pri vuči tanjim krajem naprijed koeficijent otpora vuče drva je za 9 % veći, a u III stupnju prijenosa za 15 %. Treba naglasiti da je navedeni pokazatelj tvorevina koja u sebi sadrži i vertikalnu i horizontalnu komponentu vučne sile, te je rezultat igre sila tijekom privlačenja koja se zbiva na vučnom užetu.

Bitan pokazatelj vučnih karakteristika je specifična sila vuče ostvarena prilikom privlačenja, tzv. koeficijent vuče κ . I ovaj pokazatelj sadrži u sebi bitne elemente vuče — vučnu silu i adhezijsko opterećenje. U slučaju vuče tanjim krajem naprijed ostvareni koeficijent vuče je bio za 42 % veći. Postavlja se pitanje zašto je došlo do smanjenja koeficijenta vuče pri privlačenju s debljim krajem naprijed, kada je pri tom bitno povećano adhezijsko opterećenje traktora. Odgovor leži u manjoj potrebnoj vučnoj sili koja je proporcionalna s koeficijentom vuče, te je tako rezultatni koeficijent vuče rezultat dvaju utjecaja; manje ili veće vučne sile, te većeg ili manjeg vertikalnog opterećenja i njegova udjela u stvaranju rezultatnog adhezijskog opterećenja. Koji od utjecaja u promatranom slučaju prevladava, taj stvara veći ili manji ostvareni koeficijent vuče. U posljednjem slučaju iznijeli smo jedan rezultat za oba stupnja prijenosa, jer je testiranjem utvrđeno da nema signifikantne razlike u veličini koeficijenata vuče za privlačenje u II i III stupnju prijenosa.

Konačno, koeficijent iskorištenja vodoravne sile ϵ pokazuje omjer vertikalne i horizontalne komponente sile. To je ujedno i tanges kuta nagiba vučnog užeta, koji je promjenljiva veličina tijekom privlačenja. U slučaju jednakih vertikalnih i horizontalnih komponenata vučnog otpora, koeficijent poprima vrijednost 1. U II stupnju prijenosa pri vuči s debljim krajem naprijed navedeni koeficijent je veći za 56 %, a u III stupnju prijenosa za 64 % nego u slučaju vuče s tanjim krajem naprijed.

U tablici 4 su dani osnovni podaci za sve parametre, njihove aritmetičke sredine, srednje pogreške aritmetičkih sredina i indeksi, s time da je za stablo uzet indeks 100. I u ovom slučaju je prije obračuna analize varijance provedeno uobičajeno testiranje svakog parametra za rad u II i III stupnju prijenosa. Prema rezultatima testiranja dalje smo provodili obračun odvojeno ili kao jedan statistički uzorak.

U II brzini je indeks horizontalne vučne sile za stablo 100, za vuču debla bez ovršine 41, a za vuču duge oblovine 23. U III stupnju prijenosa za stablo je indeks 100, deбло 37 i dugu oblovinu 24. Ne promatrajući ostale pokazatelje privlačenja, na temelju veličine vodoravne sile potrebne za

ostvarivanje privlačenja, jasno je da se u promatranom slučaju nakon kresanja grana i uklanjanja ovršine sila smanjila za 63 %, a pri vuči 3 komada duge oblovine izrađenog iz tog debla za 76 % u odnosu prema stablu. Ovo su rezultati vuče u II stupnju prijenosa. Slični rezultati su utvrđeni i u III stupnju prijenosa.

Analiza vertikalne sile pri vuči stabla i duge oblovine pokazala je razlike u dva stupnja prijenosa, dok za vuču debela bez ovršine nije utvrđena signifikantna razlika aritmetičkih sredina. Vertikalno opterećenje dakle nije pokazalo pri vuči stabla i debela signifikantnu razliku. Budući da se radi o dva morfološki različita tereta, različite mase, jedino objašnjenje se može naći u površini nalijeganja tereta na granama. Za rad u III brzini pri vuči stabla i duge oblovine vertikalno opterećenje bitno se povećalo. O maksimalnom povećanju opterećenja koje sudjeluje pri stvaranju adhezijskog opterećenja može se govoriti u slučaju vuče duge oblovine. No, i ovom prilikom treba naglasiti da ne smijemo gledati samo jedan pokazatelj, u ovom slučaju vertikalnu silu, jer prihvaćanjem triju komada na traktor potpuno se ispunjava prostor iza prihvatne daske traktora, pa nema mogućnosti za povećanje broja komada u tovaru. U slučaju vuče debela ili stabla, barem što se tiče prostora koji stoji na raspolaganju, veličina tovara se može daljim prihvaćanjem većeg broja komada bitno povećati.

U tablici 4 nalaze se svi potrebni podaci za utvrđivanje odnosa i ostalih značajki pri različitim teretima i brzinama vuče. Analiza pokazuje da promatranje jednog ili dva parametra može pri privlačenju drva dati pogrešnu sliku o uvjetima koji vladaju pri vuči stabla, debela ili duge oblovine.

Tablica 5 sadrži rezultate istraživanja privlačenja 6 različitih slučajeva drvene mase, za dva stupnja brzine. S podizanjem tanjeg ili debljeg kraja pomoću vučnog užeta, pojavio se, uz probleme promjenljivog otpora trenja između drvene mase i tla, i niz drugih utjecajnih faktora zbog elastičnog vješanja tereta o vučno uže. Tu u prvom redu utječu sile inercije, sile zbog njihanja tereta, elastične deformacije deblvine, istežanje užeta i dr.

I u ovom primjeru je potvrđeno da je za vuču stabla potrebno gotovo dvostruka horizontalna vučna sila nego za vuču debela s ovršinom, te za teret okrenut u smjeru vuče debljim krajem treba manja vučna sila. Ona ovisi o broju istodobno vučenih komada, duljini tereta i dr.

U slučaju vertikalnih sila zapazilo se čak neznatno smanjenje pri vuči stabla prema vuči debela s ovršinom (u prvom slučaju grane služe kao oslonac na većoj površini). Smanjivanjem duljine vučenog tereta smanjuje se i razlika u veličini dijela tereta koji se prenosi na vučno vozilo.

Koeficijenti iskorištenja težine i privlačenja pokazali su već prije utvrđene zakonitosti.

Koeficijent otpora vuče drva je najnepovoljniji pri vuči stabla, što je posljedica i najvećih sila potrebnih za privlačenje takvog tereta. No, za teret duljine 24 m dobiven je neočekivan rezultat. Koeficijent otpora vuče drva je veći u slučaju vuče debljim krajem ovješanim o vuč-

no uže. Tijekom privlačenja tako dugog tereta znatno se povećava kontaktna površina drvene mase i tla, a postaje i nesigurna tvrdnja da je normalna sila koja opterećuje podlogu i sudjeluje u stvaranju veličine sile otpora jednaka razlici ukupne težine drvene mase i vertikalne sile utvrđene na spoju s traktorom. Pri vuči duge oblovine, gdje veličina modula elastičnosti tereta ne dopušta tako velike progibe, utvrđen je veći koeficijent otpora vuče drva za vuču s tanjim krajem naprijed nego za vuču s debljim krajem obješenim o vučno uže.

5. ZAKLJUČCI — CONCLUSIONS

Na osnovi morfološke analize traktora za privlačenje drva, te provedenih pripremnih i osnovnih istraživanja vuče drva zglobnim traktorima, došli smo do slijedećih zaključaka:

5.1. Morfološka analiza traktora — Morphological analysis of tractor

Težišta površina rasprostiranja indeksa oblika B/L u zavisnosti od H/L nalaze se relativno blizu simetralne linije $B = H$. Za adaptirane šumske traktore iznose: $B/L = 0,52$; $H/L = 0,57$, a za zglobne traktore $B/L = 0,45$ i $H/L = 0,48$.

Širina adaptiranih traktora za privlačenje drva raste do granične vrijednosti od ca. 2,5 m. I dužina raste do neke granične vrijednosti; kod mase od 4 t postiže dužinu od 4 m. U slučaju zglobnih traktora širina raste i preko zakonski ograničene vrijednosti od 2,5 m. Jednako raste i dužina takvih traktora.

Efektivna snaga pogonskog motora proporcionalna je s masom traktora. 1 kg mase zglobnih traktora nosi bitno manji iznos jedinične snage pogonskog motora.

Granične vrijednosti okvirnih geometrijskih veličina traktora iznose: adaptirani šumski traktor — $B = 2,55$ m; $L = 4,20$ m; $H = 2,56$ m; zglobni traktor — $B = 3,02$ m; $L = 6,61$ m; $H = 3,06$ m.

Linija specifične mase traktora lomi se za adaptirane traktore kod snage od ca. 40 do 50 KS, a za zglobne traktore kod snage od 75 KS. Daljim porastom snage ostaje konstantnom.

I za adaptirane šumske i zglobne traktore s porastom efektivne snage raste i imaginarni specifični tlak. Porast je nešto strmiji za adaptirane traktore u odnosu na porast utvrđen kod zglobnih traktora. Kod mase od ca. 4 t dolazi do razdvajanja krivulja specifičnog imaginarnog tlaka traktora.

Približna analiza polumjera zakretanja pokazuje da traktor s izvedenom kinematikom zglobnog upravljanja može biti ca. 2 puta duži od traktora sa sustavom upravljanja preko prednjih kotača, a da ima isti

polumjer zakretanja. Ovo je osnovni razlog za porast duljine zglobnih traktora s porastom mase i preko graničnih vrijednosti ustanovljenih za standardne traktore.

Za šumske traktore se ne može iz morfološke analize doći do graničnih vrijednosti za masu i snagu.

5.2. Pripremna istraživanja — Preliminary investigations

S porastom vučenog tereta raste i veličina horizontalne komponente vučnog otpora. Utvrđena je potpuna pravolinijska veza. Zavisnost vučenog tereta i njegovog opterećenja na tlo od koeficijenta privlačenja i otpora kod vuče drva, nisu pouzdane. Jednaki zaključci važe i za zavisnosti horizontalne komponente vučnog otpora od navedenih koeficijenata.

Koeficijent vuče pokazuje potpunu vezu s vučnim otporom. Vučna sila u ovisnosti o klizanju nalazila se u području bliskom linearnom.

S porastom vučnog otpora utvrdili smo određeni pad brzine privlačenja.

Kod manjih vučnih otpora treba bitno veća sila za savladavanje početnih otpora. Odnos početne sile i horizontalne komponente vučnog otpora iznosi preko 2,1. Kod maksimalno izmjerene vučne sile od ca. 1 400 kp taj odnos pada na 1,5.

Koeficijent otpora pri vuči s podignutim debljim krajem iznosio je ca. 563 kp/t tereta; s podignutim tanjim krajem utvrđena je prosječna vrijednost od 572 kp/t tereta. Koeficijent otpora je ca. 2% manji pri vuči s debljim krajem naprijed. Najveću razliku smo utvrdili u jednom pokusu pri vuči duge oblovine, gdje je za vuču s tanjim krajem naprijed utvrđeno povećanje vučnog otpora za 12,8%.

Na stražnji most traktora se prenesu slijedeći tereti kod oslanjanja hrastovih trupaca i duge oblovine: duljine 4—5 m, srednji promjer 65 cm, deblji kraj naprijed — 51,5% veličine opterećenja; za tanji kraj naprijed 48,5%; duljine 15—16 m, promjer 65 cm, deblji kraj naprijed — 57,1%, tanji kraj naprijed 39,3%.

Samo istovremeno mjerenje komponenata rezultantne vučne sile u užetu pomoću mjernih pretvornika (okomite i vodoravne sile u odnosu na put privlačenja koje kao rezultat mjerenja određuju i kut nagiba), daju realnu sliku sila privlačenja. U tom slučaju je moguće određivanje djelovanja privlačenja stabala, debala i duge oblovine na potrebne sile za micanje drva.

5.3. Osnovna istraživanja — Main investigations

Istraživanja penetrometarskih karakteristika tla su pokazala da je tlo na ispitnoj stazi bilo istovrsno. Po granulometrijskom sastavu se radilo o ilovači blizu granice prašinate ilovače.

I mjerenja srednjih specifičnih tlakova po širini traga na dubini od 140 mm tijekom privlačenja, pokazala su preraspodjelu opterećenja s prednjeg na stražnji most traktora. Maksimalni pritisci se prikapčanjem tereta bitno ne povećavaju, ali se rasprostiru na veću širinu.

I u osnovnim istraživanjima je utvrđena vrlo jaka veza vučnog otpora i vučenog tereta. Zavisnost vučne sile od koeficijenta privlačenja je vrlo jaka. Vuča rudničkog drva pomoću proučavanog zglobnog traktora je neracionalna.

Istraživanja veličine klizanja kao bitnog parametra vuče drva otežana je postojećim mjernim instrumentarijem u eksploatacijskim uvjetima.

Kod graničnog klizanja od oko 40 % ustanovljen je koeficijent vuče (tzv. neto vuče) $\mu = 0,3$. Naši rezultati istraživanja pokazuju da je zglobnim traktorima povoljnija vuča debala i duge oblovine od privlačenja sortimenata.

Zavisnost vertikalne sile od horizontalne komponente vučnog otpora u većini slučajeva pokazuje blagi pad, a zatim trend porasta.

Istraživanja su pokazala, da bi svakako uz proučavanje djelovanja bezdimenzijskog pokazatelja koeficijenta privlačenja, trebalo unijeti u istraživanja vuče drva i novi parametar, tzv. bruto koeficijent privlačenja drva, koji bi bio određen omjerom rezultatne vučne sile i veličine vučenog tereta. U našem slučaju se takav koeficijent kretao u granicama od 0,525 do 0,563 kp/kp.

Mali ustanovljeni koeficijenti vuče kod rada zglobnim traktorima mogu se objasniti velikom masom takvih traktora (specifična masa traktora 60 do 80 kg/KS). Samo u jednom slučaju smo postigli vrijednost koeficijenta vuče od 0,4. S porastom koeficijenta kotrljanja ustanovili smo pad koeficijenta vuče.

Ne treba smatrati generalnim zaključkom da s porastom vučnog otpora pada iskorištenje horizontalne komponente vučnog otpora. Kod vučnih otpora od oko 1 800 kp iskorištenje horizontalne komponente vučnog otpora iznosi oko 0,5. Kod vuče manjih tereta navedeni koeficijent raste te u graničnim slučajevima prelazi vrijednost $\varepsilon = 4,5$.

S porastom vodoravne sile vuče kut nagiba rezultatne vučne sile pada. Kod veličine sila od oko 2 000 kp kut je iznosio oko 30°. Za sile od 400 do 600 kp njegove vrijednosti padaju na 50 do 75°.

Općenito se može tvrditi da postoji slaba korelacijska veza vertikalnog opterećenja vučenog tereta na tlo i koeficijenta otpora. Na ovakav trend utječe niz nemjerljivih parametara tijekom privlačenja.

Zavisnost vučne snage od vertikalne komponente vučnog otpora pokazala je, da se sa sitnim sortimentima može malo utjecati na porast vertikalne komponente sile, a time i na adhezijsko opterećenje i vučnu snagu.

Za uvjete našeg pokusa i primijenjenog traktora, ustanovili smo graničnu vrijednost vertikalnog opterećenja od oko 1 270 kp.

Zavisnost vučenog tereta i koeficijenta privlačenja promatrali smo odvojeno za vuču stabala i debala. Utvrđena pravolinijska veza za stabla je izrazitija. Do identičnih zakonitosti smo došli i kod proučavanja ovisnosti veličina vučenog tereta i koeficijenta otpora.

Analizu zavisnosti adhezijskog opterećenja traktora i ostvarene vučne sile pokazuju da specifična težina traktora bez tereta od 74 kp/KS, u krajnjem slučaju tijekom eksploatacije raste na ca. 103 kp/KS, što znači da je povećanje opterećenja zagonjskih kotača iznosilo ca. 28 %.

U statičkom raspodjelu opterećenja mostova istraživanog traktora, na prednji je otpalo 66,7 %, a na stražnji 33,3 % opterećenja. Ustanovili smo da već kod horizontalne sile od oko 1 500 kp u eksploatacijskim uvjetima, stražnja osovina postaje dvostruko opterećenija od prednje. Kod maksimalnih tereta je navedeni omjer dosegao vrijednosti od 3,5, te u tom času dolazi u pitanje uzdužna stabilnost traktora. I vertikalne sile utječu značajno na preraspodjelu opterećenja po mostovima. Razlog nešto manjeg utjecaja treba tražiti u manjem kraku hvatišta vertikalne sile od kraka vodoravne komponente vučne sile. U našem slučaju je omjer krakova horizontalne i vertikalne sile iznosio oko 3,9.

Treba zaključiti da se kod privlačenja drva radi o suprotnim zahtjevima; s jedne strane želimo podići teret što više i time smanjiti kontaktnu površinu s tlom, s druge strane želimo smanjiti krak sile, dakle teret prihvatiti što bliže tlu. Što se tiče vertikalne sile, ograničavajući faktor je jedino konstrukcijske prirode. Teret nastojimo prihvatiti što bliže simetriji stražnjeg mosta. Iz rezultata istraživanja proizlazi, da u šumarstvu moramo za svaki pojedini slučaj primijenjene tehnologije kontrolirati stvarna dinamička opterećenja mostova, jer jedino ona pokazuju realno opterećenje tijekom privlačenja.

Za proučavano područje ustanovljena granična vrijednost stupnja korisnosti otpora kotrljanja približavala se vrijednosti od 0,89. I ovaj stupanj korisnosti je svojim tokom pokazao da je neracionalno vući zglobnim traktorima male terete. Za vuču rudničkog drva ustanovili smo stupnjeve korisnosti redovno ispod 0,5.

Stupanj korisnosti kotača tijekom privlačenja postigao je za sve naše pokuse graničnu vrijednost od 0,685. Maksimalnu vrijednost smo postigli u jednom slučaju vuče u iznosu od $\eta_k = 0,76$. S porastom obodne (tangentijalne) sile rastao je i stupanj korisnosti kotača. Granične vrijednosti su ustanovljene u iznosu od oko 0,58. S porastom klizanja ustanovili smo pad stupnja korisnosti kotača u četiri slučaja, dok u pet slučaja nije bilo izrazitog pada ili rasta stupnja korisnosti. Načelno možemo govoriti da je povoljnije vući što veći teret koji ostvaruje velike vertikalne sile u području malih horizontalnih vučnih otpora.

Stupanj korisnosti traktora smo također analizirali u zavisnosti od vučne sile, vertikalne sile, klizanja i drugih parametara. Maksimalni stupanj korisnosti je postignut za slučaj vertikalnog opterećenja od 1 800 kp u iznosu od 0,55. Za cjelokupno osnovno istraživanje kod klizanja od oko 24 % postignuta je maksimalna vrijednost stupnja korisnosti traktora.

Eksperimentalni rezultati utvrđivanja adhezijskog opterećenja su pokazali, da s njezinim povećanjem raste i specifična masa traktora. U ekstremnom slučaju je porasla za ca. 28 %.

Pri vuči na tlu povećane vlažnosti ustanovili smo smanjenje granične horizontalne sile na oko 40 % postignute one kod vuče po tlu normalne vlažnosti. Rasponi vlage za ocjenjivanje vlažnosti tla u poljoprivredi ne odgovaraju za potrebe ocjena tla pri privlačenju drva. U slučaju zakretnih momenata na tlu povećane vlažnosti, isti su opali u II stupnju prijenosa za oko 15 %. U III stupnju prijenosa taj pad je iznosio tek 7 %.

U slučaju vješanja debljeg kraja o vučno uže, vertikalna sila je bila ca. 29 % za II stupanj prijenosa, a čak 43 % u III stupnju prijenosa veća od sile ostvarene kod vješanja tanjeg kraja naprijed. Jednake zakonitosti smo utvrdili i za veličinu koeficijenta iskorištenja težine tereta.

Koeficijent vuče je bio u slučaju vuče debljim krajem naprijed u II stupnju prijenosa za 33 %, a u III stupnju prijenosa za 37 % veći. Iz ovog pokazatelja zaključujemo da je racionalnija vuča s debljim krajem naprijed, jer je potrebna manja specifična sila po jedinici vučenog tereta.

Koeficijent otpora kod vuče drva je za vuču tanjim krajem naprijed u II stupnju prijenosa veći za 9 %, a u III stupnju prijenosa je porastao za 15 %.

Za slučaj vuče s tanjim krajem naprijed ostvaren je povećani koeficijent vuče za 42 %. Dakle, došlo je do smanjenja koeficijenta vuče kod privlačenja s debljim krajem naprijed, iako je pritom bitno poraslo adhezijsko opterećenje traktora zbog povećanja vertikalnog opterećenja. No, pritom je bila potrebna manja vučna sila, koja je proporcionalna s koeficijentom vuče. Rezultantni koeficijent vuče je rezultat dvaju utjecaja; manje ili veće vučne sile, te većeg ili manjeg vertikalnog opterećenja i njegovog udjela u stvaranju rezultantnog adhezijskog opterećenja. Koji od utjecaja u pojedinom slučaju prevladava, stvorit će i veći ili manji ostvareni koeficijent vuče.

U slučaju rada u III stupnju prijenosa brzine dinamičke pojave imaju veliki utjecaj na vertikalnu komponentu vučnog otpora.

Posebnu pažnju smo posvetili razmatranju koeficijenta otpora kod vuče drva. Taj kompleksni parametar određivan je iz dviju veličina određenih dinamičkim mjerenjem tijekom privlačenja, te ukupne težine vučenog tereta. Proračun navedenog parametra pretpostavlja da na tlo tijekom vuče djeluje razlika opterećenja ustanovljene težine tereta i dijela opterećenja prenesenog na traktor. Dakle, prilikom ustanovljivanja koeficijenta otpora kod vuče drva pretpostavili smo da se u svakom trenutku povećanja vertikalnog opterećenja na traktoru uslijed dinamičkog djelovanja opterećenja, isto toliko smanji i normalno opterećenje vučenog tereta na tlo. Kod oblovine manjih duljina i kod rada s malim brzinama se to i dešava. S povećanjem duljine tereta i brzine rada, rezultati su pokazali da uobičajeno utvrđivanje koeficijenta otpora kod vuče drva mora doživjeti promjenu.

Analiza sedam različitih eksploatacijskih parametara pri vuči drva pokazalo je, da donošenje zaključka na temelju promatranja tek nekoliko njih, možemo dobiti potpuno pogrešnu sliku o uvjetima koji vladaju pri privlačenju. Tipičan primjer za to je promatranje samo koeficijenta vuče. Samo njegovim utvrđivanjem mogli bi ustvrditi da je povoljnije vući teret s tanjim krajem naprijed, a da pritom ne gledamo na neracionalno trošenje energije.

Općenito, na temelju proučavanja sedam eksploatacijskih parametara, od čega je pet bilo bezdimenzijskih, mogao bi se preporučiti rad na privlačenju drva kod minimalnog koeficijenta otpora vuče μ_p i koeficijenta privlačenja k_v , a pri najvećem koeficijentu vuče κ .

LITERATURA — REFERENCES

- Abeels, P., 1971.: Critères en vue de choix des équipements mécanisés pour les travaux en forêts, Bulletin de la Société Royale Forestière de Belgique, 78 (11), 432—450
- Anon., 1967. A: Choker Line Forces in Skidding Saw Logs, Bi-Monthly Research Notes, Vol. 23—23. 4, July—August, str. 28—29
- Anon., 1967. B: Strip Road Felling for Tractor Forwarding, Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Stockholm, str. 23
- Arvesen, A., 1970.: Snarekjøring av tømmer i hele lengder med terrenggående traktorer, Tree-Length Skidding by Farm Tractors and Frame Steered Skidders, Meddelelser fra det Norske Skogforsøksvese, No. 99, bind XXVII, Hefte 4, Vollebakk, str. 474
- Bekker, M. G., 1956.: Theory of Land Locomotion, Ann. Arbor, The University of Michigan Press, str. 522
- Bekker, M. G., 1960.: Off-the-Road Locomotion, Ann. Arbor, The University of Michigan Press, str. 219
- Bekker, M. G., 1973.: Introduction to Terrain-vehicle Systems, Ann. Arbor 1969. Prijevod: Vedenie v teoriju sistem mestnostmašina, Mašinstroenie, Moskva, str. 520
- Benić, R., 1950.: Skidéri u eksploataciji šuma, Šum. list, 74, 388—400
- Benić, R., 1963.: Transport šumski, Šumarska enciklopedija 2, JLZ, Zagreb, str. 657—658
- Benić, R., 1975. A: Die Anwendung von Forstschlepper Kockum 821 Tree Farmer in Gebirgsforsten SR Kroatiens, Zbornik radova IX Med. simpozija iz eksploatacije šuma, Zvolen, ČSSR, str. 4
- Benić, R., 1975. B: Neki elementi o kojima ovisi mogućnost primjene teške mehanizacije u nizinskim šumama, JAZU, posebna izdanja, knjiga II, Centar za znanstveni rad Vinkovci, Zagreb, str. 381—392
- Bennett, W. D., 1962.: Forces Involved in Skidding Full Tree and Tree Length Loads of Pulpwood, Woodlands Research Index, No. 137, August, str. 39
- Bojanin, S., 1968.: Elementi za određivanje utroška vremena kod trupljenja jelovih debala (broj prepiljivanja po deblu i 1 m³ drvene mase te prosječni promjeri prepiljivanja za pojedine sortimente), Šum. list, 92 (9—10), 373—392
- Bojanin, S., 1971.: Analiza rada zglobnih traktora kod izvlačenja debala, Šum. list, 95 (7—8), 231—255
- Bojanin, S., 1974.: Rad jednog ili dva radnika kod izvlačenja zglobnim traktorom, Drv. ind., 25 (7—8), 166—175
- Bojanin, S., Sever, S., Vukmanović, B., 1976.: Primjena zglobnog traktora TAF 650 kod izvlačenja duge bukove oblovine, Mehanizacija šumarstva, 1 (3—4), 71—99
- Bojanin, S., Sever, S., 1978.: Primjena zglobnog traktora Caterpillar 518 kod izvlačenja bukove deblovine i duge oblovine, Mehanizacija šumarstva, 3 (7—8), 179—191
- Brčić, J., Piria, I., 1967.: Elementi za ocjenu vrijednosti i način ispitivanja traktora velikih snaga, Agronomski glasnik, 17 (2), 149—164
- Brčić, J., 1970.: Matematičke i grafičke metode za proračunavanje vučnih svojstava traktora i otpora prikolica i plugova, Interna skripta Zavoda za poljoprivredno strojarstvo, FPZ Zagreb, str. 77
- Brežinščak, M., 1970.: Mjerenje i računanje u tehnici i znanosti, Teh. knjiga Zagreb, str. 1310
- Calvert, W. W., Garlicki, A. M., 1968.: Tree-Length Orientation and Skidding Forces, Reprinted from Pulp and Paper magazine of Canada, June 21, str. 4
- Conway, S., 1976.: Logging practices, Principles of Timber Harvesting Systems, Miller Freeman Publications, str. 416
- Coolman, F., 1970.: Faktori koji utječu na vučnu silu traktora u poljoprivredi, Zbornik radova simpozija Mehanizacija u poljoprivredi, Zagreb, 91—94
- Dahl, O. S., 1973.: Trekraftbehov ved slepekjøring av fulltraer og stammer, Hovedoppagane i Skogsbrukets Driftsteknikk, Norges Landbrukshøgskole, str. 48

- Dziubak, W., Starczewski, S., 1965.: Badanie oporów przy zrywce calych Drzew i dłużyć z nich wyrobionych oraz proba ustalenia zapotrzebowania mocy przy wykonywaniu tych prac, Prace Instytutu badawczego leśnictwa, Warszawa, Nr. 297, 73—87
- Garlicki, A. M., 1967. A: A Rectangular Components Transducer for Measuring Skidder Forces, Woodlands Review, August, 346—348
- Hafner, F., 1964.: Der Holztransport, Österreichischer Agrarverlag Wien, str. 460
- Herrick, D. E., 1955.: Tractive Effort Required to Skid Hardwood Logs, Forest Products Journal, 5, 250—255
- Höfle, H. H., 1974.: Techniques for Analysis, Comparison and Choice of Harvesting Systems — a Central Europeas Point of View, Zbornik radova Forest Harvesting Mechanization and Automation, Proceedings IUFRO Division 3, Canadian Forestry Service Department of the Environment Ottawa, Ontario, Canada, str. 399—416
- Horvat, D., 1976.: Analiza tehničkog stanja motora traktora, Zbornik radova savjetovanja Aktualni problemi mehanizacije poljoprivrede, Zagreb, str. 10
- Horvat, D., 1979.: Neke metode određivanja najpovoljnijeg režima rada kod priključivanja oruđa odnosno tereta na traktor, Mehanizacija šumarstva, 4 (7—8), 243—257
- Igrčić, V., 1978.: Stanje mehanizacije krajem 1977 godine u SR Hrvatskoj, Biblioteka mehanizacije, br. 2, str. 38
- Jandel, R. a Kolektiv, 1972.: Mechanizačné prostriedky lesnicke, I diel, Vysoká škola lesnicka a drevárska, Zvolen, str. 181
- Karadžić, B., Šuput, B., Milovančević, S., 1977. i 1978.: Električna merenja neelektričnih veličina — primena u poljoprivrednoj tehnici, Savremena poljoprivredna tehnika, 3/77. (57—61), 4/77. (44—56), 1—2/78. (45—57), 3/78. (55—68)
- Karadžić, B., 1979.: Značaj primene savremenih mernih metoda u oblasti eksploatacije poljoprivredne tehnike, Zbornik radova JUREMA 24, 3. svezak, str. 251—255
- Kavjarov, I. S., Pozin, B. M., Samatov, Ju. P., 1966.: Zavisimost proizvoditeljnosti promišlenih traktornih agregatov od udeljnih parametror traktorov, Traktori i seljhozmašini, 36 (10), 9—10
- Kolobov, G. G., Parfenov, A. P., 1972.: Tjagovie karakteristiki traktorov, Mašinstroenie, Moskva, str. 153
- Krivec, A., 1979.: Suvremeni načini pridobivanja drveta, Zbornik referata međunarodnog naučno-tehničkog savjetovanja o izboru tehnologija i tehničkih sredstava u iskorišćivanju šuma, Ljubljana, str. 129—139
- Križnar, M., 1970.: Upoređenje vučnih svojstava traktora u odnosu na način prenošenja vučne sile na podlogu, Zbornik radova simpozija Mehanizacija u poljoprivredi, Zagreb, str. 13—30
- Križnar, M., 1973.: Proučavanje nekih eksploatacionih parametara poljoprivrednih traktora, doktorska disertacija, Fakultet poljoprivrednih znanosti Zagreb, Novi Sad — Zagreb, str. 151
- Križnar, M., 1975.: Proučavanje nekih eksploatacionih parametara poljoprivrednih traktora, Zbornik radova savjetovanja Aktualni problemi mehanizacije u poljoprivredi, Zagreb, str. 14
- Križnar, M., 1976.: O klizanju traktorskog točka i o nekim posledicama klizanja, Zbornik radova Mehanizacija proizvodnih procesa industrijskih kultura, Priština, 371—378
- Križnar, M., 1978.: Kakav pneumatik? O nekim specifičnostima prenosa snage pri radu poljoprivrednih traktora, Agrotehničar, 14 (1), 7—9
- Križnar, M., 1980.: Analiza podobnosti traktora za kretanje u uslovima javnog saobraćaja, Zbornik radova jugoslavenskog simpozija o aktualnim problemima mehanizacije poljoprivrede, Šibenik, str. 163—178
- Križnar, M., Nikolić, R., Furman, I., 1980.: Mogućnosti za smanjenje potrošnje goriva kod traktora, VII savjetovanje stručnjaka poljopr. tehnike Vojvodine, I dio, Poreč, str. 331—347
- Kump, M. i suradnici, 1970.: Poljski pokusi, metodika postavljanja i statistička obrada, Centar za primjenu nauke u poljoprivredi SR Hrvatske, Zagreb, str. 121

- Lovrić, N., Benić, R., 1952.: Upotreba skidera za privlačenje oblovine, Drvna industrija, 3 (10—12), 1—10
- Lovrić, N., 1976.: Mogućnost primjene centralnog izvlačenja kod planiranja i projektiranja šumskih transportnih sustava, doktorska disertacija, ŠF Zagreb, str. 200
- Lovrić, N., 1979.: Prikaz izgradnje šumske putne mreže na području Like, Zbornik radova II znanstvenog simpozija Udio Like u znanosti i privredi, Gospić, str. 5—11
- Lünzmann, K., 1954.: Physikalische Grundlagen des Holzlückens, Forstarchiv, Zeitschrift für wissenschaftlichen und technischen Fortschritt in der Forstwirtschaft, 25 (7), 167—168
- Lünzmann, K., 1964.: Der Widerstandsbeiwert beim Rücken von Rundholz und sein Zusammenhang mit der Bodenmechanik, Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Reinbek bei Hamburg, No. 55, Januar, str. 55
- Lünzmann, K., 1968.: Rechnerische Grundlagen, physikalische Einflussfaktoren und daraus abgeleitete Grenzen des Holztransportes, Forstwissenschaftlichen Zentralblatt, 87 (2), 100—105
- Megille, X. de, 1957.: Du choix de tracteurs pour le débardage, Organisation des National Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome, 189 pp., priredio: Leloup, M., Tractors for logging, FAO, No. 1, str. 189
- Mikkonen, E., Wuolijoki, E., 1975.: Pikatestausten suoritusenkniika, Metsätehon Katsaus, No. 9, str. 3
- Mininzon, V. I., 1965.: O nominalnom tjavomov usilii seljskohozjajstvennovo traktora, Mehanizacija i elektrifikacija, br. 5
- Pampel, W., 1978.: Grundlagen der Forsttechnik und Forsttechnologie, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, str. 256
- Parfenov, A. P., 1968.: O nominalnom tjavomov usilii S.-H. traktora, Traktori i seljhozmašini, 38 (2), 4—7
- Pirja, I., 1973.: Utjecaj vertikalnih sila nošenih oruda na koeficijente korisnog djelovanja traktionog uređaja traktora s gumenim kotačima, doktorska disertacija, FPZ Zagreb, str. 228
- Pirja, I., 1975.: Neki eksploatacioni parametri traktorskih agregata u uvjetima povećane vlažnosti tla, Zbornik radova savjetovanja Aktualni problemi mehanizacije poljoprivrede, Zagreb, str. 19
- Pirja, I., 1978.: Ekonomičnost i produktivnost rada traktorskih agregata s traktorima različite instalirane snage, Zbornik radova sa savjetovanja Aktualni problemi mehanizacije poljoprivrede, Split, 37—46
- Pirja, I., 1980.: Istraživanje nekih parametara za optimalno agregatiranje traktora velikih snaga, Zbornik radova jugoslavenskog simpozija o aktualnim problemima mehanizacije poljoprivrede, Šibenik, str. 815—829
- Popov, R., Anđelković, S., 1980. A: Određivanje optimalne raspodele statičke težine traktora po njegovim osama u zavisnosti od vučne sile traktora, Zbornik radova VII savjetovanja stručnjaka polj. tehnike Vojvodine, Poreč, I dio, str. 362—383
- Popov, R., Anđelković, S., 1980. B: Određivanje optimalne statičke i dinamičke raspodele eksploatacione težine traktorskog agregata po njegovim osama, Zbornik radova jugoslavenskog simpozija o aktualnim problemima mehanizacije poljoprivrede, Šibenik, str. 211—228
- Samset, I., 1956.: Tømmertransport med mest og traktor på snepakkete veier, Timber transport with horse and tractors on compact snowroads, Vollebakk, Norge, No. 47, Bind XIII, Hefte 4, str. 325—740
- Samset, I., 1979.: Krefter og effekter i vinsjog taubanesystemer, Forces and powers in winch- and cable systems, Meddelelser fra Norsk institut for skogforskning, 35.2, Ås, str. 211
- Schlaghamersky, A., 1976.: Erfahrungen aus forsttechnischen Prüfungen vom Knickschlepper Holder A 55 F, Zentralblatt für das gesamte Forstwesen, 93 (2), 87—102
- Serdar, V., 1975.: Udžbenik statistike, ŠK Zagreb, str. 401
- Sever, I., Sever, S., 1966.: Metod prilazjenja izboru transportnih naprava i uređaja, Agronomski glasnik, 16 (6—7), 479—486

- Sever, S., 1974. A: Neki eksploatacijski parametri koji utječu na sposobnost vuče traktora, Bilten Poslovnog udruženja šumsko privrednih organizacija, br. 12, Zagreb, str. 775—791
- Sever, S., 1974. B: Primjena znanstvenih dostignuća u razvoju mehanizacije u šumarstvu, Zbornik radova simpozija Mehanizacija tehnoloških procesa u suvremenim sistemima gospodarenja šumama, Bjelovar, str. 25
- Sever, S., Bojanin, S., 1976.: Ein Beitrag zu Untersuchung einiger technischen Grössen beim Holzrücken und -Abfuhr (Prilog proučavanju nekih tehničkih veličina pri vuči i izvoženju drva), koreferat održan na XVI Kongresu IUFRO, Oslo, str. 5
- Simić, D., 1973.: Motorna vozila, Tehnička knjiga Beograd, str. 426
- Simić, D., 1977.: Motorna vozila, Naučna knjiga Beograd, str. 549
- Söhne, W., 1970.: Agricultural Engineering and Terramechanics, Institutsveröffentlichungen, Heft 1, Institut für Landmaschinen T H München
- Stajniak, J., 1965.: Badanie oporów występujących przy zrywce drewna w zależności od rozmiaru pojedynczych ładunków, Prace Instytutu badawczego leśnictwa, Warszawa, Nr. 287, 105—148
- Steinkampff, H., 1970.: Wirtschaftliche Leistungübertragung von Ackerschleppern, Zbornik radova simpozija Mehanizacija u poljoprivredi, Zagreb, str. 117—127
- Steinlin, H., Zehntner, K., 1953. A: Reibungswiderstände beim Schleifen von Stämmen auf horizontalen Versuchsstrecken, Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen, XXIX Band, 1. Heft, 315—334
- Steinlin, H., Zehntner, K., 1953. B: Untersuchungen zur Verbesserung des Holztransportes im Gebirge, Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen, XXIX Band, 1. Heft, 131—151
- Tomanić, S., 1974.: Racionalizacija rada pri sječi, izradi i privlačenju drva, doktorska disertacija, ŠF Zagreb, str. 468
- Tomčić, B., 1974.: Iskorišćivanje šuma na Bilogorsko-Podravskom području, Edicija Sto godina šumarstva Bilogorsko-Podravske regije, Bjelovar, 269—319
- Ugrenović, A., Benić, R., 1957.: Eksploatacija šuma, Grafički zavod Hrvatske, Zagreb, str. 481
- Wischof, H. J., 1978.: Sicherheitstechnische Anforderungen an Ackerschlepper aus der Sicht der Industrie, Landtechnik, 33 (11), 476—477
- Zajčik, M. I., 1976.: Projektirovanie i rasčet specijalnih lesnih mašin, Lesnaja promišlenost, Moskva, str. 208
- Young, G. G., Berlyn, R. W., 1968.: Some Variations in Soil Trafficability as Measured with a Cone Penetrometer, Woodlands Reports, Pulp and paper research institute of Canada, Pointe Claire, No. 5, str. 27

STANISLAV SEVER

INVESTIGATIONS OF SOME TRACTOR'S EXPLOITATION PARAMETERS AT WOOD SKIDDING

CONCLUSIONS

Based on the morphological analysis of logging tractor and preliminary and main investigation work carried out into the wood skidding with skidders, we have come to the following conclusions:

Morphological analysis of tractor

The centres of the spreading area of index form B/L depending on H/L come relatively near being $B = H$ centreline. For adapted forestry tractors they amount to $B/L = 0.52$ and $H/L = 0.57$, whereas for skidders $B/L = 0.45$ and $H/L = 0.48$.

The width of the adapted skidding tractors increases to the limit value of about 2.5 m. The length increases to a limit value as well; for the mass 4 t the length amounts to 4 m. Skidder's width reaches even greater values than the legal limitation of 2.5 m allows. The same tendency shows the length of these tractors.

The effective engine power is proportional to the tractor mass: 1 kg of skidder's mass carries an essentially smaller part of engine unit power.

The approximate limit values of tractor's geometrical dimensions are the following: adapted forestry tractors — $B = 2.55$ m; $L = 4.20$ m; $H = 2.56$ m; — skidders — $B = 3.02$ m; $L = 6.61$ m; $H = 3.06$ m.

The curve of specific tractor mass of the adapted forestry tractor is breaking when the power reaches some 40 . . . 50 KS and some 75 KS for skidders. By further increase of the power the specific tractor mass remains constant.

For both, the adapted forestry tractors and skidders, an increase of the effective power causes the increase of the imaginary specific pressure. Only that the adapted tractors shows somewhat greater steepness. When the mass is about 4 t the curves of the imaginary specific pressure separate.

The approximative determination of turning radius shows that the frame steered tractors can be about twice as long as the front axle steered ones, but both having the same turning radius. This is the main reason

for skidder's length increase in dependence on the mass and its exceeding the limit line given for standard tractors. It is impossible to determine the limit values of mass and power out of morphological analysis.

Preliminary investigations

An increase in tractive load causes the increase in the horizontal component of tractive resistance. The connection is full linear. The correlation between the tractive load and its ground loading as well as both the tractive coefficient and the skidding resistance is not significant. The same conclusions are drawn for the correlation between the horizontal component of tractive resistance and the above mentioned coefficients.

The tractive coefficient shows full relationship with the tractive resistance. The correlation between the tractive force and the slip shows almost linear relation.

An increase in tractive resistance reduces the skidding speed.

For smaller tractive resistance a significantly greater force is needed to overcome the resistance of static friction. The relation between the beginning force and the horizontal component of tractive resistance is beyond 2.1. For the maximum tractive force of 1.400 kp obtained by measuring this relation comes to about 1.5.

At skidding with the oak-tree butt ends foremost the resistance coefficient comes to about 563 kp/t of load; with top ends foremost an average value of resistance coefficient is 572 kp/t of load. At oak skidding the coefficient of resistance is about 2% smaller when the skidding is performed with butt ends foremost. Only one test showed remarkable at long log skidding with top ends foremost; in this case the tractive resistance amounted to 12.8%.

When oak logs and sortiment (length 4 ... 5 m, DBH 65 cm) are suspended on the rear axle with their butt ends foremost they transfer 51.5% of load weight to the rear axle. For the top ends foremost the figure lies about 48.5%. When the rear axle was loaded with logs of 15 ... 16 m length and DBH 65 cm the following results were obtained: butt ends foremost — 57.1%; top ends foremost — 39.3%.

Only simultaneous measuring of the components of choker-line force with transducers can provide a real description of skidding forces (vertical and horizontal forces affecting the skidding trail which, as a measuring result, define the angle inclination of the choker-line to the skidding trail). In this case it is possible to evaluate the effect of skidding full tree, tree length and long logs on the forces required to move timber.

Main investigations

The investigation of soil characteristics show that the soil on which the skidding was performed was homogeneous. The grain size composition of the soil shows that it was loam coming near to dusty loam.

The measuring of the average specific pressure on the wheel track at depth of 140 mm during skidding shows load transfer from front to

rear axels, too. The maximum pressure values don't increase with load choking, but they extend over greater width.

The main investigation confirmed the existence of strong relation between traction resistance and skidding load. The correlation between the skidding coefficient and choker-line force is very strong. The skidding of pitwood with the skidder examined proved irrational.

The study of slip values as a fundamental parameter of wood skidding is rendered more difficult because of the measurement devices available under given exploitation conditions.

For the limit slip of about 40% the tractive coefficient (so-called net traction) equals 0.3. The examination results obtained show that skidders are more convenient for stem and long logs skidding than for sortiment skidding.

The relationship between vertical and horizontal component of tractive drag usually shows slight decrease followed by a trend of increase.

The examination shows that at wood skidding not only the dimensionless coefficient of skidding as defined in text should be tested, but also — and this at any rate — a new parameter, the so-called gross coefficient of skidding.

This new parameter is defined as the ratio of choker-line force (resultant force) and load weight. In our case the parameter were between 0.525 ... 0.563 kp/kp.

The small traction coefficient obtained at skidding with skidders can be explained through this tractor's type large mass (specific mass of skidders being 60 ... 80 kg/KS). The traction coefficient of 0.4 was obtained in only one of the tests performed. An increase of the rolling coefficient causes decrease of the coefficient of traction. It is not a general conclusion, but we may say that an increase in traction drag reduces the efficiency of the horizontal component of traction drag. For traction drag of about 1.800 kp the efficiency of the horizontal component of traction drag was about 0.5. When skidding smaller loads this coefficient grows and exceeds 4.5 in limit cases.

An increase in the horizontal component of force causes decrease in the angle inclination of the choker-line force. For force of about 2.000 kp the angle shows about 30°. For forces between 400 and 600 kp the angle is about 50° ... 75°.

Generally it may be said that there is only a slight correlation between the skidding timber vertical load on ground and the coefficient of drag. This trend is influenced by a series of nonmeasurable parameters appearing at skidding.

The correlation between tractive power and the vertical component of traction drag shows that it is impossible to influence the increase of the vertical component of tractive force with small-sized sortiment and, as a consequence, the adhesive load and the drawbar power cannot be influenced either.

In our experiment, considering the existing conditions and the applied skidder, we obtained the limit value of the vertical load of about 1.270 kp.

The correlation between tractive load and skidding coefficient was observed separately for full tree and for stem skidding. In the case of full tree skidding an explicit linear correlation was obtained. We tested also the relationship between tractive load and resistance coefficient and found out that it behaves exactly in the same way, i. e. that it is linear.

The analysis of the relationship between the tractor's adhesiv load and the pulling force shows that the tractor's specific weight of 74 kg/KS (without load) increases at exploitation to 103 kp/KS which means that the increase in driven wheels load was about 28%.

The static distribution of load on axles for the tractor tested was 66.7% of load on the front and 33.3% on the rear axle.

We have found out that in such exploitation conditions by horizontal force of 1,500 kp the rear axle compared to the front one is already double loaded. At the maximum load this relation amounts to 3.5 which means that at this moment the longitudinal stability of tractor is already disturbed. The influence of vertical forces on redistribution of loading on axles is significant. Horizontal forces influence the redistribution slightly less than the vertical ones, as the arm of point application is smaller for vertical force than for the horizontal component of tractive force. In this case the ratio between the arms of horizontal and vertical forces was about 3.9.

The obvious conclusion that follows from the above is that at wood skidding we deal with the question of opposite demands; on the one hand the load ought to be suspended as to reduce the ground contact area and on the other hand the force arm ought to be reduced as to choked the load as near as possible to the ground. As for the vertical forces the limiting factor is of constructional nature only. Efforts were made to choke the load as near to the centreline of the rear axle as possible. The results of the investigation show that for each particular case of forestry technology it is necessary to control the actual dynamic loading on axles because only this way the actual loading at skidding is shown.

For the field examined the limit value of the rolling resistance coefficient of efficiency was found to be 0.89. This coefficient's curve also proved that the skidding of small loads with skidders is not rational. The skidding of pitwood shows efficiency of less than 0.5.

In all our experiments the wheel efficiency at skidding achieved the limit value of 0.685. The maximum value of 0.76 was obtained in one case only. An increase in the peripheral (tangential) force causes the increase in the wheel efficiency, too. The limit values obtained were about 0.58.

With the increase of slip the wheel efficiency increase followed in four cases, whereas in five cases there was no characteristic decrease or increase of wheel efficiency at all.

Generally we may say it is more advantageous to haul as heavy load as possible and produce this way great vertical forces in the field of small horizontal tractive drag.

The coefficient of tractor efficiency was analysed in relation to tractive force, vertical force, slip and some other parameters. The maximum value of tractor efficiency was achieved at vertical load of 1.800 kp and it equaled 0.55. The maximum tractor efficiency was reached at slip of 24% in all our main investigation tests.

The test results obtained for adhesive load show that an increase of adhesive load causes the increase of tractor's specific mass, too. In an extreme case this increase amounted to about 28%.

At skidding on the soil with increased moisture content we obtained a decrease in the horizontal component of force limit value amounting to about 40% of the force gained on the soil with smaller (normal) moisture content. Moisture content classification defined for the estimation of agricultural soil moisture are not suitable for estimating the soil at wood skidding. The increased moisture content of the soil causes a decrease in torquo at skidding at 2nd gear of about 15%. At 3rd gear the decrease is 7%.

If the butt ends are suspended on choker line foremost the vertical force at 2nd gear skidding is about 29% and at 3rd gear about 43% greater than in case when stems are choked with top ends foremost. The efficiency coefficient of load weight was found to behave in the same way.

The traction coefficient at butt ends foremost skidding at 2nd gear was more than 33% and at 3rd gear more than 37% greater. This parameter shows that the skidding with butt ends foremost is more rational because in that case the needed specific force per unit of skidding load is smaller.

The coefficient of resistance at wood skidding with top ends foremost and at 2nd gear is about 9% and for 3rd gear about 15% greater. At skidding with top ends foremost the coefficient of traction increases about 42%. The traction coefficient decreased for stems choked with butt ends foremost, although the tractor's adhesive load increased considerably as result of increased vertical loading. Nevertheless a smaller tractive force proportional to traction coefficient was needed in this case. The resultant traction coefficient results from a double influence; from smaller or greater tractive forces on the one hand and from greater or smaller vertical loading and its share in forming the resultant adhesive loading on the other hand. Depending on which of the two influences will prevail in a particular case we obtain greater or smaller actual traction coefficient.

At skidding at 3rd gear the vertical component of tractive drag is considerably affected by dynamic influence.

Special attention has been paid to the analysis of drag coefficient at wood skidding. This complex parameter was determined from two parameters, both defined through a dynamic test of skidding and the total weight of tractive load. The determination of this parameter implies that during the time of skidding the ground is affected by the difference between the load weight and the part of loading transfered on the tractor. Consequently, to determine the resistance coefficient at wood

skidding we implied that at any moment at which the vertical load on the tractor is increasing as a result of dynamic effect of suspended timber, the normal vertical loading of skidding timber on ground decreases proportionally. The same occurs when skidding round timber of smaller length or when the skidding is performed with smaller speed. An increase in load length and in skidding speed, as the investigation showed, leads to inability to determine the coefficient of drag at wood skidding in the way commonly used.

The analysis of seven different exploitation parameters at wood skidding shows that drawing conclusions on the basis of only some of them may form an inadequate image of the skidding conditions. A typical example of error would be to take into consideration the traction coefficient only and draw the conclusion that it is more advantageous to perform skidding with top ends foremost, i. e. neglect the irrational energy consumption at all.

Based on the examination of seven exploitation parameters, five of which were dimensionless, the general advice may be given to perform the skidding work with the minimum resistance coefficient μ_p and skidding coefficient k_v , but with the maximum traction coefficient value κ .

ZVONKO SELETKOVIĆ

ŠUMSKO UZGOJNO ZNAČENJE TEMPERATURNE INVERZIJE U KITNJAKOVIM I BUKOVIM ŠUMAMA MEDVEDNICE

WALDBAULICHE BEDEUTUNG DER TEMPERATURINVERSION IN TRAUBENEICHE- UND BUCHENWÄLDERN VON MEDVEDNICA

Mikroklimatska istraživanja obavljena su na Zagrebačkoj gori u šumskim zajednicama: šuma hrasta kitnjaka s belkicom (*Luzulo — Quercetum petraeae* Passarge 1953), neutrofilna gorska bukova šuma (*Fagetum croaticum montanum neutrophyllum* Anić 1959) šuma hrasta kitnjaka i običnog graba s klokočikom (*Quercus — Carpinetum croaticum staphyletosum* Horvat 1938) i šuma crne johe s trušljikom (*Frangulo — Alnetum glutinosae* Rauš 1968). Iz vrijednosti srednje dnevne temperature zraka koja na vrhu grebena iznosi 23,8 °C, a u podnožju grebena 19,4 °C uočavamo temperaturnu inverziju od 4,4 °C. Srednja dnevna temperatura tla razlikuje se za 2,0 °C. Temperaturna inverzija uzrokovala je i inverziju vegetacije. Istraživanja pokazuju da različite mikroklimatske prilike na pojedinim lokalitetima uvjetuju formiranje različite vegetacije.

Ključne riječi: Medvednica, vegetacija, temperatura, temperaturna inverzija, mikroklima, struktura sastojine

UVOD I PROBLEM ISTRAŽIVANJA — EINFÜHRUNG UND UNTERSUCHUNGSPROBLEM

Klima bitno utječe na rasprostranjenost i izgled vegetacije i odavna je privlačila i zanimala istraživače u kolikoj su ovisnosti. Pridolazak, razvoj i opstanak vrsta drveća odnosno pojedinih prirodnih vegetacijskih jedinica ovisi o ekološkim faktorima koji vladaju na tom području. To su najprije klima i tlo. Na rasprostranjenost vegetacije ili u horizontalnom ili u vertikalnom smislu direktno utječe klima sa svim svojim faktorima. Klima i vegetacija imaju uzajamno djelovanje; jer kao što klima utječe na rasprostranjenost vegetacije, tako i vegetacija modificira klimu. Vertikalna rasprostranjenost biljnih zajednica u svim vegetacijskim područjima ima svoje zakonitosti. Svojom prisutnošću, pravilnim slojanjem ili odstupanjima upoznaje nas s ekološkim prilikama ili nas upozorava na neke promjene u određenom lokalitetu.

Izgled, sastav i razvoj vegetacije usko je povezan s položajem, reljefom i klimom. Na određenom lokalitetu razvit će se ona klimatogena ili lokalno uvjetovana zajednica koja se najbolje prilagodila vladajućim ekološkim prilikama.

Inverzija temperature i vertikalni obrat vegetacije kao i općenito odnos klime i vegetacije bio je predmet istraživanja velikog broja istraživača.

Aichinger (1932, 1933) opisuje pridolazak smreke oko Ljubelja i piše: »U uvalama se skuplja hladni zrak koji ne može otjecati. Zbog toga nastaje jezero studeni, koje sprečava život bukvi i zaustavlja razvitak vegetacije, pa se šuma smreke zadržava kao trajna zajednica uvjetovana klimom«.

U cjelokupnom ovom praćenju i proučavanju zakonitosti vertikalnog slojanja vegetacije moramo obratiti pažnju na razloge koji su uvjetovali to slojanje.

Horvat (1953) upozorava da bismo trebali razabirati pojam dubljinske zonacije i obrat visinskih pojasa.

Geiger (1950) to isto potvrđuje riječima: »Obrat normalnog temperaturnog slojanja pod utjecajem pritjecanja hladnog zraka odrazuje se dakle i u naopakom slojanju biljaka«.

U našim područjima temperatura zraka na svakih 100 m nadmorske visine snižava se približno za 0,55 °C (termički gradient). Međutim, već na prvi pogled uočavamo na Medvednici veliko bogatstvo reljefnih formi koje nastavaju različite šumske zajednice, a što ima veliki utjecaj na intenzitet promjene temperature s visinom.

Uzevši u obzir sve ove spoznaje o utjecaju klime, položaja, reljefa i tla na razvoj vegetacije, zanimalo nas je u kojoj mjeri utječe mikroklima i temperaturna inverzija na pridolazak šumske vegetacije i na način gošpodarenja.

Da bismo odgovorili na ovo pitanje obavili smo istraživanja u podnožju Medvednice uz cestu i potok Bliznec na nadmorskoj visini od 330 m do 450 m između dva grebena.

OPĆI PODACI O ISTRAŽIVANOM PODRUČJU — ALLGEMEINE ANGABEN ÜBER DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET

Geografske značajke i reljef — Geographische Merkmale und Relief

Medvednica zauzima položaj između 15° 50' i 16° 20' istočne dužine te 45° 48' i 46° 3' sjeverne širine.

Smještena je između rijeke Save, Lonje i Krapine. Glavni trup Medvednice eliptičnog je oblika i usmjeren je u pravcu SW—NE. Dužina Medvednice iznosi oko 42 km a širina cca 20 km. Uzdignuta neposredno iznad Šavske doline doima se oštro izdvojena od okolnog prostora. Iz glavnog uzdužnog grebena, pružaju se bočni grebeni, većinom okomiti na uzdužni hrbat, između kojih su se smjestile doline.

Za obje strane Medvednice karakteristična je velika orografska rasčlanjenost, koja je uvelike uvjetovana petrografskim sastavom. Osim mnoštva vodotoka i izvora, Medvednicu su izbrazdali i mnogobrojni potoci i jarci, te joj je teren znatno izlomljen, a prigorski pojas razdijeljen na manje sektore i rebra.

Geološko-litološka podloga — Geologische Unterlage

Medvednica se izdiže osamljeno iznad diluvijalnih i mladotercijarnih tvorevina. Za središnju Hrvatsku posebno su važni elementi medvedničko-balatonske građe, koji su okomiti na osnovno Dinarsko pružanje, a s alpskim smjerom se sjeku pod ostrim kutom.

Ovaj relativno malen gorski masiv pokazuje u svom razvoju i slojanju formacija mnoge raznolikosti. Sastavljen je od prastarih škriljevaca do mezozojskih vapnenaca.

U istraživanom području geološku podlogu sačinjavaju uglavnom vodopropusne naslage zelenih škriljevaca.

Klimatske prilike — Klimatische Verhältnisse

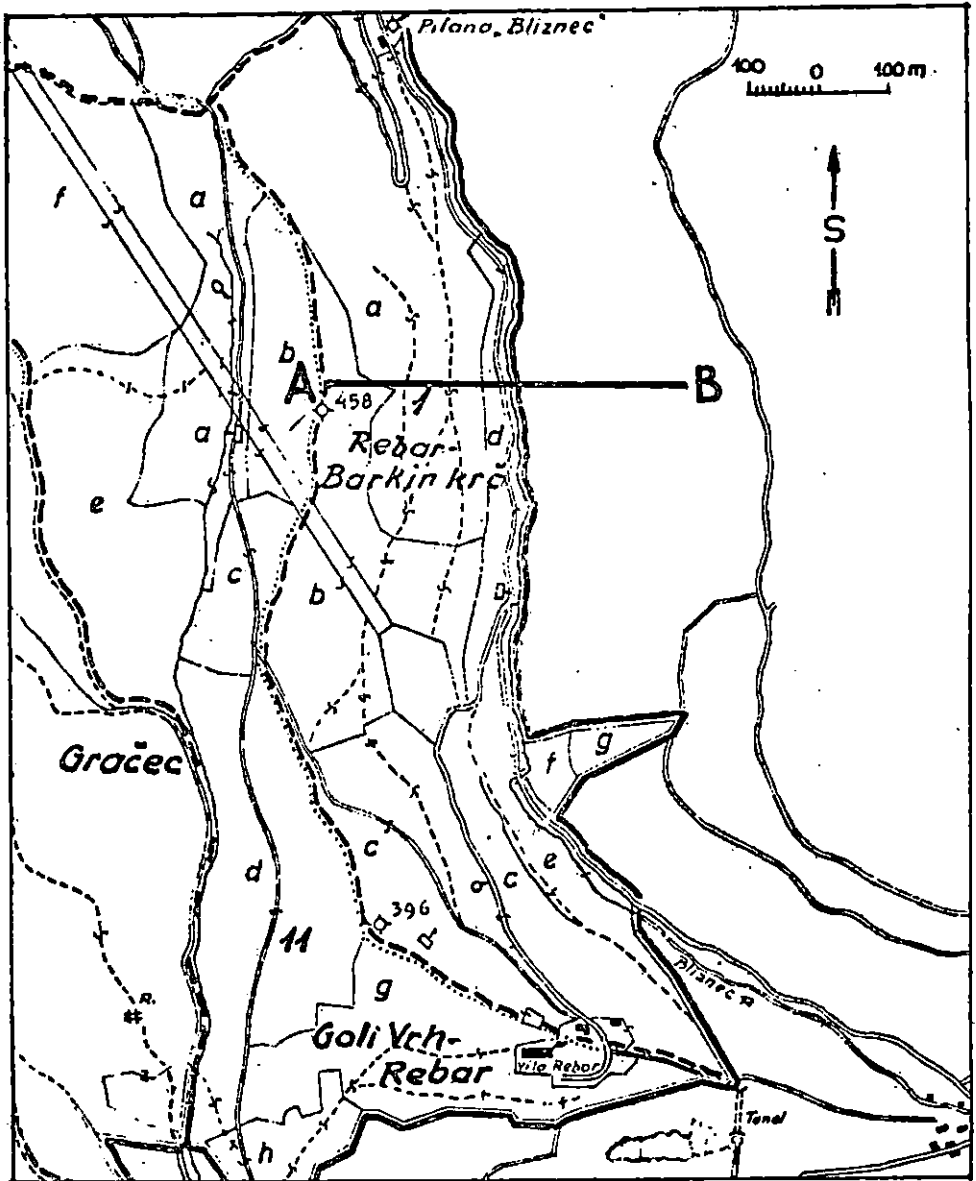
Medvednica pripada oblasti humidne klime. Srednja godišnja temperatura zraka u njenom podnožju na meteorološkoj stanici Grič iznosi 11,7 °C, a na vrhu na meteorološkoj stanici Sljeme 6,5 °C. Kolebanje temperature zraka opada s nadmorskom visinom, te ono na Griču (kota 157 m) iznosi 21,5 °C a na Sljemeni (kota 999 m) 18,9 °C.

Srednja godišnja relativna vlaga zraka iznosi na Sljemeni 79% a na meteorološkoj stanici Grič 70%. Vrijednosti relativne vlage zraka na vrhu i podnožju Medvednice imaju vrlo sličan godišnji hod sa srednjim mjesečnim temperaturama.

Godišnje količine oborina na Sljemeni iznose 1 297 mm, a na meteorološkoj stanici Grič 874 mm. Srednje mjesečne količine oborina za područje Medvednice imaju karakterističan hod za kontinentalni oborinski režim. Maksimalne mjesečne količine oborina padaju u lipnju i to uglavnom u obliku pljuskova. Minimum mjesečnih padavina pojavljuje se u veljači i ožujku. Na grebenu Medvednice padne prosječno 450 mm više oborina nego na njenom podnožju (Grič). Jači porast padavina pojavljuje se kod nadmorske visine od 500 m.

Snježni pokrivač na vrhu Medvednice pojavljuje se mjesec dana ranije nego u podnožju i u prosjeku na grebenu pada 22 dana duže nego u gradu Zagrebu. Prosječno zadržavanje snježnog pokrivača iznosi u gradu Zagrebu 68 dana, a na vrhu Medvednice 174 dana.

Prema učestalosti vjetra glavni smjerovi su SE i NE okomiti na glavnu os prštezanja Medvednice. Vrlo je različit dnevni hod jačine vjetra u podnožju i na grebenu Medvednice. Jačina strujanja prizemnog sloja zraka u podnožju Medvednice najslabija je u ranim jutarnjim satima, dok je prema prosječnim vrijednostima to strujanje najjače u 14,00 sati. Za greben Medvednice obratna je situacija. Najmanja jakost vjetra je u 14 sati, a najveće vrijednosti jačine vjetra pojavljuju se u jutarnjim satima.



Slika — Bild 1. Šumsko-gospodarska karta istraživanog područja — Wirtschaftskarte des Untersuchungsgebietes

Za vrijeme hladnih mjeseci od studenog do veljače na grebenu Medvednice više je sunčanih dana nego u Zagrebu.

Čest je slučaj da se u tom vremenu zabilježe i veće vrijednosti temperature zraka na grebenu nego u samom gradu, koji je nerijetko zavijen u maglu. U ljetnim mjesecima temperatura zraka gorskog masiva Medvednice niža je od one u gradu pa strujanje zraka s Medvednice djeluje osvježavajuće.

Greben Medvednice prirodna je barijera i vjetrovima i oborinama. Klimatske prilike i jedne i druge strane grebena različite su, što je i uvjetovalo i različitost u pojavi šumskih zajednica (vegetacije).

Sveukupno uzevši, Medvednica sa svojim šumama igra važnu ulogu u životu i razvoju grada Zagreba. Ona je omiljeno izletišta njegovih žitelja, prirodna zaštita od temperaturnih ekstrema, vječni snabdjevač čistog zraka i nepresušni izvor pitke vode.

Pedološke značajke — Pedologische Eigenschaften

Na osnovu pedološke karte Instituta za pedologiju iz 1969. god. vidimo da na Medvednici imamo više tipova tala.

Veći dio površine zauzimaju smeđa kisela tla na škrljčima, brusilovcima i pješčenjacima. Ova tla su uglavnom obrasla šumskom vegetacijom i zauzimaju pretežno jako strme padine. Bonitet ovih tala kreće se između 6st—7st, a pretežno su lakšeg mehaničkog sastava i kisele reakcije.

U jugozapadnom dijelu Medvednice, te u pojasu iznad Markuševca nailazimo na podzolasto smeđe tlo na dolomitima i tvrdim vapnencima. Radi nepovoljnih topografskih uvjeta i izloženosti tla jakoj eroziji vode, proizvodna sposobnost i upotrebna vrijednost ovih tala je dosta niska. Reakcija navedenog tla u prosjeku je kisela. Radi velike prirodne ocjeditosti, trebamo obratiti više pažnje kod pošumljavanja i drugih mjera konzervacije vode i tla.

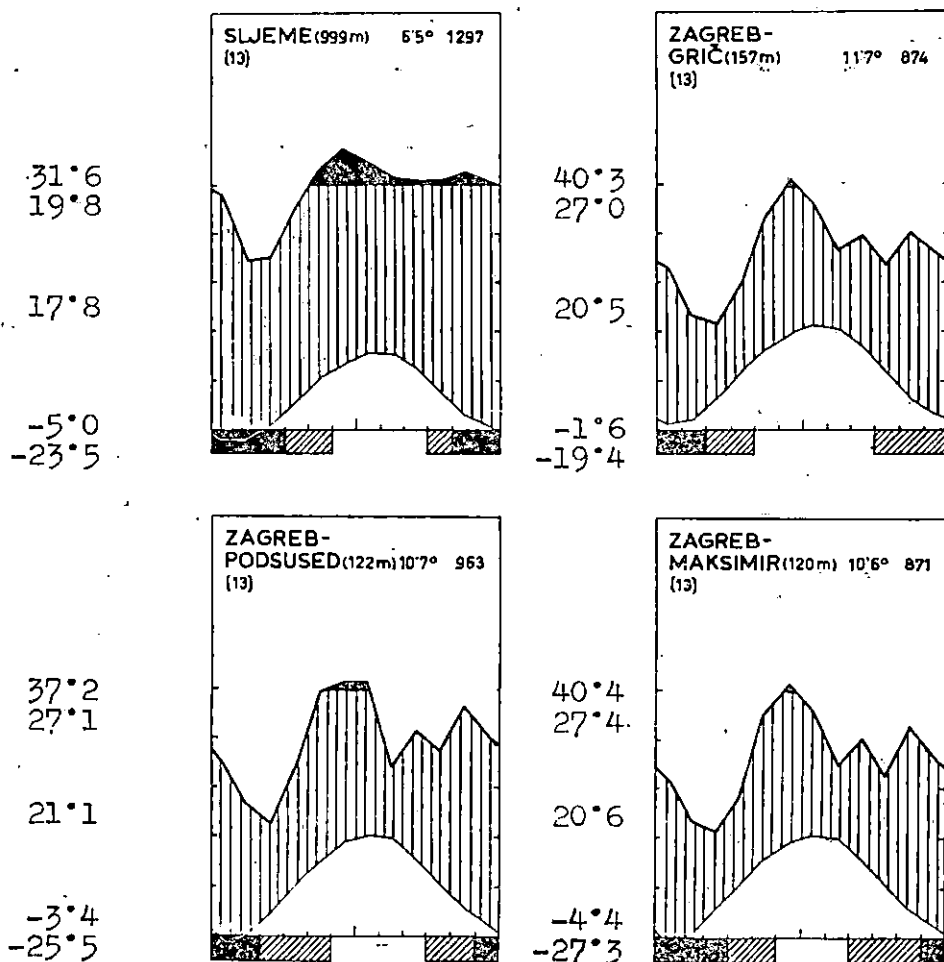
Uz rubne obronke Medvednice, poslije krčenja šume, a tijekom dužeg erozionog procesa nailazimo na smeđa karbonatna tla na laporima. U razvoju ovih tala, je matična podloga jedan od glavnih pedogenetskih faktora. Ova tla pretežno su pod vinogradima, voćnjacima i oranicama, a dobar dio obrastao je šumskom vegetacijom.

Na uskom pojasu jugoistočnih brežuljaka Medvednice razvila se rendzina na miocenskim vapnencima. Ovo tlo zauzima uglavnom strme položaje pod šumskom vegetacijom, koja je dobrim dijelom devastirana.

Nešto manji dio zauzimaju smeđa kisela tla na pješčenjacima, kvarcnom konglomeratu i škrljčima. Tla se prostiru uglavnom po brežuljkastim i brdskim predjelima. To su pretežno plitka do srednje duboka tla, slabo kisele do kisele reakcije.

Vegetacijski pokrov — Vegetationsdecke

Zagrebačka gora veoma je zanimljiva sa dendrološkog gledišta. Na njoj, nailazimo na pojavu velikog broja biljnih zajednica.



Slika — Bild 2. Klimadijagrami u smislu H. Waltera (Razdoblje 1948—1960.) — Klimadiagramm nach H. Walter (Zeitabschnitt 1948—1960.)

Medvednicu možemo smatrati tipičnim primjerom biotopa na kojem se vrlo dobro vidi utjecaj lokalnih stojbinskih prilika na razvoj i pridolazak šumske vegetacije.

Razvedenost Medvednice i njezin mikroreljef uvjetovao je razlike u temperaturi, vlazi i svjetlu stvorivši takve ekološke uvjete koji su direktno utjecali na pridolazak određenih vrsta drveća.

Njezine površine obraštaju većinom srednjoevropski mezofiti, a na posebnim lokalitetima nalazimo i južnoevropske kserofilne listače.

Od četinjača, prirodne sastojine visokog uzgojnog oblika, tvori obična jela.

Nizine, koje okružuju podnožje Zagrebačke gore, obraštaju lužnjakove sastojine. Kitnjakove i grabove sastojine zauzimaju prostrana, povišena i ocjedita područja unaokolo čitave Medvednice.

Cera ima, ali rijetko tvore čiste sastojine, već je u primjesi s kitnjakom.

Čiste sastojine tvori kitnjak na južnoj strani Medvednice do 500 m nadmorske visine a po hrptovima i više, dok ga u grupama po vrhuncima i hrptovima nalazimo i na 800 m nadmorske visine.

Iznad područja kitnjaka i graba prostrani pojas zauzima obična bukva. To je najraširenija vrsta na Medvednici. Na posebnim lokalitetima, jarcima i sjevernim ekspozicijama spušta se do 300 m nadmorske visine, pa i niže.

U bukovim sastojinama često susrećemo, pojedinačno ili u grupama, pridošla stabla kitnjaka i pitomog kestena, a sporadično susrećemo gorski brijest, gorski javor, mlječ i dr.

Na najvišim položajima, na podlozi zelenih škriljavaca gdje je velika zračna vlaga, dolazi obični jasen, gorski brijest i gorski javor.

U centralnom dijelu Zagrebačke gore, pri samom vrhu, naročito na sjevernoj strani, pridružuje se bukvi obična jela. Ona zauzima najhladnije područje a raste uglavnom u smjesi s bukvom, dok posve čiste sastojine tvori vrlo rijetko.

Prema Rauš u (1970) na Medvednici dolaze ove šumske zajednice:

- Šuma hrasta kitnjaka i običnog graba (*Quercus-Carpinetum* Horv. 1938. god.)
- Šuma pitomog kestena i kitnjaka (*Quercus-Castaneetum sativae* Horv. 1938. god.)
- Šuma hrasta kitnjaka (*Luzulo-Quercetum petraeae* Passarge 1953. god.)
- Šuma hrasta medunca i crnog graba (*Ostrya-Quercetum pubescens* Horv. 1938. god.)
- Gorska šuma obične bukve (*Fagetum montanum croaticum* Horv. 1938. god.)
- Šuma bukve i jele (*Abieti-Fagetum panonicum* Rauš 1968. god.)
- Šuma običnog jasena i gorskog javora (*Aceri-Fraxinetum* Horv. 1938. god.)

VLASTITA ISTRAŽIVANJA — EIGENE UNTERSUCHUNGEN

Metoda rada — Arbeitsmethode

Da bismo dobili podatke na istraživanom području iskolčili smo četiri pokusne plohe i snimili uzdužni i poprečni profil. Mrežom mikroklimatskih stanica i pedološkim profilima obuhvatili smo sve šumske zajednice i tipove tala na istraživanom području.

Na terenu izmjereni a potom obrađeni pokazatelji poslužili su nam kod samog konstatiranja pojave temperaturne inverzije i pridonijeli cjelokupnoj spoznaji o njenom značenju kod načina gospodarenja u takvim prilikama.

Rad na terenu — Arbeit im Untersuchungsgebiet

Na istraživanom području tijekom 1979. godine iskolčili smo četiri pokusne plohe površine 0,36 hektara. Na osnovanim plohama obavljani su slijedeći radovi:

Izvršena je dendrometrijska izmjera svih stabala iznad 3 cm prsnog promjera milimetarskom promjerkom i totalna visina stabala pomoću Blume-Leissovog visinomjera.

Pomoću Presslerovog svrdla uzeti su izvrtci.

Na svakoj plohi izmjeren je ponik, pomladak i mladik te po vrstama drveća svrstan u visinske razrede po 25 cm.

Unutar svake plohe iskopali smo pedološku jamu, snimili profil, uzeli uzorke za laboratorijsku analizu tla i mrežom kvadrata snimili korištenov sustav.

Snimanje relativnog užitnog svjetla obavljeno je na svim plohama Iskrinim svjetlomjerom PU 150.

Od vrha jednog grebena spuštajući se do potoka Blizneca, do vrha drugog grebena u ukupnoj dužini 560 m položili smo 10 m široki profil. Na njemu smo snimili položaj (prostorni raspored) svih stabala i horizontalnu projekciju krošanja te izvršili ostale dendrometrijske izmjere.

U cjelokupnom profilu obavljena su mikroklimatska motrenja instrumentima za mjerenje temperature zraka i tla postavljenih na sedam karakterističnih mjesta.

Mjerenja smo obavljali meteorološkim termometrima i geotermometrima i to u 7, 10, 12, 14, 16, 19 i 21 sat. Temperature zraka registrirane su na visini od 1 m iznad tla, a temperature tla na dubinama od 5, 10, 20, 30 i 50 cm.

Postavljanjem fitocenoloških snimaka 20 × 20 m određene su šumske zajednice na istraživanom području.

Obrada podataka — Datenverarbeitung

Terenski podaci snimljenog profila, prostornog rasporeda stabala i projekcije krošanja nacrtani su u mjerilu 1 : 700.

Rezultati fitocenoloških snimaka i pedoloških analiza prikazani su tabelarno i grafički na poprečnom profilu.

Dendrometrijske izmjere obrađene su po međunarodnim standardnim metodama i prikazane u tabelama.

Relativno užitno svjetlo u pojedinim šumskim zajednicama dobiveno je po formuli:

$$L = \frac{\text{intenzitet svjetla u sastojini}}{\text{intenzitet punog dnevnog svjetla}} \times 100$$

Broj ponika, pomlatka i mladika prikazali smo tabelarno po plohi i po hektaru.

Vrijednosti dobivene mikroklimatskim mjerenjem prikazane su klimatogramom i tabelarno.

Srednje dnevne temperature zraka dobivene su po formuli:

$$\bar{x} = \frac{a + b + c + c}{4}$$

Srednje dnevne temperature tla dobivene su po formuli:

$$\bar{x} = \frac{a + b + c}{3}$$

a = temperatura u °C, mjerena u 7 sati

b = temperatura u °C, mjerena u 14 sati

c = temperatura u °C, mjerena u 21 sat

REZULTATI ISTRAŽIVANJA — UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

Mikroklimatska motrenja — Mikroklimatische Beobachtungen

Mikroklimatska motrenja obavili smo na sedam karakterističnih mjesta. Motrenje smo započeli 17. 07. 1979. god. a završili 21. 07. 1979. godine. Radi neujednačenih vremenskih prilika nismo u mogućnosti uzeti srednje vrijednosti za sve dane motrenja. Za uspoređivanje smo odabrali rezultate izmjerene na dan 20. 07. 1979. god. kojega smatramo termički najujednačenijim.

Nakon obavljenih mikroklimatskih mjerenja i obrade podataka, prema prikazanim tabelama i grafikonima, a uspoređujući rezultate na dan 20. 07. 1979. godine možemo zaključiti:

— Na zapadnoj ekspoziciji (lokalitet 6, pokusna ploha br. 4) najveća je srednja dnevna temperatura zraka i tla, a tu se pojavljuje i dnevni maksimum. Na ovom lokalitetu razvila se zajednica hrasta kitnjaka s bekicom (*Luzulo — Quercetum petraeae* Passarge 1953. god.) s dosta mladika crnog jasena kao termofilnim elementom.

— Spuštajući se niže, temperature zraka i tla su nešto manje, a na znatno dubljem tlu (lokalitet 5, pokusna ploha br. 3) razvila se zajednica hrasta kitnjaka i običnog graba s klokočikom (*Quercu — Carpinetum croaticum staphyletosum* Horvat 1939.).

— Uz potok Bliznec, na hladnom i obilnijem vlaženju izloženom tlu, razvila se zajednica crne johe s trušljikom (*Frangulo — Alnetum glutinosae* Rauš 1968. god.).

— Na istočnoj ekspoziciji (lokalitet 2, pokusna ploha br. 1) koji je po nadmorskoj visini, dubini tla i temperaturama sličan lokalitetu 6, pokusna ploha br. 4, razvila se također i ista šumska zajednica hrasta kitnjaka s bekicom (*Luzulo — Quercetum petraeae* Passarge 1953. god.). Postoje male razlike u temperaturama između ova dva lokaliteta što se odmah odrazilo i na sastav vegetacije. Naime, na toplijem lokalitetu učešće termofilnih elemenata je znatno veće premda se radi o istoj šumskoj zajednici.

Boljem razvoju ovih elemenata pogodovao je veći priliv svjetla nastao intenzivnijim zahvatom u proizvodni dio sastojine.

— Samo 50-ak metara niže (lokalitet 3, pokusne plohe br. 2) gdje je srednja dnevna, maksimalna i minimalna temperatura zraka niža za cca 1 °C, a srednja dnevna temperatura tla na dubini od 30 cm niža za cijelih 2 °C na dubokom, praškasto glinovitom tlu razvila se neutrofilna gorska bukova šuma (*Fagetum croaticum montanum neutrophyllum* Anić 1959. god.). Komparirajući dobivene podatke jasno se uočava temperaturna inverzija šumske vegetacije.

Tab. 1. — Vrijednosti mikroklimatskih mjerenja — Mikroklimatische Messungswerte

| Lokalitet Lokalität | Temperatura zraka Lufttemperatur | | | Srednja dnevna temperatura tla Mittl. Tagestemper. des Bodens | | | | |
|------------------------|--|------|------|--|------|------|------|------|
| | Srednja dnevna Mittlere Tages- temp. | Max. | Min. | | | | | |
| | | | | 5 | 10 | 20 | 30 | 50 |
| °C | | | | | | | | |
| 1 | 23,5 | 27,8 | 18,5 | 18,6 | 17,7 | 16,6 | 15,7 | 14,5 |
| 2 | 23,6 | 26,8 | 18,8 | 18,6 | 17,9 | 16,9 | 15,9 | 14,2 |
| 3 | 22,6 | 26,0 | 17,8 | 16,4 | 15,6 | 14,6 | 14,1 | 13,7 |
| 4 | 19,4 | 24,0 | 16,3 | 16,0 | 15,7 | 14,8 | 14,4 | 13,5 |
| 5 | 23,1 | 27,0 | 19,0 | 18,3 | 17,9 | 17,0 | 16,0 | 14,9 |
| 6 | 23,8 | 28,5 | 20,4 | 18,3 | 18,5 | 17,2 | 16,3 | 15,3 |
| 7 | 22,9 | 28,5 | 20,1 | 18,4 | 17,7 | 16,8 | 16,1 | 15,0 |

Mjerenje — Messung am 20. Juli 1979

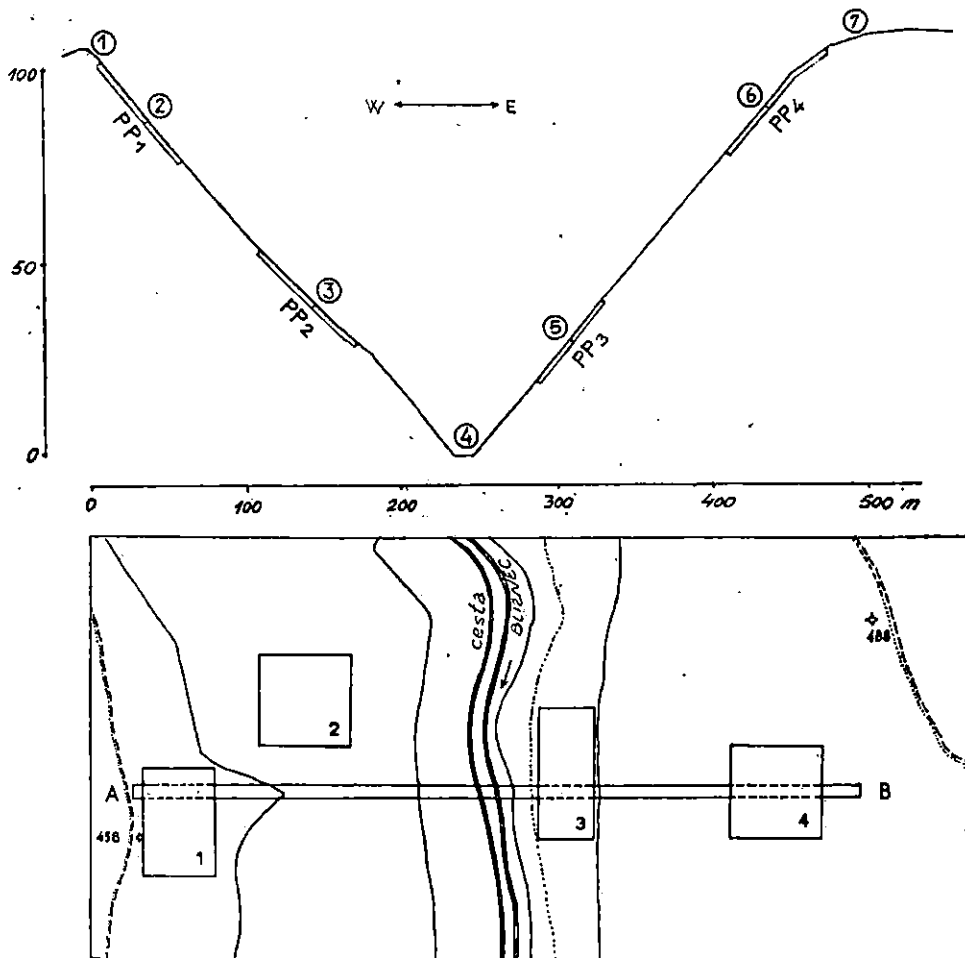
Tla istraživanog područja — Böden der Untersuchungsgebietes

Pedološku obradu obavili smo tijekom ljeta 1980. godine, a koristeći se postojećom literaturom dopunili smo naša saznanja o pedološkim prilikama istraživanog područja.

Na genezu i osobine tala istraživanog područja značajno utječu porijeklo i osobine matične stijene iz koje se formira mineralni dio tla.

Područje istraživanja predstavlja lito i toposekvencu tala na kiselim, silikatnim, bazama pretežno siromašnim metamorfitima. Litološke karakteristike škriljavaca utječu na brzinu trošenja. Tako se masivni varijeteti škriljavaca troše sporije i u rezultatu daju plića tla s plitkim fiziološki aktivnim slojem, u kojem se formira korijen šumske vegetacije. Škriljavi pak, varijeteti pokazuju veću sklonost trošenju, te se na njima radi toga formiraju dublja skeletna ili skeletoidna tla.

Međutim, opisane pravilnosti prouzrokovane razlikama u litološkoj građi značajno su korigirane topografskim prilikama na terenu. Tako na reljefski najnižim pozicijama, profil 4, uz potok Bliznec, utvrđena su duboka koluvijalna tla. Relativno visok sadržaj baza u ovim tlima upućuje na



Slika — Bild 3. Nacrt lokaliteta — Skizze der Lokalitäten

materijal snešen s viših dijelova Medvednice, građenih iz bazama bogatijih stijena. Donji dijelovi padina s obje strane prekriveni su distričnim silikatnim koluvijem autohtonog porijekla, i u njemu je prisutan visok postotak nesortiranog skeleta škrljavaca. Sredinom i gornjim dijelom padina istraživanog područja izmjenjuju se kisela smeđa jako skeletoidna tla i rankeri.

Vegetacija istraživanog područja — Vegetation der Untersuchungsgebietes

Neutrofilna gorska bukova šuma
(*Fagetum croaticum montanum neutrophyllum* Anić 1959. god.)

Neutrofilna gorska bukova šuma zauzima širok pojas naših gora i planina počevši od Slovenije do Makedonije. Vrlo je važan gospodarski tip.

Na Medvednici uglavnom dolazi na hladnijim padinama, širina pojasa ovisna je o mikroklimatskim prilikama.

Razvija se na geološkoj podlozi zelenih škrljavaca.

Ekološke prilike uvelike utječu na širinu i visinu rasprostranjenosti ove zajednice. Na nižim terenima zauzima uvale i osojne ekspozicije, a u višim predjelima dolazi na prisojnim ekspozicijama.

U istraživanom profilu neutrofilna gorska bukova šuma pojavljuje se na plohi broj 2.

U regularnoj bukovoju sastojini visokog uzgojnog oblika s rijetkim prisustvom hrasta kitnjaka i pitomog kestena vrlo su se lijepo razvila stabla, bukve.

Sklop šume je potpun, a pomlađivanje sastojine je izraženo obilnim prisustvom bukovog pomlađka a mjestimično i mladika.

Sastojina se nalazi na izrazito istočnoj ekspoziciji u kojoj mikroklimatske prilike pogoduju njenom normalnom razvoju.

Na vrlo malom prostoru vidi se lijepi primjer temperaturne inverzije jer se u neposrednoj blizini ove sastojine na toplijem hrptu razvila šuma hrasta kinjaka s bekicom.

Šuma hrasta kitnjaka s bekicom
(*Luzulo — Quercetum petraeae* Passarge 1953. god.)

Acidofilna šuma hrasta kinjaka s bekicom razvijena je u srednjoj Evropi i preko Slovenije dolazi u Hrvatskoj, Bosni i Srbiji. Šuma se razvija na geološkoj podlozi pješčenjaka i zelenih škrljavaca paleozoika.

U Hrvatskoj je naročito razvijena u panonskom sredogorju, a kao školski primjer nalazimo je na Medvednici gdje zauzima izrazite hrptove i južne ekspozicije od 500—800 m nadmorske visine na kiselom smeđem tlu ili rankeru.

Zajednica ima monodominantni karakter, a sloj drveća izgrađuje hrast kitnjak (*Quercus petraea*) kome se pridružuje crni jasen (*Fraxinus ornus*), poneki pitomi kesten (*Castanea sativa*) i na rubovima bukva (*Fagus sylvatica*).

Na profilu naših istraživanja u Medvednici ova zajednica se javila na plohi 1 i 4.

Šuma ima izrazito zaštitni karakter, a izraziti je primjer inverzije vegetacije na Medvednici budući da je razvijena na nadmorskoj visini od 450 m, a ispod nje se spušta gorska šuma bukve sve do 300 m nadmorske visine.

Naime, očekivani redosljed vertikalnog slojanja vegetacije išao bi pojavom klimatogenih zajednica hrasta kitnjaka i običnog graba u podnožju, a prema gore gorske šume obične bukve.

Usljed jake reljefске razvedenosti Medvednice i obilja ekspozicija s uglavnom strmim nagibom dolazi do promjene stojbinskih prilika, što je bitno utjecalo na pridolazak azonalnih zajednica.

U našem slučaju u pojas gorske šume obične bukve urezala se zajednica hrasta kitnjaka s bekicom zauzevši sam vrh grebena i toplije padine. S druge strane, ta gusta, gorska šuma obične bukve, spustila se u pojas hrasta kitnjaka i običnog graba sve do 300 m nadmorske visine slijedeći pad temperature odnosno zauzevši hladnija staništa.

Kitnjak dosta obilno rađa žirom i na mjestima gdje je prekinut sklop javlja se bujan pomladak što daje i trajni karakter i jednaki izgled.

Šuma hrasta kitnjaka i običnog graba
(*Quercus — Carpinetum croaticum* Horvat 1938. god.)

Ova klimatozonalna zajednica zauzima u humidnom području Hrvatske sve brdske terene, niža gorja i podnožja većih masiva.

Ne dolazi u poplavnim i jače zakiseljenim, kao ni na suhim i plitkim terenima. Najbolje joj odgovaraju duboka svježa tla s neutralnom, slabo kiselim do slabo alkalnom reakcijom.

Zbog dobrog tla i navedenog položaja koje nastava ova zajednica velike površine ovih šuma pretvorene su u oranice, voćnjake i vinograde.

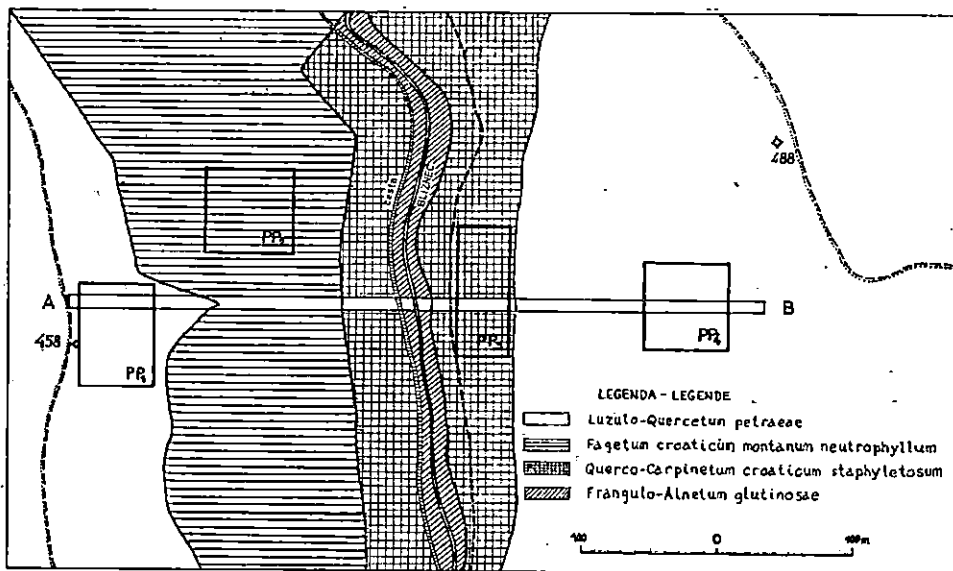
Šuma hrasta kitnjaka i običnog graba s klokočikom
(*Quercus — Carpinetum croaticum staphyletosum* Horvat 1938. god.)

Na razvoj ove šume uvelike je ostavilo traga djelovanje čovjeka. Zbog odnošenja listinca i nagle sječe iza rata, potpomognuto velikim nagibom terena, promijenili su se edafski uvjeti, što se odrazilo i na sastav vegetacije.

Šuma crne joha s trušljikom
(*Frangula — Alnetum glutinosae* Rauš 1968. god.)

Šuma crne joha s trušljikom razvila se na hidromofnim tlima uz potok Bliznec. Ova tla su tijekom cijele godine zasićena vodom. Bogata su dušikom što je uvjetovalo pojavu nitrofilnih biljaka (*Sambucus nigra*, *Urtica dioica* i dr.) koje su ujedno i indikatori dušika u tlu.

Zajednica na profilu zauzima neznatnu površinu.



Slika — Bild 4. Fitocenološka karta istraživanog područja — Phytozönologische karte des Untersuchungsgebietes

Struktura sastojine — Bestandsstruktur

U šumi hrasta kitnjaka s bekicom na pokusnoj plohi broj 1 imamo 297,05 m³ drvene mase. Ta drvena masa nalazi se u relativno širokoj distribuciji prsnih promjera od 8 cm do 54 cm.

Hrast kitnjak učestvuje u omjeru smjese sa 98%, dok je učešće crnog jasena i pitomog kestena simbolično.

Starost sastojine prema podacima iz stare gospodarske osnove iznosi 115 godina. Srednje stablo ima prsni promjer 31,4 cm i visinu 16,4 m.

Maksimalne visine kreću se oko 19,5 m što nam ukazuje da se ta sastojina nalazi na nižem bonitetnom razredu.

Prema strukturnim podacima ovo je čista sastojina hrasta kitnjaka visokog uzgojnog oblika.

U gorskoj bukovoj šumi na pokusnoj plohi broj 2 drvena masa iznosi 515,80 m³ i distribuirana je u debljinskim stupnjevima od 22 cm do 58 cm. Bukva učestvuje sa 96% pa prema tome možemo zaključiti da je to čista bukova sastojina visokog uzgojnog oblika. Pored bukve u omjeru smjese učestvuje hrast kitnjak i pitomi kesten sa 4%.

Srednje stablo bukve ima promjer 39,0 cm i visinu 26,5 m.

Starost sastojine prema osnovi iznosi 115 godina. Maksimalne visine kreću se oko 31,0 m. Prema obliku visinske krivulje možemo zaključiti da ona nema svoj maksimum i da još ima tendenciju dinamičkog rasta što nije slučaj kod hrasta kitnjaka na pokusnoj plohi broj 1.

Na pokusnoj plohi broj 3 koja se nalazi na zapadnoj ekspoziciji istraživanog profila imamo relativno velik broj stabala 1197 i malu drvenu masu 193,08 m³ po hektaru. Ovo nam govori o slabim strukturnim karakteristikama i proizvodnim mogućnostima te sastojine koja je znatno degradirana po čovjeku (sječa, odnošenje listinca i dr.).

Srednje stablo iznosi za hrast kitnjak 21,4 cm promjera i 13,3 m visinu, za bukvu 17,3 cm i 11,6 m visinu.

Starost određena procjenom na osnovu promjera aritmetički srednjeg stabla i njegovog debljinskog prirasta iznosi za hrast kitnjak 59 godina a za običnu bukvu 50 godina.

Učešće vrsta u omjeru smjese iznosi: hrast kitnjak 57%, obična bukva 27% i ostalo 16%.

Distribucija broja stabala i drvnih masa ove sastojine nalazi se u rasponu od 6 cm do 50 cm. Uočljivo je da su to uglavnom tanka stabla i da je mala drvena masa po hektaru.

Iz navedenih podataka možemo zaključiti da je to mješovita sastojina hrasta kitnjaka, obične bukve i običnog graba srednjeg uzgojnog oblika s dosta stabala iz panja.

Hrast kitnjak dominira po visinama u odnosu na druge vrste. Obični grab i pitomi kesten u mladosti pokazuje brži rast od hrasta kitnjaka i obične bukve.

Već kod promjera od 14 cm hrast kitnjak je prerastao grab, a obična bukva kod promjera od 12 cm prerasla je pitomi kesten.

Biološka slika sastojine koju dobivamo iz visinske krivulje potvrđuje već poznata saznanja o odnosima vrsta u mješovitim sastojinama hrasta kitnjaka, obične bukve i običnog graba, te dinamici visinskog rasta ovih vrsta.

Struktura sastojine na pokusnoj plohi broj 4 istraživanog područja izgleda ovako. Ukupna drvena masa je 183,10 m³ učešće hrasta kitnjaka u omjeru smjese je 99%. To je čista sastojina hrasta kitnjaka s neznatnom primjesom crnog jasena i pitomog kestena.

Starost sastojine određena na osnovu promjera aritmetički srednjeg stabla i njegovog debljinskog prirasta iznosi 92 godine. Srednje stablo ima 20,5 cm prsni promjer i 12,5 m visinu.

Maksimalna visina iznosi 14,5 m što nam ukazuje na slab bonitetni razred sastojine. Na to nam ukazuju i izmjereni prirasti drvene mase.

Pomlađivanje — Verjüngung

Pored prikazanih struktura sastojina pojedinih pokusnih ploha u tablicama (2, 3, 4 i 5) prikazali smo broj ponika, pomladka i mladika svih vrsta drveća na pojedinoj plohi po visinskim klasama.

Na taj način dobili smo strukturu elemenata pomlađivanja svih vrsta drveća na svakoj od pokusnih ploha.

Iz tablice broj 2 vidimo da nam se pomladak i mladik nalazi u visinskim klasama od 25 cm do 225 cm. Ponik smo registrirali samo kod obične bukve. Najveći broj biljaka nalazi se u visinskoj klasi od 25 cm (8580) od čega na hrast kitnjak otpada 7120. Taj nas podatak upućuje na dobar urod

žira hrasta kitnjaka i dobre strukturne i ekološke uvjete za razvoj pomladka i mladika odnosno za pomlađivanje. Od ukupno 14 500 prisutnih biljaka na hrast kitnjak otpada 60,3%. Crni jasen zastupljen je sa 30,8%, a pitomi kesten sa 1,7%, a obična bukva 3,4% itd.

U tablici broj 3 prikazana je struktura elemenata pomlađivanja na pokusnoj plohi br. 2. Iz strukture vidimo da od ukupno 3 170 prisutnih biljaka ponika, pomladka i mladika na običnu bukvu otpada 2 810. Najveći broj biljaka obične bukve nalazi se u visinskom razredu 51 cm do 75 cm što nam ukazuje na dobro podnošenje zasjeke bukovog pomladka i mladika. U ovoj sastojini registrirali smo i 40 komada bukovog ponika. Ostale vrste relativno su slabo zastupljene u visinskoj strukturi elemenata pomlađivanja.

Općenito mali broj ponika, pomladka i mladika uvjetovan je strukturnim i ekološkim pokazateljima koji na ovoj pokusnoj plohi ne idu u prilog pomlađivanju.

U tablici broj 4 prikazana je struktura elemenata pomlađivanja na pokusnoj plohi broj 3. Iz tablice se uočava da je obični grab najzastupljeniji u strukturi elemenata pomlađivanja. Pored graba nailazimo i na hrast kitnjak, crni jasen i dr. Općenito možemo ukazati na mali broj ponika, pomladka i mladika. Mali broj biljaka uvjetovan je ekološkim i strukturnim pokazateljima. Ponik ovdje nije registriran. Najveći broj biljaka hrasta kitnjaka utvrđen je u visinskoj klasi 26 cm do 50 cm a kod običnog graba u visinskoj klasi od 51 cm do 75 cm.

U tablici broj 5 prikazana je struktura elemenata pomlađivanja na pokusnoj plohi broj 4.

Na ovoj plohi ponik nismo registrirali. Najzastupljeniji je pomladak i mladik crnog jasena 4 970 i hrasta kitnjaka 1 670 komada.

Najviše biljaka nalazi se u visinskom razredu do 25 cm. Općenito možemo zaključiti da je broj biljaka mali.

Pomlađivanje može biti dobar pokazatelj budućeg gospodarenja s ovim sastojinama.

Zakorjenjivanje — Die Bewurzelung

Na istraživanom području dominiraju dvije vrste šumskog drveća: hrast kitnjak i obična bukva.

Zajednice su se razvile na različitom tipu tla i to: distrično smeđe humusnom, rankeru distričnom regolitničnom i distričnom silikatnom koluviju.

Utvrđivanje zakorjenjivanja obavili smo metodom profila uz pomoć mreže kvadrata na udaljenosti 1 m od žilišta.

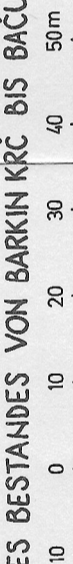
Načini zakorjenjivanja su različiti zbog samih bioloških svojstava pojedine vrste i zbog različitog tipa tla.

Hrast kitnjak je vrsta koja razvija jaki korijenov sustav sa žilom srčanicom koju gubi u doba letvika. Svoje korijenje pruža daleko od žilišta. Dobro se razvija i na siromašnijim tlima. Prikladnija su mu lakša i toplija staništa.

U našem slučaju korijenov sustav hrasta kitnjaka prožima cjelokupni ekološki profil tla pa i one horizonte u kojima ima dosta skeleta.

PROFIL SASTOJINE NA POTEZU BARKIN KRČ - BAČUNSKI BREG

PROFIL DES BESTANDES VON BARKIN KRČ BIS BAČUNSKI BREG

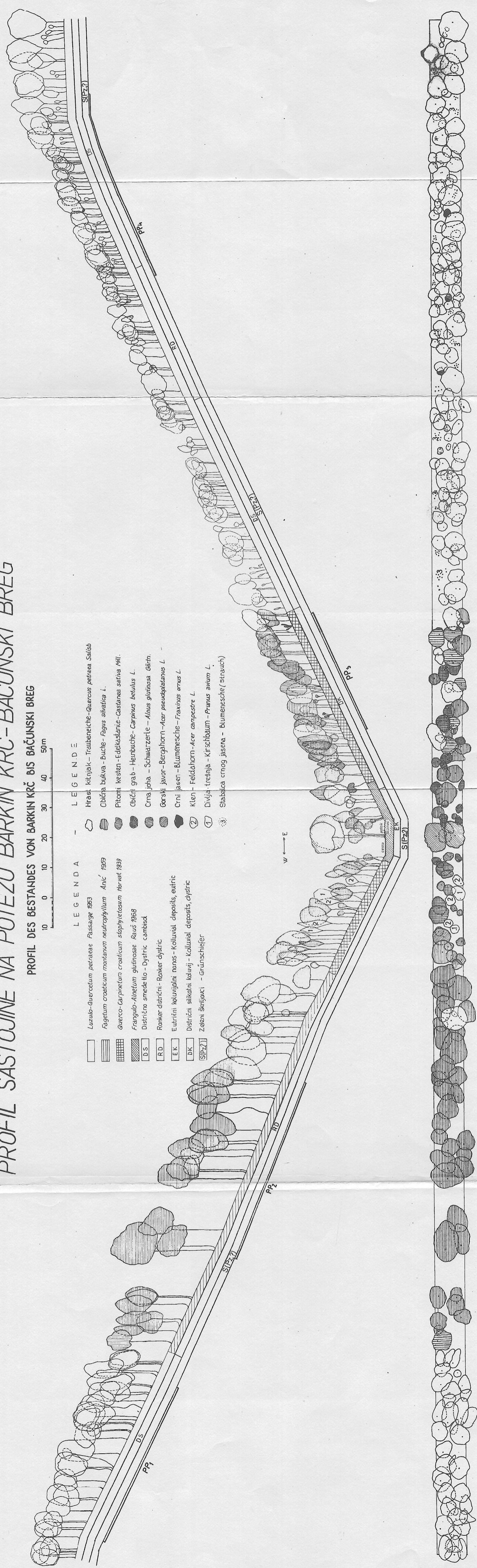


LEGENDA

- Luzulo-Quercetum petraeae* Passage 1953
- Fagetum croaticum montanum neurophyllum* Anić 1959
- Quercus-Carpinetum croaticum staphyletosum* Horvat 1939
- Frangula-Alnetum glutinosae* Raus 1968
- Distrično smeđe tlo - Dystric cambisol
- Ronker distrični - Ronker dyštic
- Eutrični koluvijalni nanos - Kolluvial deposit, eutric
- Distrični silikatni kduvij - Kolluvial deposit, dystic
- Zeleni škrinjovci - Grünsciefer

LEGENDE

- Hrašć kitnjak - Traubeneiche - *Quercus petraea* Salisb
- Obična bukva - Buche - *Fagus sylvatica* L.
- Pitomi kesten - Edelkastanie - *Castanea sativa* Mill.
- Obični grab - Heimbuche - *Carpinus betulus* L.
- Crna joha - Schwarzerle - *Alnus glutinosa* Gärtn.
- Gorski javor - Bergahorn - *Acer pseudoplatanus* L.
- Crni jasein - Blütenesche - *Fraxinus ornus* L.
- Klen - Feldahorn - *Acer campestre* L.
- Divlja trešnja - Kirschbaum - *Prunus avium* L.
- Stabala crnog jaseina - Blütenesche (strauch)



A

B

Tab. 2. — Pomlađivanje na plohi 1, 0,36 ha. — Verjüngung am Fläche 1, 0,36 ha.

Ponik, pomladak i mladik po visinskim klasama — Ansammung, Jungwuchs und
Dickungzahl je Höhenklasse

| Klasa Klasse | <i>Quercus petraea</i> | <i>Fraxinus ornus</i> | <i>Castanea sativa</i> | <i>Fagus sylvatica</i> | <i>Carpinus betulus</i> | <i>Sorbus torminalis</i> | <i>Tilia sp.</i> | Σ |
|-------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------|--------|
| Ponik Ansammung | — | — | — | 10 | — | — | — | 10 |
| — 25 cm | 7 120 | 740 | 50 | 380 | 60 | 220 | 10 | 8 580 |
| 26— 50 cm | 1 500 | 1 700 | 70 | 70 | 20 | 180 | — | 3 540 |
| 51— 75 cm | 60 | 700 | 40 | 30 | — | 40 | — | 870 |
| 76—100 cm | 30 | 620 | 30 | — | — | — | — | 680 |
| 101—125 cm | 20 | 280 | 30 | — | — | 20 | — | 350 |
| 126—150 cm | 10 | 150 | — | — | — | — | — | 160 |
| 151—175 cm | — | 110 | 10 | — | — | 10 | — | 130 |
| 176—200 cm | — | 110 | 10 | — | — | — | — | 120 |
| 201—225 cm | — | 60 | — | — | — | — | — | 60 |
| 226—250 cm | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Σ | 8 740 | 4 470 | 240 | 490 | 80 | 470 | 10 | 14 500 |
| Po hektaru Je hektar | 24 278 | 12 417 | 667 | 1 361 | 222 | 1 305 | 28 | 40 278 |

Tab. 3. — Pomlađivanje na plohi 2, 0.36 ha. — Verjüngung am Fläche 2, 0.36 ha.

| Ponik, pomladak i mladić po visinskim klasama — Ansammung, Jungwuchs und Dickungzahl je Höhenklasse | | | | | | | |
|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------|
| Klasa Klasse | <i>Fagus sylvatica</i> | <i>Quercus petraea</i> | <i>Castanea sativa</i> | <i>Carpinus betulus</i> | <i>Corylus avellana</i> | <i>Abies alba</i> | Σ |
| Ponik Ansammung | 40 | — | — | — | — | — | 40 |
| — 25 cm | 350 | 30 | 40 | 40 | — | 10 | 470 |
| 26— 50 cm | 530 | — | 90 | 10 | 60 | — | 690 |
| 51— 75 cm | 580 | — | 20 | 40 | 10 | — | 650 |
| 76—100 cm | 560 | — | 10 | — | — | — | 570 |
| 101—125 cm | 340 | — | — | — | — | — | 340 |
| 126—150 cm | 240 | — | — | — | — | — | 240 |
| 151—175 cm | 150 | — | — | — | — | — | 150 |
| 176—200 cm | 20 | — | — | — | — | — | 20 |
| 201—225 cm | — | — | — | — | — | — | — |
| 226—250 cm | — | — | — | — | — | — | — |
| Σ | 2 810 | 30 | 160 | 90 | 70 | 10 | 3 170 |
| Po hektaru Je hektar | 7 680 | 83 | 440 | 250 | 194 | 28 | 8 805 |

Tab. 4. — Pomladivanje na plohi 3, 0.36 ha. — Verjüngung am Fläche 3, 0.36 ha.

Ponik, pomladak i mladik po visinskim klasama — Ansammung, Jungwuchs und Dickungzahl je Höhenklasse

| Klasa Klasse | <i>Quercus petraea</i> | <i>Carpinus betulus</i> | <i>Fraxinus ornus</i> | <i>Fagus sylvatica</i> | <i>Castanea sativa</i> | <i>Corylus avellana</i> | <i>Acer pseudo- platanus</i> | Σ |
|-------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-------|
| Ponik | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Ansammung | — | — | — | — | — | — | — | — |
| — 25 cm | 50 | 60 | 60 | — | 20 | 20 | 10 | 220 |
| 26— 50 cm | 170 | 80 | 150 | 30 | 60 | 30 | — | 520 |
| 51— 75 cm | 30 | 150 | 70 | 10 | 20 | 40 | — | 320 |
| 76—100 cm | 20 | 120 | 50 | — | 10 | 40 | — | 240 |
| 101—125 cm | 20 | 50 | 70 | — | 10 | 20 | — | 170 |
| 126—150 cm | — | 30 | 10 | — | — | 20 | — | 60 |
| 151—175 cm | — | 10 | — | — | — | 10 | — | 20 |
| 176—200 cm | — | 10 | 40 | — | — | 10 | — | 60 |
| 201—225 cm | — | 90 | 110 | 60 | 10 | 10 | — | 280 |
| 226—250 cm | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Σ | 290 | 600 | 560 | 100 | 130 | 200 | 10 | 1 890 |
| Po hektaru Je hektar | 806 | 1 666 | 1 555 | 278 | 361 | 556 | 28 | 5 250 |

Tab. 5. — Pomlađivanje na plohi 4, 0,36 ha. — Verjüngung am Fläche 4, 0,36 ha.

| Ponik, pomladak i mladik po visinskim klasama — Ansammung, Jungwuchs und Dickungzahl je Höhenklasse | | | | | | | |
|--|----------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------|
| Klasa Klasse | <i>Quercus petraea</i> | <i>Fraxinus ornus</i> | <i>Sorbus aria</i> | <i>Sorbus torminalis</i> | <i>Castanea sativa</i> | <i>Fagus sylvatica</i> | Σ |
| Ponik Ansammung | — | — | — | — | — | — | — |
| — 25 cm | 1 090 | 1 740 | 30 | 50 | — | 10 | 2 920 |
| 26— 50 cm | 360 | 1 470 | 10 | 10 | 10 | — | 1 860 |
| 51— 75 cm | 90 | 580 | 10 | 10 | — | — | 690 |
| 76—100 cm | 10 | 380 | 10 | — | — | — | 400 |
| 101—125 cm | 10 | 310 | — | — | — | — | 320 |
| 126—150 cm | 10 | 70 | 10 | — | — | — | 90 |
| 151—175 cm | 10 | 60 | 10 | — | — | — | 80 |
| 176—200 cm | — | 30 | — | — | — | — | 30 |
| 201—225 cm | 40 | 300 | 60 | — | — | — | 400 |
| 226—250 cm | 50 | 30 | — | — | — | — | 80 |
| Σ | 1 670 | 4 970 | 140 | 70 | 10 | 10 | 6 870 |
| Po hektaru Je hektar | 4 639 | 13 805 | 389 | 194 | 28 | 28 | 19 083 |

U profilima su zastupljene žile svih dimenzija, a karakteristično je veliko učešće žila debljih od 10 mm.

Veliko prisustvo žila u horizontima ovog tla vrlo je povoljno. U velikoj mjeri ono zaštićuje plitko tlo od erozije koja je na ovako-strmim nagibima velika.

U zajednici neutrofilne gorske bukove šume situacija je nešto drugačija. U dubokom, praškasto ilovastom tlu, prorasla je ekološki profil uglavnom bukva. To je vrsta koja tvori tipičnu čupavu korijenovnu mrežu. U neposrednoj blizini vrlo je gusta. Korijenje većih dimenzija s udaljenošću od žilišta nestaje.

Ovdje je karakteristično da se većina korijenja razvila do 40 cm dubine.

RASPRAVA — DISKUSSION

Promatrajući istraživano područje i analizirajući dobivene rezultate uočavamo više podudarnosti između mikroklimatskih prilika, razvoja tala i pojave šumske vegetacije.

Mikroklimatskim istraživanjima koja su obavljena u šumskim ekosistemima: šuma hrasta kitnjaka s bekicom (*Luzulo-Quercetum petraeae* Passarge 1953. god.), neutrofilna gorska bukova šuma (*Fagetum croaticum montanum neutrophyllum* Anić 1959. god.), šuma hrasta kitnjaka i običnog graba s klokočikom (*Quercu-Carpinetum croaticum staphyletosum* Horvat 1938. god.) i šumi crne johe s trušljikom (*Frangulo-Alnetum glutinosae* Rauš 1968. god.), u vremenu od 17. 7. 1979. do 21. 7. 1979. ustanovljene su različite vrijednosti dnevnih temperatura.

Srednja dnevna temperatura zraka najveća je na zapadnoj ekspoziciji u šumi hrasta kitnjaka s bekicom i iznosi 23,8 °C. To su također i najveće vrijednosti temperature tla, koje se kreću od 15,0 °C — 18,5 °C. Podjednake temperaturne vrijednosti imamo u takvoj sastojini na istočnoj ekspoziciji.

Srednja dnevna temperatura zraka u sastojini neutrofilne gorske bukove šume, koja se nalazi 50-ak metara niže, manja je za cca 1 °C i iznosi 22,6 °C, a srednja dnevna temperatura tla na dubini od 30 cm manja je za cijelih 2 °C i iznosi 14,1 °C.

U samom podnožju ovih grebena srednja dnevna temperatura zraka niža je za 4,4 °C od istih vrijednosti na grebenu i iznosi 19,4 °C.

Maksimalne dnevne temperature zraka također pokazuju osjetne razlike između pojedinih šumskih ekosistema odnosno lokaliteta, a kreću se od 24,0 °C do 28,5 °C.

Vrijednosti maksimalnih temperatura u šumi hrasta kitnjaka s bekicom osjetno su veće od istih u gorskoj bukovoj šumi i kreću se od 26,8 °C na istočnoj ekspoziciji i od 28,5 °C na zapadnoj ekspoziciji. Razlika je još očitija, a iznosi 4,5 °C između maksimalne temperature na vrhu zapadnog grebena gdje iznosi 28,5 ° i podnožja gdje iznosi samo 24,0 °C.

U vrijednostima minimalnih dnevnih temperatura također su evidentirane razlike i kreću se od 16,3 °C do 20,4 °C.

Temperaturna inverzija od 4,4 °C (vrh grebena 23,8 °C, podnožje 19,4 °C) uzrokovala je pojavu različitih vegetacija što se vidi iz rezultata istraživanja, a mikroklimatska istraživanja pokazuju da različite mikroklimatske prilike na pojedinim lokalitetima uvjetuju formiranje različite vegetacije, pa se prema temperaturi, dubini tla, nagibu obronka i ekspoziciji razvila odgovarajuća slijedeća vegetacija:

Najtoplija, najstrmija i najsušnija mjesta na grebenu i njegovoj blizini zauzela je zajednica hrasta kitnjaka s bekicom (*Luzulo-Quercetum petraeae* Passarge 1953. god.). Neznatne razlike unutar ove stojbine, koje su posljedica otvaranja sklopa ili većih nagiba uvjetovale su raznolikost u prostornom rasporedu termofilnih i mezofilnih biljaka.

Unutar šume hrasta kitnjaka s bekicom postoje razlike koje su nastale različitim gospodarenjem. Na pokusnoj plohi broj 4 je dobar primjer kako u ovakvim prilikama nisu dozvoljeni zahvati jačeg intenziteta. Jači zahvat koji je obavljen u ovom lokalitetu (temeljnica pala ispod 30 m²) je predispozicija za djelovanje erozije, koja je ovdje za razliku od pokusne plohe broj 1, prisutna u daleko većoj mjeri.

Ovo su šume zaštitnog karaktera i tu se treba voditi računa o svakom stablu. Iako nam drvena masa na ovakvim lokalitetima nije primarna, podaci nas upućuju da prirasti još uvijek nisu zanemarivi i da se ophodnja može produžiti. Ovako formirana šumska vegetacija, nastala kao posljedica mikroklimatske i nepovoljnih reljefnih prilika, labilan je dinamički ekosustav što treba imati na umu prilikom gospodarenja tim sastojinama.

Načini zakorjenjivanja drveća vrlo su važna činjenica za očuvanje tla od erozije na ovakvim prilikama. Ovako strma, plitka i skeletna tla jedino može sačuvati od erozije dobro prorasli korijenov sustav. Hrast kitnjak svojim snažnim korijenom ima veliku energiju zakorjenjivanja, dobro štiti tlo te moramo nastojati da ga bude uvijek dovoljno u ekološkom profilu tla.

Pravilnim gospodarenjem postizemo stabilnost šumskih ekosistema, a ispravnim zahvatima poboljšavamo uvjete za uzajamni razvoj tla i vegetacije. Moramo imati na umu da je razvoj tala i vegetacije dug proces i da za uspostavljanje ravnoteže treba puno znanja, vremena i materijalnih ulaganja. Svaki nesmotren zahvat koji imalo narušava ravnotežu, potpomaže regresiju vegetacije i pedogenetskih procesa.

Osim minimalnih mikroklimatskih razlika koje vladaju u zajednici hrasta kitnjaka s bekicom na plohi broj 4 i 1, na izgled i strukturu ove zajednice, znatno je utjecao čovjek svojim zahvatima. Unazad 30-ak godina iz navedene sastojine na pokusnoj plohi broj 4 izvađena se najbolja stabla (privatna šuma), što se direktno odrazilo na oblik visinske krivulje. Iz strukture sastojine uočljiva je također mala zastupljenost jačih debljinskih stupnjeva na pokusnoj plohi broj 4. Nedostatak jačih stabala uočljiv je i iz ortogonalne projekcije na uzdužnom profilu. Na pokusnoj plohi broj 1 takvih stabala ima mnogo više (šuma u društvenom vlasništvu).

Ovim zahvatima promijenjene su i svjetlosne prilike. Relativno užitno svjetlo na pokusnoj plohi broj 1 iznosi 29,4% a na pokusnoj plohi broj 4 34,6%.

Na ovakve stojbinske prilike elementi prirodnog pomlađivanja različito su reagirali.

I na jednoj i na drugoj pokusnoj plohi prirodno pomlađivanje je prisutno u dovoljnoj mjeri, no njegov daljnji razvoj uvjetovan je raznim ekološkim i strukturnim faktorima.

Na pokusnoj plohi broj 1 veći broj biljaka iz prirodnog pomlađivanja sa starošću odumire. Način gospodarenja (šuma je zaštitnog karaktera, nema sječe), stvara posebne prilike a to su u prvom redu svjetlosne, koje ne pogoduju daljnjem razvoju tih mladih biljaka.

Na pokusnoj plohi broj 4, u istoj šumskoj zajednici, uslijed nestanka najdebljih stabala nastali su takvi uvjeti da je biljkama iz prirodnog pomlađivanja omogućen daljnji razvoj. Radi prije. izvađenih stabala hrasta kitnjaka priliv svjetla i topline u sastojinama je povećan. U ovako novonastalim prilikama omogućen je daljnji razvoj mladih biljaka i veće učestće termofilnih elemenata. Nastale praznine popunile su već prisutne mlade biljke, koje su u daleko većem broju »urasle« u jače razvojne stadije.

Na istočnoj ekspoziciji kako smo već napisali, u različitim mikroklimatskim prilikama razvile su se i dvije različite šumske zajednice.

Na toplijem, strmijem, plitkom i skeletnom tlu razvila se zajednica hrasta kitnjaka s bekicom. Na toj pokusnoj plohi drvena masa iznosi 297,05 m³ i to u relativno širokoj distribuciji prsnih promjera od 8 cm do 54 cm.

Maksimalne visine kreću se oko 19,5 m što nam ukazuje da se ta sastojina nalazi na nižem bonitetnom razredu.

Na 50-ak metara niže, u pokusnoj plohi broj 2, na svježijem, dubljem tlu, razvila se neutrofilna gorska bukova šuma.

Ovako svježije mikroklimatske prilike zraka i tla upravo pogoduju razvoju bukove šume. Prateći uvjete »spustila« se u pojas hrasta kitnjaka i običnog graba i napravila inverziju šumske vegetacije uvjetovanu temperaturnim obratom.

Iz strukturnih pokazatelja uočavamo da se tu radi o čistoj bukovoj sastojini visokog uzgojnog oblika koja se očito razvila na boljem bonitetnom razredu.

Naime, vidimo da se ovdje maksimalne visine kreću oko 31 m, a po obliku visinske krivulje možemo zaključiti da ima tendenciju dinamičkog rasta, što nije slučaj kod hrasta kitnjaka na pokusnoj plohi broj 1.

Drvena masa iznosi 515,80 m³, a raspoređena je u debljinskim stupnjevima od 22 cm do 58 cm.

Relativno užitno svjetlo izmjereno u ovoj sastojini iznosi 14,73%.

Na zapadnoj ekspoziciji nailazimo na nešto drugačije stojbinske prilike.

Podnožje ovog obronka nešto je toplije od istog na istočnoj ekspoziciji. Na pokusnoj plohi broj 3 na kojoj se razvila zajednica hrasta kitnjaka i običnog graba, srednja dnevna temperatura iznosi 23,1 °C, dnevni maksimum 27,0 °C, a minimum 19,0 °C. Srednja dnevna temperatura tla također je veća i kreće se od 14,9 °C do 18,3 °C.

Iz strukture sastojine vidimo da ova sastojina ima veliki broj stabala (1197) i malu drvenu masu 193,08 m³ po hektaru.

Iz prikazanih podataka možemo zaključiti da je to mješovita sastojina hrasta kitnjaka, obične bukve i običnog graba srednjeg uzgojnog oblika s dosta stabala iz panja.

Svjetlosne prilike nešto su drugačije nego u ostalim zajednicama. Relativni užitak svjetla iznosi ovdje 21,32%. Sve ovo nam govori da su na ovoj pokusnoj plohi slabe strukturne karakteristike i proizvodne mogućnosti ove sastojine, koja je znatno degradirana po čovjeku (sječa, odnošenje listinca i dr.).

U samom podnožju ovih grebena, uz cestu i potok Bliznec, na uskom pojasu razvila se zajednica crne johe s trušnjikom. Na ovom lokalitetu nemamo taksacionih elemenata jer radi male površine nismo ni osnovali pokusnu plohu. Prema pedološkim analizama i mikroklimatskim mjerjenjima možemo zaključiti da se ova zajednica razvila na najvlažnijim tlima s najnižim temperaturnim vrijednostima zraka i tla. Srednja dnevna temperatura zraka iznosi 19,4 °C, maksimalna 24,0 °C, a minimalna dnevna temperatura zraka 16,3 °C. Srednje dnevne temperature tla kreću se od 13,5 °C do 16,0 °C.

Razmišljajući o prirodnoj regeneraciji i obnovi sastojina na istraživanom području te analizirajući dobivene podatke prirodnog pomlađivanja možemo zaključiti da nema bojazni izostanku prirodne regeneracije. Namjerno izvađena stabla prije 30-ak godina i slučajne izvale na ovim površinama samo potvrđuju pretpostavku kako bi opreznim mjestimičnim otvaranjem, negom pomlatka i čišćenjem mladika uz postepeno proširivanje pomlađenih grupa, trebalo obnavljati ove sastojine.

U ostalom želja svakog šumara je da mu se sastojine kojima gospodari prirodno pomlađuju. Na taj način pojedine ekosisteme potrajano nastavljamo održati što stabilnijim uz najmanja materijalna ulaganja.

U ovakvim područjima trebamo obratiti pažnju na mikrobiotope i prema njima davati prednost odgovarajućim vrstama drveća. O ekološko-biološkim cjelinama trebamo voditi računa prilikom svakog planiranja bilo kojih radova u šumi.

ZAKLJUČCI — SCHLUSSFOLGERUNGEN

Na temelju obavljenih istraživanja i napisanog rada možemo donijeti slijedeće zaključke:

1. Istraživano područje pripada u oblast humidne klime kontinentalnog tipa.

2. Na obrađenim i analiziranim pedološkim jamama na uzdužnom profilu istraživanog područja utvrđeni su ovi tipovi tala: smeđe kiselo tlo (distrični kambisol) na pokusnoj plohi broj 1 i 4, humusno silikatno tlo (ranker) na pokusnoj plohi broj 2 i koluvijalno tlo (koluvij) na pokusnoj plohi broj 3 i na samom podnožju ovih grebena.

3. Vegetacijska istraživanja i položene fitocenološke snimke pokazuju da su na našem uzdužnom profilu zastupljene slijedeće šumske zajednice. Šuma hrasta kitnjaka s bekicom (*Luzulo-Quercetum petraeae* Pas-sarge 1953. god.) na pokusnoj plohi 1 i 4, neutrofilna gorska bukova

šuma (*Fagetum croaticum montanum neutrophyllum* Anić 1959. god.) na pokusnoj plohi broj 2, šuma hrasta kitnjaka i običnog graba s klokočikom (*Quercus-Carpinetum croaticum staphyletosum* Horvat 1938. god.) na pokusnoj plohi 3 i šuma crne johe s trušljikom (*Frangulo-Alnetum glutinosae* Raus 1968. god.) u podnožju grebena.

4. Mikroklimatska mjerenja obavljena od 17. 7. 1979. do 21. 7. 1979. god. dala su slijedeće rezultate po pokusnim plohama (tabela 1, slika 3). Srednja dnevna temperatura zraka na pokusnoj plohi br. 1 (lokalitet 2) iznosi 23,6 °C. Dnevni maksimum je 26,8 °C, a dnevni minimum 18,8 °C. Srednje dnevne temperature tla kreću se od 14,2 °C do 18,6 °C. Na pokusnoj plohi broj 2 (lokalitet 3) srednja dnevna temperatura zraka iznosi 22,6 °C, dnevni maksimum 26,0 °C, a dnevni minimum 17,8 °C. Vrijednosti srednjih dnevnih temperatura tla kreću se od 13,7 °C do 16,4 °C. Na pokusnoj plohi broj 3 (lokalitet 5), srednja dnevna temperatura zraka iznosi 23,1 °C, dnevni maksimum 27,0 °C a dnevni minimum 19,0 °C. Srednje dnevne temperature tla kreću se od 14,9 °C do 18,3 °C. Na pokusnoj plohi broj 4 (lokalitet 6) srednja dnevna temperatura zraka iznosi 23,8 °C, dnevni maksimum 28,5 °C, a dnevni minimum 20,4 °C. Srednje dnevne temperature tla kreću se od 15,3 °C do 18,3 °C. U samom podnožju ovog grebena (lokalitet 4) izmjerene su najmanje vrijednosti temperature zraka i tla. Srednja dnevna temperatura zraka iznosi ovdje 19,4 °C, dnevni maksimum 24,0 °C, a dnevni minimum svega 16,3 °C. Vrijednosti srednjih dnevnih temperatura tla kreću se od 13,5 °C do 16,0 °C.

Na temelju podataka srednje dnevne temperature zraka koja na pokusnoj plohi broj 4 iznosi 23,8 °C, a u podnožju grebena (lokalitet 4) 19,4 °C jasno je uočljiva temperaturna inverzija koja ovdje iznosi 4,4 °C.

5. Dendrometrijskim mjerenjima ustanovljeni su slijedeći taksacioni pokazatelji po pokusnim plohama. Na pokusnoj plohi broj 1 registrirano je 425 stabala sa temeljnicom od 32,64 m² čija drvena masa iznosi 297,05 m³ po hektaru. Na pokusnoj plohi broj 2 imamo 316 stabala po hektaru, temeljnicu 37,83 m² a sveukupnu drvenu masu po hektaru 515,80 m³. Na pokusnoj plohi broj 3 imamo relativno veliki broj stabala 1197 po hektaru, temeljnicu 27,72 m² a drvenu masu 193,08 m³ po hektaru. Na pokusnoj plohi broj 4, 806 stabala po hektaru ima temeljnicu 25,69 m² i drvenu masu 183,10 m³ po hektaru.

6. Analiza korijenovog sustava pokazuje uočljive razlike. Hrast kitnjak svojom snažnom korijenovom mrežom dobro je prorastao i zaštitio tlo od erozije.

7. Na svim pokusnim plohama obavljena analiza pomlatka pokazala je da je on najzastupljeniji na pokusnoj plohi broj 1 (tabela 2), a najvitalniji na pokusnoj plohi broj 4 (tabela 5).

8. S obzirom na vlasništvo šuma, pokazale su se evidentne razlike u izgledu i strukturi sastojina. U pokusnim plohama 3 i 4 koje su u privatnom vlasništvu, provedene su nestručne sječe koje su ostavile negativne posljedice na sadašnji izgled i lošu strukturu ovih sastojina.

9. S obzirom na položaj istraživanih šuma vidimo da one imaju pretežno zaštitni karakter osim neutrofilne gorske bukove šume, u kojoj normalno gospodarimo.

LITERATURA — LITERATUR

- Aichinger F., 1932.: Höhenstufenumkehr der Vegetation durch Frostlöcher in der montanen Stufe der Karawanken. Forstarchiv. Jena
- Bertović S., 1971.: Klimatski podaci SR Hrvatske za razdoblje 1948—1960. godine. Građa za klimu Hrvatske, ser. II, 5, str. 26—116, Zagreb.
- Geiger R., 1961.: Das Klima der Bodennachen Luftschicht, 4 Aufl., Braunschweig.
- Horvat I., 1953.: Vegetacija ponikava. Geografski glasnik 14/15, str. 1—22, Zagreb.
- Rauš Đ., 1970.: Ekološko-fitocenološke karakteristike vegetacijskog pokrova i temelji planiranja zagrebačke regije. Prostorni plan zagrebačke regije, str. 1—28, Zagreb.
- Rauš Đ., 1976.: Šumarska fitocenologija. Skripta str. 197, 202, 203, 236 i 237, Zagreb.

ZVONKO SELETKOVIĆ

WALDBAULICHE BEDEUTUNG DER TEMPERATURINVERSION IN TRAUBENEICHE- UND BUCHENWÄLDERN VON MEDVEDNICA

Zusammenfassung

Bei der Analyse der Ergebnisse aus dem Untersuchungsgebiet sehen wir mehrere Übereinstimmungen zwischen den mikroklimatischen Verhältnissen, der Bodenentwicklung und dem Auftreten von Forstvegetation. Das Untersuchungsgebiet gehört zur Zone eines humiden Klimas kontinentalen Types.

An den bearbeiteten Bodensprofil am Längsprofil des zu prüfenden Gebietes wurden folgende Bodentypen festgestellt: saurer Braunboden (Dystric cambisol) an der Versuchsfläche 1 und 4, Humussilikatboden (Ranker) an der Versuchsfläche 2 und Koluviaboden (Coluvium) am Versuchsgelände Nummer 3 und in den Kammsohlen.

Die Vegetationsforschungen und die phytozoenologischen Aufnahmen lassen ersehen, dass auf unserem Längsprofil folgende Forstgemeinschaften vertreten sind:

Traubeneichenwald mit Heinsimse (*Luzulo-Quercetum petraeae* Passarge 1953) auf dem Versuchsgelände 1 und 4, neutrophyller Gebirgsbuchenwald (*Fagetum croaticum montanum neutrophyllum* Anić 1959) auf dem Versuchsgelände 2, Traubeneichen- und Heimbuchenwald mit Pimpernuss (*Quercu-Carpinetum croaticum staphyletosum* Horvat 1938) auf dem Versuchsgelände 3 und Schwarzerlenwald mit Faulbaum (*Frangulo-Alnetum glutinosae* Rauš 1968) in der Kammsohle.

Mikroklimatische Messungen, durchgeführt vom 17. 7. 1979 bis 21. 7. 1979 ergaben auf den Versuchsgeländen folgende Resultate (Tabelle 1, Bild 3).

Die mittlere Tageslufttemperatur beträgt auf dem Versuchsgelände 1 (Lokalität 2) 23,6°C. Das Tagesmaximum beträgt 26,8°C und das Tagesminimum beträgt 18,8°C. Die mittleren Tagesbodentemperaturen bewegen sich von 14,2°C bis 18,6°C. Auf dem Versuchsgelände 2 (Lokalität 3) beträgt die mittlere Tageslufttemperatur 22,6°C, das Tagesmaximum beträgt 26,0°C und das Tagesminimum ist 17,8°C. Die Werte der mittleren Tagesbodentemperaturen bewegen sich von 13,7°C bis 16,4°C. Auf dem Versuchsgelände 3 (Lokalität 5) beträgt die mittlere Tageslufttemperatur 23,1°C, das Tagesmaximum beträgt 27,0°C und das Tagesminimum liegt bei 19,0°C. Die mittleren Tagesbodentemperaturen bewegen sich von

14,9°C bis 18,3°C. Auf dem Versuchsgelände 4 (Lokalität 6) beträgt die mittlere Tageslufttemperatur 23,8°C, das Tagesmaximum beträgt 28,5°C und das Tagesminimum ist 20,4°C. Die mittleren Tagesbodentemperaturen bewegen sich von 15,3°C bis 18,3°C. Direkt in der Kammsohle wurden geringste Werte der Luft- und Bodentemperatur gemessen. Die mittlere Tageslufttemperatur beträgt hier 19,4°C, das Tagesmaximum liegt bei 24,0°C und das Tagesminimum bei 16,3°C. Die Mittelwerte der Tagesbodentemperatur bewegen sich von 13,5°C bis 16,0°C.

Aufgrund der angegebenen mittleren Tageslufttemperaturen auf dem Versuchsfläche 4 im Wert von 23,8°C und in der Kammsohle (Lokalität 4) im Wert von 19,4°C ist eine klare Temperaturinversion ersichtlich, die hier 4,4°C beträgt. Durch dendrometrische Messungen wurden auf den Versuchsfolgende Massindexe registriert:

Auf dem Versuchsfläche 1 wurden 425 Bäume registriert mit einer Kreisfläche von 32,64 m² und mit einer Holzmasse von 297,05 m³ je Hektar.

Auf dem Versuchsfläche 2 befinden sich 316 Bäume pro Hektar, die Kreisfläche beträgt 37,82 m² und die gesamte Holzmasse pro Hektar ist 515,80 m³. Auf dem Versuchsfläche 3 haben wir pro Hektar eine relativ grosse Baumanzahl von 1197 Stück pro Hektar, die Kreisfläche beträgt 27,72 m² und die Holzmasse beträgt 193,08 m³/ha. Auf dem Versuchsfläche 4 gibt es 806 Bäume je Hektar mit einer Kreisfläche von 25,69 m² und mit einer Holzmasse von 183,10 m³/ha.

Die Wurzelzusammensetzungsanalyse weist sichtbare Unterschiede auf. Die Traubeneiche ist mit seinem kräftigen Wurzelnetz gut durchgewachsen und schützt den Boden vor Erosion. Die Jungwuchsanalyse, durchgeführt an allen Versuchsflächen, hat gezeigt, dass der Jungwuchs am besten vertreten ist auf dem Versuchsfläche 1 (Tabelle 2) und am vitalsten ist er auf dem Versuchsfläche 4 (Tabelle 5).

Hinsichtlich der Fortseigentumsverhältnisse ergaben sich eindeutige Unterschiede im Aussehen und in der Bestandstruktur. Auf den Versuchsflächen 3 und 4, die sich im Privateigentum befinden, wurde das Baumfällen unsachgemäss durchgeführt, was negative Folgen auf das gegenwärtige Aussehen bewirkte und die schlechte Bestandstruktur bewirkte.

Hinsichtlich der Lage der geprüften Forste sehen wir, dass diese überwiegend einen Schutzcharakter haben mit der Ausnahme des neutrophyllen Gebirgsbuchenwaldes, in dem wir normal wirtschaften.

NIKOLA LUKIĆ

IZMJERA JEDNODOBNIH SASTOJINA PRIMJENOM UZORAKA PROMJENLJIVE VJEROJATNOSTI SELEKCIJE

INVENTORIES THE EVEN-AGED STANDS WITH SAMPLING VARYING PROBABILITIES

Svrha istraživanja je bila odrediti strukturu jednodobnih sastojina pomoću klasičnih metoda izmjere sastojina (totalna klupaža i primjerne pruge) i pomoću metoda uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije stabala (stajalište — point sampling i linije — line sampling), te ispitati točnost sastojinskih parametara (srednji promjer, broj stabala, temeljnica i volumen) dobivenih spomenutim metodama.

Ključne riječi: uzorci promjenljive vjerojatnosti selekcije, linije, stajališta, kritični kut.

1. UVOD — INTRODUCTION

Šuma je zajednica (cenoza) organizama, kojoj za razliku od drugih formacija biljaka (livade, pašnjaci, stepe) drveće daje osnovno obilježje i ono ujedno najviše utječe na razvitak žive i nežive okoline.

Šuma obuhvaća skup sastojina nekog uređajnog cilja. Kvantitativan opis sastojine odnosno šume vršimo na osnovi izmjere sastojinskih parametara. Opseg i preciznost izmjere tih parametara ovisi o brojnim faktorima. Jedan od bitnih faktora je cilj izmjere. Na način izmjere utječu elementi strukture sastojine, a to su: broj stabala i njihove dimenzije (promjeri, visine, drvna masa, temeljnica, prirast) po jedinici površine i distribucija vrsta.

Struktura sastojine je rezultat rasta i razvoja pojedinih vrsta pod utjecajem prirodnih faktora i čovjeka. Razlikujemo dvije tipične strukture sastojina: jednodobna i preborna. Jednodobna sastojina je skup stabala podignutih unutar kratkog pomladnog razdoblja, pa stabla jednodobne sastojine pripadaju istoj starosnoj klasi (10—20 god.). Radi toga izgled takvih sastojina je homogen. S druge strane imamo prebornu sastojinu koja obuhvaća stabla sa velikim varijabilitetom dimenzijama, te takva sastojina ima heterogen izgled. Takve sastojine su neprekidni izvor

šumskih proizvoda. Uslijed ograničenog vremena i financijskih sredstava, ne vršimo izmjeru cijelih sastojina, već sastojinske parametre procijenjujemo na osnovi uzorka — primjernih površina. Veličina i oblik uzorka često nam utječu na opseg i preciznost izmjere.

1.1. Uzorci — Sampling

Uzorak mora biti istinski predstavnik populacije koju promatramo. To je potrebno naglasiti iz razloga da u samom početku ne učinimo pogrešku prilikom određivanja jedinica uzorka. Potrebno je eliminirati sve izvore pristranosti, a to najjednostavnije postižemo tako da je selekcija jedinica uzorka slučajna. Kod uzimanja uzoraka razlikujemo više načina ali ih možemo svrstati u tri osnovne grupe:

- a) slučajni uzorci
- b) sistematski uzorci
- c) uzorci promjenljive vjerojatnosti selekcije.

Za slučajne uzorke možemo reći da je vjerojatnost selekcije svake jedinice ista tijekom procesa uzimanja uzoraka.

Sistematski uzorci su takvi uzorci gdje je prva jedinica uzorka selekcionirana slučajno, a sve ostale jedinice po nekom određenom sistemu.

Kod uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije vjerojatnost selekcije proporcionalna je poznatoj tabeliranoj veličini (lista uzimanja podataka) ili veličini izmjere (PPS-uzorci) ili samoj procjeni (3P-uzorci).

Kao što je već rečeno pomoću uzoraka procjenjujemo parametre populacije, tj. aritmetičku sredinu (μ) i varijancu (σ^2), određenog elementa strukture sastojine.

1.2. Uzorci promjenljive vjerojatnosti selekcije — Sampling with varying probabilities

Već smo rekli da se u izmjeri šuma (sastojina) najčešće primjenjuju stalne površine (pruge, plohe). Zadnjih godina je postignut vidan napredak u izmjeri šuma, upotrebom i primjenom uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije.

Zamisao potječe od austrijskog šumara W. Bitterlicha (1933, 1947, 1948) koji je razradio princip kutnog broja (Winkelzahl). On je pomoću kutnog broja kojeg određuje kritični kut, izvršio nepristranu procjenu temeljnice po hektaru (m^2/ha), brojeći sva stabla iz određenog stajališta (kojeg je slučajno odabrao) čije prsne promjere vidi pod većim vidnim kutem od kritičnog. Ovakav način procjenjivanja m^2/ha poznat je pod imenom Bitterlichova metoda uzimanja uzoraka (Winkelzählprobe, Horizontal Point Sampling). Na osnovi ove ideje razvile su se kasnije brojne metode uzimanja uzoraka poznatih pod zajedničkim imenom PPS (Probability Proportional to Size) metode uzimanja uzoraka odnosno metode uzimanja uzoraka kod kojih je vjerojatnost selekcije stabla proporcionalna veličini izmjere (Grosenbaugh, 1958; Hunt, Baker i Biskamp, 1964; Beers i Miller, 1964; Kulow, 1965; Wenk, 1965; Prodan, 1968; Šmelko, 1968 a i 1968 b). Kod uzimanja uzoraka PPS,

jedinica nam može biti stajalište (point sampling) ili linija — određena dužina (line sampling). Osnovna razlika između klasične metode uzimanja uzoraka (slučajno ili sistematski postavljene plohe, pruge koje su sve jednake površine) i nove metode PPS uzorka: točka (point sampling) ili linija (line sampling) je u tome što se kod klasične metode vrši selekcija osnovnih jedinica uzoraka s vjerojatnošću koja je proporcionalna frekvenciji stabala populacije, a kod točke — point sampling ili linije — line sampling s vjerojatnošću koja je proporcionalna veličini izmjere (promjeru, visini) u populaciji.

Klasičnu metodu možemo objasniti i kao specijalni slučaj PPS uzorka. Svaka veličina izmjere (promjer, temeljnica, visina) se može smatrati da se nalazi unutar imaginarnog kruga odnosno pravokutnika stalne površine, koja odgovara odabranoj površini plohe. Centar kruga ili centralnu liniju pravokutnika klasične metode možemo smatrati kao da je to točka (stajalište — point sampling) ili linija (line sampling) za uzimanje uzorka. I sada ako umjesto konstantne veličine jedinice uzorka (ploha) primijenimo uzimanje uzoraka s vjerojatnošću proporcionalnoj veličini izmjere (PPS), tada se i veličina te naše plohe mijenja. Veličina te nove imaginarne plohe je određena kutnim brojem (Winkelzahl). Prilikom određivanja vjerojatnosti selekcije obično se primijenjuju promjer (temeljnica) i visina. Kada su nam promjer i temeljnica veličine koje utječu na vjerojatnost selekcije primijenjujemo horizontalni kritični kut. Kada visina utječe na vjerojatnost selekcije primijenjujemo vertikalni kritični kut.

Zamislimo si horizontalnu ravninu u 1,30 m iznad tla (visina prsnog promjera) i konstantan kritični kut u toj ravnini koji je određen tangentama na deblo u prsnoj visini (Slika 1).

Ako načinimo puni krug s tim kritičnim kutom sva stabla koja određuju taj kut su granična stabla kruga. Što je veći prsni promjer ($d_{1,30}$) stabla, bit će i veći krug, iz toga slijedi da ćemo imati toliko različitih veličina imaginarnih krugova koliko i različitih veličina prsnih promjera.

Ako imamo stablo prsnog promjera d_i , njemu će pripasti imaginaran krug površine a_i

$$a_i = R_i^2 \pi$$

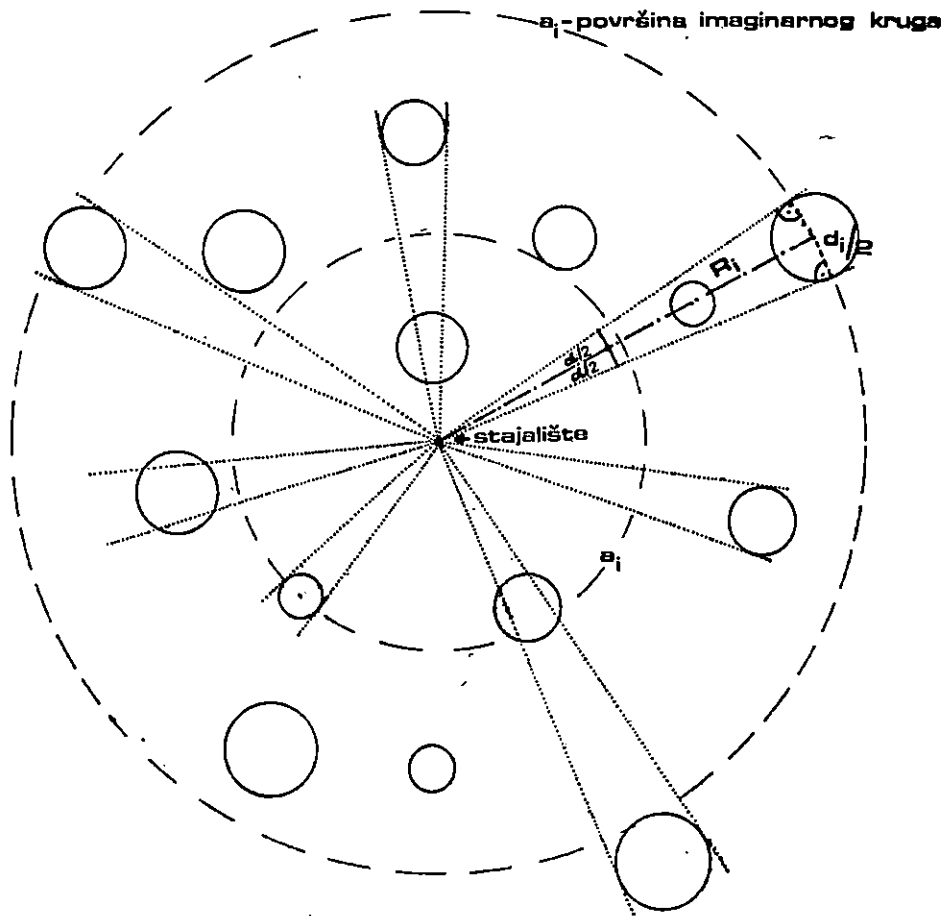
Iz slike 1 je vidljivo da je polumjer imaginarnog kruga R_i funkcija polumjera stabla $d_i/2$ i kuta α

$$\frac{\frac{d_i}{2}}{100 R_i} = \frac{d_i}{200 R_i} = \sin \frac{\alpha}{2}$$

Odnos tih dvaju polumjera (graničnog stabla i kruga) $\frac{d_i}{2}$ i R_i možemo izraziti konstantom k (Winkelzahl, Gauge constant)

$$k = \frac{d_i}{100 R_i} = 2 \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$R_i = \frac{d_i}{100 k}$$



Slika 1. — Figure 1

Sada možemo površinu imaginarnog kruga našeg graničnog stabla iskazati kao funkciju prsnog promjera d_i

$$a_i = \frac{d_i^2}{10^4 k^2} \pi \quad (1)$$

Razmotrimo sada uzimanje uzoraka pomoću linije (dužine) — line sampling. Zamislimo si u sastojini liniju određene dužine (L) koja se nalazi u horizontalnoj ravnini u 1,30 iznad tla i konstantni kritični kut (α) čija je simetrala na tu liniju okomita (Slika 2). Sva ona stabla kojima je prsni promjer jednak kritičnom kutu (faktoru brojenja) su granič-

na stabla imaginarnog pravokutnika, a R_i je granična udaljenost stabla od linije L. Što je veći prsni promjer biti će veći imaginarni pravokutnik, iz toga slijedi da ćemo imati toliko različitih veličina imaginarnih pravokutnika koliko i različitih veličina prsnih promjera.

Iz slike 2 vidimo da stablo prsnog promjera d_i ima pripadajući imaginarni pravokutnik površine a_i

$$a_i = L \cdot 2R_i$$

Površinu imaginarnog pravokutnika a_i možemo izraziti i kao funkciju prsnog promjera d_i iz odnosa

$$k = \frac{d_i}{100 R_i} \quad R_i = \frac{d_i}{100 k}$$

onda je

$$a_i = L \cdot 2 \frac{d_i}{100 k} \quad (2)$$

Iz svega ovoga možemo zaključiti slijedeće: da je vjerojatnost selekcije stabala (p_i) kod linije — line sampling proporcionalna prsnom promjeru (jednadžba 2), dok je kod stajališta — point sampling upravo proporcionalna kvadratu prsnog promjera (jednadžba 1), budući da je

$$p_i = \frac{a_i}{P}$$

onda je vjerojatnost za stajališta — point sampling

$$p_i = \frac{d_i^2 \pi}{10^4 k^2 \cdot P}$$

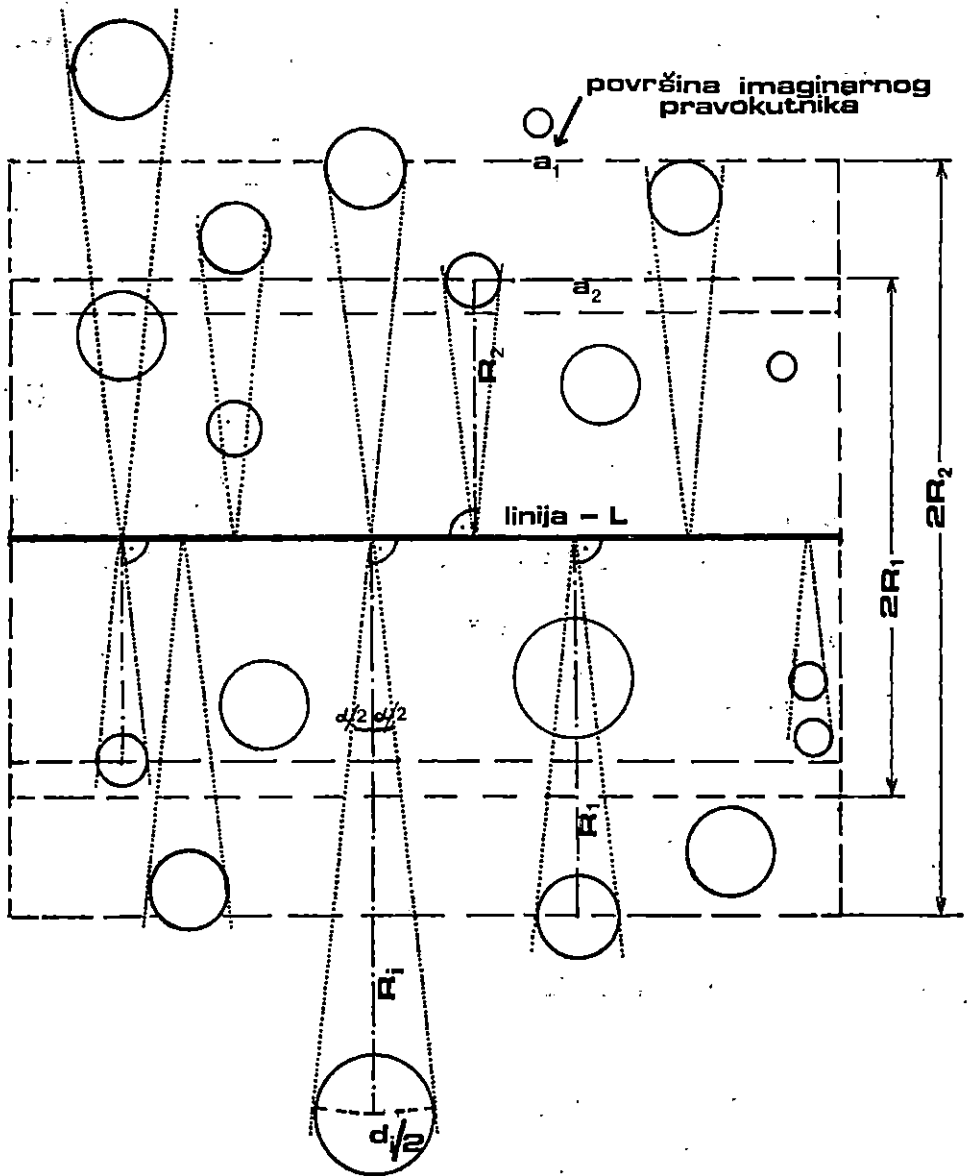
odnosno kod linija — line sampling

$$p_i = \frac{2L \cdot d_i}{100 k \cdot P}$$

gdje je P totalna površina populacije.

2. CILJ ISTRAŽIVANJA — AIM OF INVESTIGATION

Odrediti strukturu jednodobnih sastojina pomoću uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije stabala primjenjujući dva tipa jedinica uzorka: stajalište — point sampling i liniju — line sampling, te tri različita kutna broja (Winkelzahl) — faktora brojenja. Tako dobivene podatke strukture usporediti sa strukturom dobivenom totalnom klupažom i klasičnom metodom izmjere sastojine (primjerne pruge), te ispitati točnost



Slika 2. — Figure 2

sastojinskih parametara (srednji sastojinski promjer, temeljnica i volumen) dobivenih spomenutim metodama.

Izabrali smo dvije sastojine hrasta lužnjaka s velikom žutilovkom i rastavljenim šašem — *Genisto elatae* — *Quercetum roboris caricetosum remotae* Horv. 38., odjel 143 i 121, na NPSO Opeke — Lipovljani.

3. SNIMANJE PODATAKA UZORCIMA PROMJENLJIVE VJEROJATNOSTI SELEKCIJE — RECORDING DATA WITH SAMPLING VARYING PROBABILITIES

Već smo prije napomenuli da ovisno o kritičnom kutu i veličini koju mjerimo biramo način uzimanja uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije (horizontalna stajališta, horizontalne linije, vertikalna stajališta, vertikalne linije) od kojih ćemo ovdje obraditi horizontalna stajališta — point sampling i linije — line sampling.

Broj jedinica uzoraka stajališta ili linije određujemo po formuli

$$n = \frac{t^2 s_x^2}{s_{\bar{x}}^2}$$

n = broj stajališta (linija)

t = koeficijent pouzdanosti

s_x = standardna devijacija, obično radimo s koeficijentom varijacije temeljnice

$s_{\bar{x}}$ = željena točnost (srednja pogreška aritmetičke sredine) srednje temeljnice (volumena).

Veličinu tj. broj jedinica uzoraka stajališta (linija) odredili smo na osnovi poznavanja varijabiliteta temeljnice (s_g). U našim sastojinama varijabilitet temeljnice iznosi $s_g \approx 4,1 \text{ m}^2$. Željeli smo da srednja temeljnica bude određena sa točnošću $s_{\bar{g}} = 1,5 \text{ m}^2$ uz koeficijent pouzdanosti za 95% vjerojatnosti (1,96).

Tada smo dobili da je veličina uzoraka (broj) stajališta (linija) $n = 28$.

Poznavajući tako broj stajališta (linija) konstruirali smo mrežu položaja stajališta (linija) unutar izabраниh odjela. Do razmaka među stajalištima (linijama) smo došli na osnovi procjene površine imaginarnog kruga (pravokutnika) a_i i željenog intenziteta p (10%). Površinu imaginarnog kruga (stajališta) smo odredili na pretpostavci da u našim sastojinama srednji promjer $d = 35 \text{ cm}$, i za faktor brojanja $F = 1$ te je $k = 0,02$

$$a_i = \frac{d_i^2}{10^4 k^2} \cdot \pi = 0,0962 \text{ ha} = 962 \text{ m}^2$$

Ako su jednaki razmaci među stajalištima (linijama) onda je razmak r

$$r^2 : a_i = 100 : p$$

$$r = 10 \sqrt{\frac{a_i}{p}} = 10 \sqrt{\frac{962}{10}} = 98,08 \text{ m} \approx 100 \text{ m}$$

Ovdje možemo reći da smo mi kod prikupljanja podataka u istraživanim sastojinama koristili ustvari sistematski i uzorak promjenljive vjerojatnosti selekcije, to znači uzorci promjenljive vjerojatnosti selekcije stajališta — point sampling i linije — line sampling su bili sistematski položeni.

Na osnovi veličine kritičnog kuta se određuje faktor brojenja. Iz iskustva znamo da se za tanka stabla i otvorene sastojine primjenjuje manji faktor brojenja a za jaka stabla i guste sastojine veći faktor brojenja. Kako tanka stabla nisu u otvorenim (starijim) sastojinama ni jaka stabla u gustim (mlađim) sastojinama, onda obično faktor brojenja određujemo s obzirom na dimenzije stabala i gustoću sastojina.

Praktično to znači da si unaprijed odredimo srednji broj (\bar{n}) stabala na stajalištu (liniji). Ovo radimo zbog ljudskog faktora, jer čovjek nakon određenog vremenskog perioda rada počinje griješiti u prebrojavanju tj. selekciji stabala. Da bi izbjegli taj izvor grubih pogrešaka moramo si za konkretnu sastojinu odabrati određeni faktor brojenja (kutni broj — Winkelzahl).

Na primjer, kod određivanja temeljnice po ha, želimo da nam u jednom slučaju bude $\bar{n} = 30$, u drugom $\bar{n} = 15$, a u trećem $\bar{n} = 7$, tada će nam faktor brojenja (F) biti

$$F = \frac{\text{procijenjena srednja temeljnica}}{\bar{n}}$$

odnosno, pretpostavimo da je u našim sastojinama srednja temeljnica $G = 30 \text{ m}^2$, pa je onda faktor brojenja (F)

$$F_1 = \frac{30}{30} = 1 \text{ m}^2, \quad F_2 = \frac{30}{15} = 2 \text{ m}^2, \quad F_3 = \frac{30}{7} = 4 \text{ m}^2$$

Da bi nam rezultati bili zadovoljavajući Sayn-Wittgenstein preporučuje da se \bar{n} može kretati od 6—16, Pranjić (1977).

Da bi ustanovili koji faktor brojenja odgovara za naše istraživane sastojine upotrebili smo sva tri faktora brojenja kod linija i kod stajališta.

Na Bitterlichovom zrcalnom relaskopu to su traka 1 za $F = 1$, traka 2 za $F = 2$ i traka 4 (traka koja nam služi prilikom izmjere nedohvatnih promjera) za $F = 4$.

3.1. Snimanje podataka na stajalištima — Recording data in the horizontal point sampling

Na svakom stajalištu izvršena je izmjera prsnih promjera i visina. Promjeri su mjereni na svim stablima koja smo vidjeli pod većim vidnim kutom od trake 1, 2 i 4 zrcalnog relaskopa promatrajući prsne promjere

stabala u punom krugu. Prsni promjeri su mjereni zaokružbenom promjerkom, debljinski stupnjevi od 2 cm, konstrukcije Aldenbrück-Böhmerle. Izmjerene promjere smo upisali u manual po vrsti drveta i veličini promjera za svako stajalište i svaki faktor brojenja ($F = 1$, $F = 2$, $F = 4$) posebno. Svim onim stablima koja su imala prsni promjer jednak kritičnom kutu, tj. rubnim stablima imaginarnih krugova, provjeravali smo vrpcom njihove udaljenosti (R_i) od stajališta (centra imaginarnog kruga)

$$R_i = \frac{1}{2\sqrt{F}} d_i = \frac{1}{100k} d_i$$

Za naše faktore brojenja odgovarajući polumjeri imaginarnih krugova će biti:

| | | |
|---------|------------------|----------------------|
| $F = 1$ | $R_i = 0,50 d_i$ | |
| $F = 2$ | $R_i = 0,35 d_i$ | $(R_i = 0,3536 d_i)$ |
| $F = 4$ | $R_i = 0,25 d_i$ | |

U slučaju da je promatrano stablo bilo zaklonjeno (djelomično ili potpuno) s drugim stablom morali smo se pomaknuti iz stajališta ili vrpcom provjeriti udaljenost (R_i) da bi izvršili selekcioniranje. Izmjerena stabla smo obilježavali kredom da bi izbjegli pogrešku dvostrukog mjerenja. Visine smo mjerili Bitterlichovim zrcalnim relaskopom na 6—12 selekcioniranih stabala po stajalištu. Pri izmjeri visina pazili smo da bude zastupljenost visina u svim debljinskim stupnjevima.

3.2. Snimanje podataka na linijama — Recording data in the horizontal line sampling

Na svakoj liniji sistematski položenoj fiksne duljine $L = 20$ m, izvršena je izmjera prsnih promjera. Promjere smo mjerili tako da smo se kretali duž linije, te sa njene obje strane mjerili sva ona stabla čije smo prsne promjere vidjeli pod većim vidnim kutom od trake 1, 2 i 4 zrcalnog relaskopa. Izmjerene promjere smo upisali u manual po vrsti drveta i veličini promjera za svako stajalište i svaki faktor brojenja ($F = 1$, $F = 2$, $F = 4$) posebno. Prilikom selekcije, simetrala kuta na stablo morala je biti OKOMITA na liniju (L). Prsni promjeri su mjereni zaokružbenom promjerkom, debljinski stupnjevi od 2 cm, konstrukcije Aldenbrück-Böhmerle. Svim onim stablima koja su imala prsni promjer jednak kritičnom kutu ili su bila zaklonjena provjeravali smo vrpcom udaljenost (R_i) od fiksne linije (L) imaginarnog pravokutnika na isti način kao kod stajališta (vidi 3.1.).

Ovdje smo morali više obratiti pažnju na granična stabla koja su se nalazila na rubovima opsega imaginarnog pravokutnika, a posebno na ona koja su se nalazila na uglovima imaginarnog pravokutnika. Možemo reći da u ovim istraživanim sastojinama nismo imali ni jednog takvog slučaja graničnih stabala.

4. RAČUNANJE POTREBNIH FAKTORA ZA OBRAČUN UZORAKA PROMJENLJIVE VJEROJATNOSTI SELEKCIJE — DEFINING OF FACTORS NECESSARY FOR SAMPLING WITH VARYING PROBABILITIES

Već smo napomenuli da ovisno o kritičnom kutu i sastojinskom parametru koji nas interesira određujemo način uzimanja uzorka promjenljive vjerojatnosti selekcije, odnosno veličine koja utječe na računanje nužnih faktora.

Ako nas interesira temeljnica po ha, primijeniti ćemo horizontalna stajališta, jer tim načinom temeljnicu odredimo na osnovi prebrojenih stabala na imaginarnom krugu odnosno pravokutniku. Želimo li znati broj stabala po ha, tada moramo izvršiti klupažu tih stabala i odrediti faktor stabla za svaki debljinski stupanj.

Ako nam je u središtu pažnje volumen primijenjujemo horizontalna stajališta i mjerimo prsne promjere i visine. Stoga nam je potrebno izračunati faktor volumena za svaku debljinsko-visinsku klasu.

Radi daljnjeg razumijevanja i preglednosti u slijedećoj tabeli su prikazane oznake potrebnih faktora za horizontalni kut selekcije stajališta (point sampling) i linije (line sampling).

| Naziv faktora | Horizontalni uzorci | | Svako registrirano stablo predstavlja |
|-------------------|---------------------|--------|---------------------------------------|
| | stajalište | dužina | |
| Faktor stabla | F_t | f_t | N/ha |
| Faktor temeljnice | F | f_b | m ² /ha |
| Faktor promjera | F_d | f_d | cm ili m/ha |
| Faktor volumena | F_v | f_v | m ³ /ha |

Kako bi nam faktori stabla, temeljnice, promjera i volumena bili što jasniji, pretpostavimo da imamo plohu veličine 1/10 ha. Svako stablo na toj plohi je reprezentant 10 stabala po hektaru. Ako na plohi imamo stablo prsnog promjera $d = 40$ cm i visine 30 m te volumena $V = 2,8$ m³, onda to jedno stablo prezentira $2,8 \left(\frac{1}{1/10} \right) = 28$ m³/ha, odnosno $40 \cdot 10 = 400$ cm promjera po hektaru, odnosno $30 \cdot 10 = 300$ m visina po hektaru. Znači faktor stabla (F_t, f_t) je broj stabala po hektaru što ga predstavlja jedno registrirano stablo, a to je ono stablo koje smo vidjeli pod većim vidnim kutem od kritičnog kuta, na našoj imaginarnoj plohi (krug, pravokutnik). Prema tome svaka veličina promjera ima svoj faktor stabla, ali mi ga iskazujemo samo za centralnu vrijednost debljinskog stupnja. Ostale faktore ($F_v, f_v, F_d, f_d, \dots$) dobivamo tako da određene veličine centralnog stabla debljinskog stupnja množimo s faktorom stabla tog debljinskog stupnja.

4.1. Izračunavanje potrebnih faktora za horizontalna stajališta — Defining of factors necessary for horizontal point sampling

Faktor stabla F_t određujemo na osnovi površine imaginarne plohe (a) [vidi formulu(1)].

$$a_i = R_i^2 \pi = \left(\frac{d_i}{100 k} \right)^2 \pi$$

gdje je $k = \frac{d}{100 R} = 2 \sin \frac{\alpha}{2}$ ($\alpha =$ kritični kut)

pa je

$$F_t = \frac{10000}{\pi \left(\frac{d_i}{100 k} \right)^2} = \frac{10000 k^2}{\pi \left(\frac{d_i}{100} \right)^2}$$

Ako i brojnik i nazivnik podijelimo sa 4 imamo

$$F_t = \frac{2500 k^2}{0,00007854 d_i^2}$$

Budući je faktor temeljnice $F = 2500 k^2$ a $0,00007854 d_i^2 = G_i$ u m^2 , tj. temeljnica i-tog stabla u m^2 .

$$F_t = \frac{F}{G_i}$$

Ako je naš faktor temeljnice $F = 1$ izlazi da je faktor stabla

$$F_t = \frac{1}{G_i}$$

a ako je faktor temeljnice $F = 2$ ili $F = 4$ izlazi da je faktor stabla

$$F_t = \frac{2}{G_i} \qquad F_t = \frac{4}{G_i}$$

Sve ostale faktore možemo dobiti pomoću faktora stabla i odgovarajuće veličine.

$$\text{Faktor temeljnice} = G_i \cdot F_t = F$$

$$F = G_i \cdot \frac{2500 \cdot k^2}{G_i} = 2500 k^2$$

Faktor promjera

$$F_d = d_i \frac{2500 k^2}{G_i} = d_i \left(\frac{F}{0,00007854 d_i^2} \right) = \frac{F}{0,00007854 d_i}$$

Faktor volumena

$$F_v = V_i \cdot F_t$$

odnosno

$$F_v = V_i \left(\frac{F}{G_i} \right)$$

Ako je $F = 1$

$$F_v = \frac{V_i}{G_i} = \frac{G_i h_i f_i}{G_i} = h_i f_i$$

gdje je h_i visina i-tog stabla a f_i oblični broj. Pretpostavimo da je oblični broj konstantan

$$f_i = 0,5$$

onda je

$$F_v = 0,5 h_i$$

da bi volumen dobili što točniji računamo faktor volumena (F_v) sa volumenom (V_i) konkretnog i-tog stabla kojeg dobijemo upotrebom određenih dvovalaznih tablica.

4.2. Izračunavanje potrebnih faktora za horizontalne linije — Defining of factors necessary for horizontal line sampling

Površina imaginarnog pravokutnika fiksne dužine (L) i promjenljive širine (R_i) iznosi

$$a_i = 2R_i \cdot L$$

Širina plohe je $2R_i$, jer mjerimo stabla s obje strane fiksne dužine (L).

Ako uzmemo da nam je dužina $L = 20$ m, faktor stabla je

$$f_t = \frac{10000}{2R_i L} = \frac{10000}{40 R_i} = \frac{250}{R_i}$$

Kako je horizontalni kut selekcije

$$\frac{d_i}{100 R_i} = 2 \sin \frac{\alpha}{2} = k$$

a širina imaginarnog pravokutnika

$$R_i = \frac{d_i}{100 k}$$

onda nam je faktor stabla

$$f_t = \frac{25000 \cdot k}{d_i}$$

odnosno

$$f_t = \frac{f_d}{d_i}$$

jer je faktor promjera

$$f_d = 25000 \cdot k$$

Ako radimo s $F = 1$ (traka 1 na zrcalnom relaskopu) faktor f_d ćemo odrediti pomoću faktora temeljnice F .

$$F = 10^4 \sin^2 \frac{\alpha}{2} = 2500 \cdot 4 \sin^2 \frac{\alpha}{2}$$

$$k = 2 \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$F = 2500 k^2$$

odnosno

$$k^2 = \frac{F}{2500}$$

$$k = \frac{\sqrt{F}}{50}$$

a faktor promjera $f_d = 25000 \cdot k$

$$f_d = \frac{25000}{50} \cdot \sqrt{F} = 500 \cdot \sqrt{F}$$

Pošto smo uzeli da radimo sa $F = 1$ a $f_d = 500$ onda je faktor stabla

$$f_t = \frac{500}{d_i}$$

Isto tako ako radimo sa $F = 2$ ili $F = 4$ (traka 2 i 4 na zrcalnom relaskopu) možemo faktor promjera f_d odrediti pomoću faktora temeljnice F ili direktno iz faktora promjera pošto znamo k (Winkelzahl, Gauge constant). Faktor promjera f_d za $F = 2$ je

$$f_d = 25000 k = 25000 \cdot \frac{\sqrt{2}}{50} = 707$$

ili

$$F = 2500 k^2 \quad k = \frac{\sqrt{F}}{50}$$

$$f_d = 25000 k \quad k = \frac{f}{25000}$$

te je

$$f_d = \frac{25000}{50} \cdot \sqrt{F} = 500 \cdot \sqrt{F} = 500 \sqrt{2} = 707$$

Faktor promjera f_d za $F = 4$ je

$$f_d = 25000 k = 25000 \cdot \frac{1}{25} = 1000$$

ili

$$f_d = 500 \sqrt{F} = 500 \sqrt{4} = 1000$$

I tako poznavajući faktore promjera za određene faktore brojenja $F = 2$ i $F = 4$ možemo izračunati faktor stabla f_t . Faktor stabla f_t za $F = 2$ je

$$f_t = \frac{707}{d_i}$$

a za $F = 4$ je

$$f_t = \frac{1000}{d_i}$$

Faktor temeljnice za $F = 1$ je

$$f_b = G_i \cdot f_t$$

$$f_b = \frac{d_i^2 \pi}{40000} \cdot \frac{500}{d_i} = 0,03925 d_i$$

Za $F = 2$ faktor temeljnice je

$$f_b = \frac{d_i^2 \pi}{40000} \cdot \frac{707}{d_i} = 0,05553 d_i$$

$$f_b = 0,05553 d_i$$

a za $F = 4$ faktor temeljnice je

$$f_b = \frac{d_i^2 \pi}{40000} \cdot \frac{1000}{d_i} = 0,07854 d_i$$

$$f_b = 0,07854 d_i$$

Faktor volumena

$$f_v = V_i f_t$$

$$f_v = \frac{d_i^2 \pi}{40000} h_i f_t$$

$$f_v = \frac{\pi 0,5}{40000} \cdot d_i^3 \cdot h_i \cdot \frac{500}{d_i}$$

$$f_v = 0,019625 d_i h_i$$

Mi ćemo prilikom obračuna računati volumen i -tog stabla V_i pomoću određenih dvoulaznih tablica te će faktor volumena biti

$$f_v = V_i \cdot \frac{500}{d_i}$$

Horizontalni uzorak promjenljive vjerojatnosti selekcije
Horizontal Probability Proportional to Size sampling

| | STAJALIŠTE — Point sampling | ZRCALNI RELASKOP TRAKE | | | LINIJA — Line sampling | ZRCALNI RELASKOP TRAKE | | |
|---|---|---------------------------|------------------------|------------------------|---|--|----------------------|-----------------------|
| | | 1 | 2 | 4 | | 1 | 2 | 4 |
| Kutni broj (Winkelzahl, Gauge constant) | $k = \frac{d}{100R} = 2\sin \frac{\alpha}{2}$ | $\frac{1}{50}$ | $\frac{1}{35.36}$ | $\frac{1}{25}$ | $k = \frac{d}{100R} = 2\sin \frac{\alpha}{2}$ | $\frac{1}{50}$ | $\frac{1}{35.36}$ | $\frac{1}{25}$ |
| Radius kruga ili 1/2 širine plohe (m) | $R_i = \frac{d_i}{100k}$ | $0.50d_i$ | $0.3536d_i$ | $0.25d_i$ | $R_i = \frac{d_i}{100k}$ | $0.50d_i$ | $0.3536d_i$ | $0.25d_i$ |
| Površina plohe (m ²) | $a_i = R_i^2\pi$ | $0.25d_i^2$ | $0.125d_i^2$ | $0.0625d_i^2$ | $a_i = 2R_i \cdot L$ | $a_i = 2R_i \cdot L = 40R_i$ ako je $L = 20$ m $\frac{20d_i}{14.14d_i} \quad 10d_i$ | | |
| Faktor stabla (N/ha) | $F_t = \frac{10^4}{R_i^2\pi} = \frac{F}{G_i}$ | $\frac{4}{G_i}$ | $\frac{2}{G_i}$ | $\frac{4}{G_i}$ | $f_t = \frac{f}{d_i}$ | $\frac{500}{d_i}$ | $\frac{707}{d_i}$ | $\frac{1000}{d_i}$ |
| Faktor temeljnice (m ² /ha) | $F = 2500k^2 = G_i F_t$ | 1 | 2 | 4 | $f_b = G_i f_t$ | $0.03925d_i$ | $0.05553d_i$ | $0.07854d_i$ |
| Faktor volumena (m ³ /ha) | $F_V = V_i F_t$ | $\frac{V_i}{G_i}$ | $\frac{2V_i}{G_i}$ | $\frac{4V_i}{G_i}$ | $f_V = V_i f_t$ | $\frac{500V_i}{d_i}$ | $\frac{707V_i}{d_i}$ | $\frac{1000V_i}{d_i}$ |
| Faktor promjera (cm/ha) | $F_d = \frac{F}{0.00007854d_i}$ | $\frac{22738.85}{d_i}$ | $\frac{25477.71}{d_i}$ | $\frac{50955.41}{d_i}$ | $f_d = d_i f_t = 25000k$ | 500 | 707 | 1000 |

odnosno

$$f_v = V_i \cdot \frac{707}{d_i}$$

$$f_v = V_i \cdot \frac{1000}{d_i}$$

2. OBRADA PODATAKA — DATA PROCESSING

Nakon obavljenih terenskih radova podaci su obračunati po zajednicama i po primijenjenim metodama izmjere. Kod uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije podaci su obrađeni po tipu uzimanja uzoraka (stajalište — point sampling i linija — line sampling) i za svaki primijenjeni kritični kut (Winkelzahl, Gauge constant).

5.1. Distribucija prsnih promjera — Diameter distribution

Distribuciju prsnih promjera smo izradili za ukupan broj stabala i po vrstama. Svim distribucijama smo izračunali njihove parametre, aritmetički srednji promjer (\bar{d}) i njegovu standardnu devijaciju (s_d) kao i srednju pogrešku ($s_{\bar{d}}$). Osim ovih vrijednosti odredili smo i koeficijente skošenosti (β_1) i spljoštenosti (β_2).

Izračunati parametri su prikazani u tabeli 1 i tabeli 4.

Distribuciju prsnih promjera za hrast lužnjak, kao glavnu vrstu prikazali smo na grafikonima 1, 2, 3, 4, 5 i 6.

5.2. Sastojinske visinske krivulje — Stand height curves

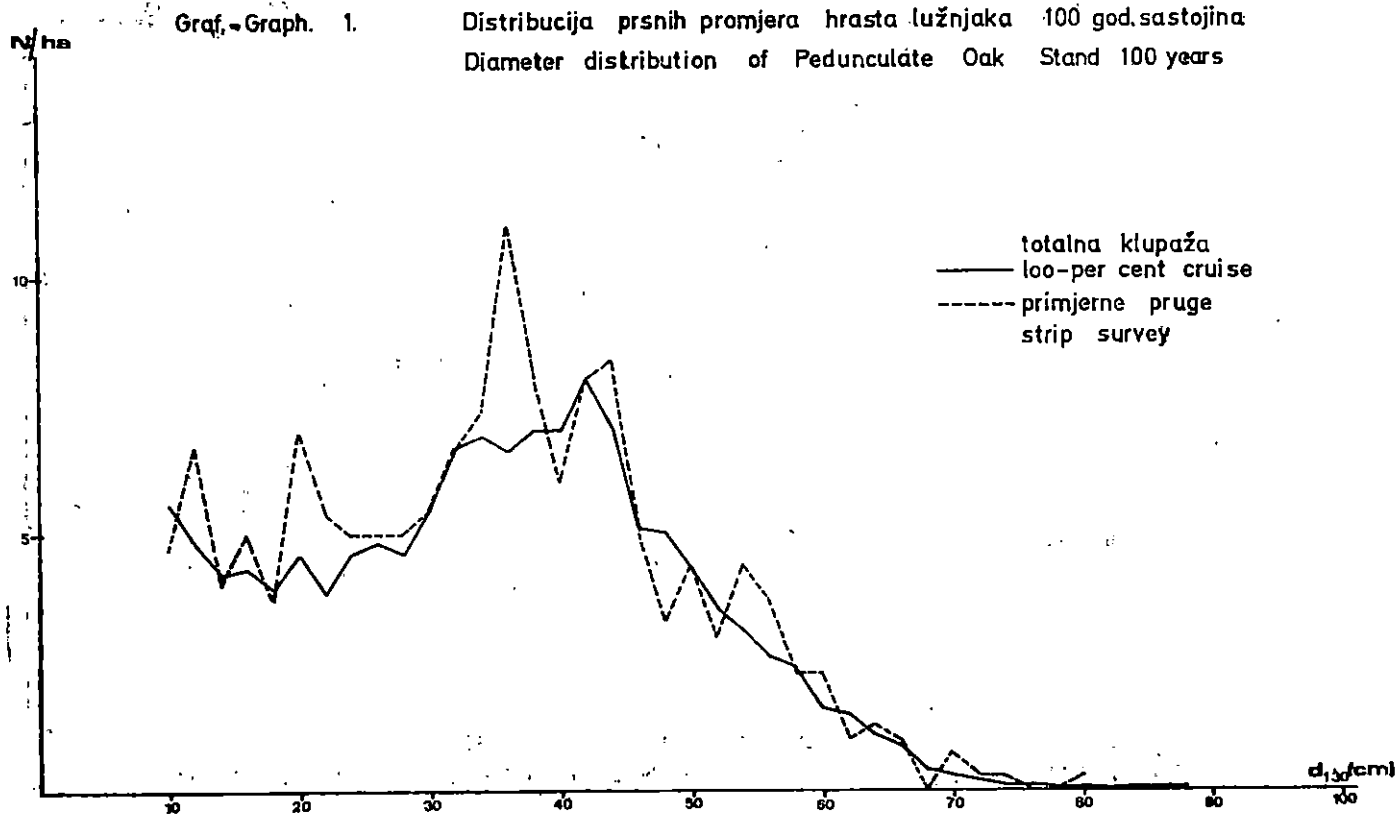
Za svaku našu sastojinu smo izvršili grafičko izjednačenje visina kao funkciju prsnog promjera i to za totalnu klupažu i primjerne pruge zajedničke visinske krivulje. Kod uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije izradili smo zajedničke visinske krivulje za sve faktore brojenja i za oba tipa uzorka: stajalište i linija.

5.3. Struktura sastojina — Stand of trees structure

Za obje zajednice odredili smo strukturu istraživanih sastojina na osnovi svih 8 metoda izmjere. Kako ne možemo sve tabele prikazati (zbog opsežnosti rada), donosimo po našem mišljenju najvažnije i to za hrast lužnjak i sveukupne podatke za sve metode izmjere. Osnovni pokazatelji strukture sastojine su broj stabala po ha (N), temeljnica po ha (G) i volumen po ha (V), pa ćemo tim redom objasniti i njihov obračun.

5.3.1. Broj stabala — Number of trees — N

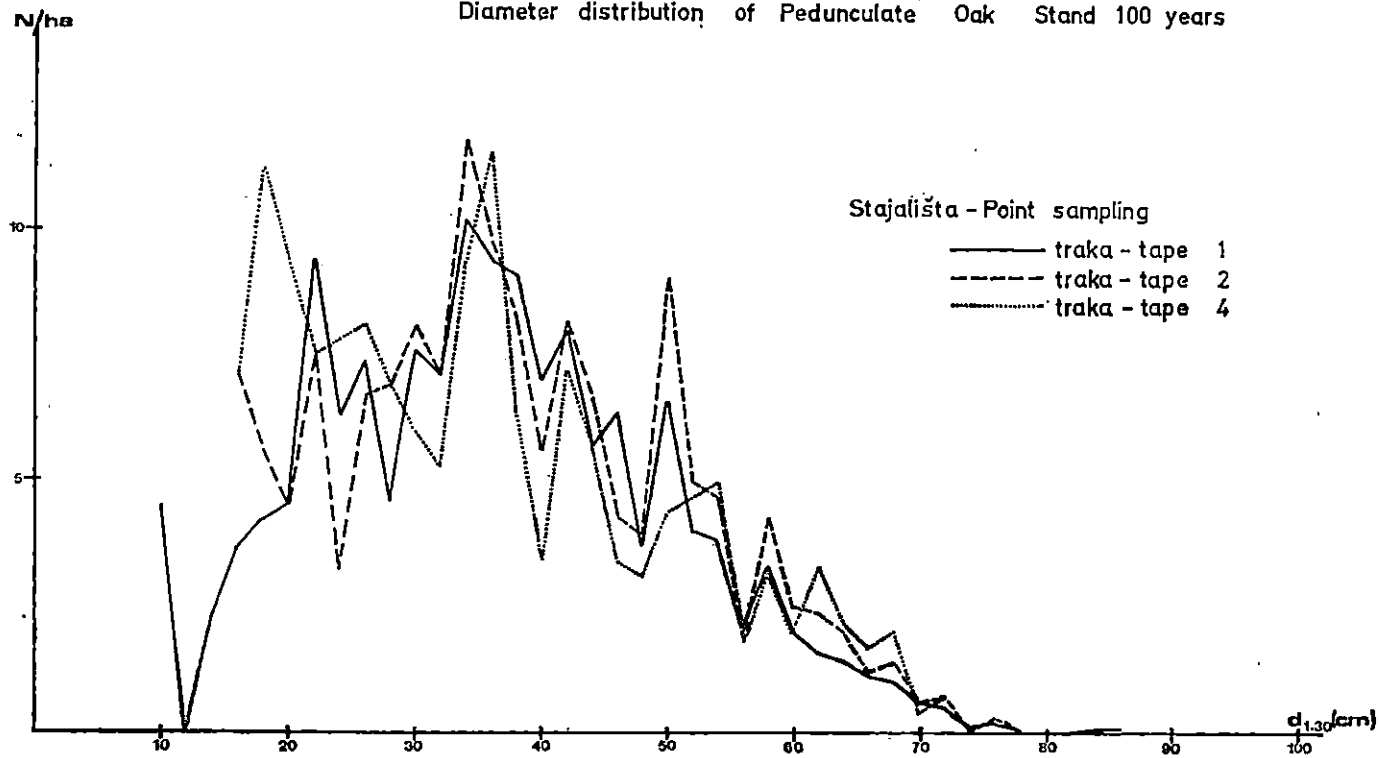
Na osnovi distribucije broja stabala izračunali smo srednji broj stabala po hektaru (\bar{N}), njegov varijabilitet (s_N) a i srednju pogrešku ($s_{\bar{N}}$). Do-



Lukić N.: Izmjena jednodobnih sastojina primjenom uzoraka promjenjive vjerojatnosti selekcije. Glasnik
 za šun. pokuse 22:333-367, 1984.

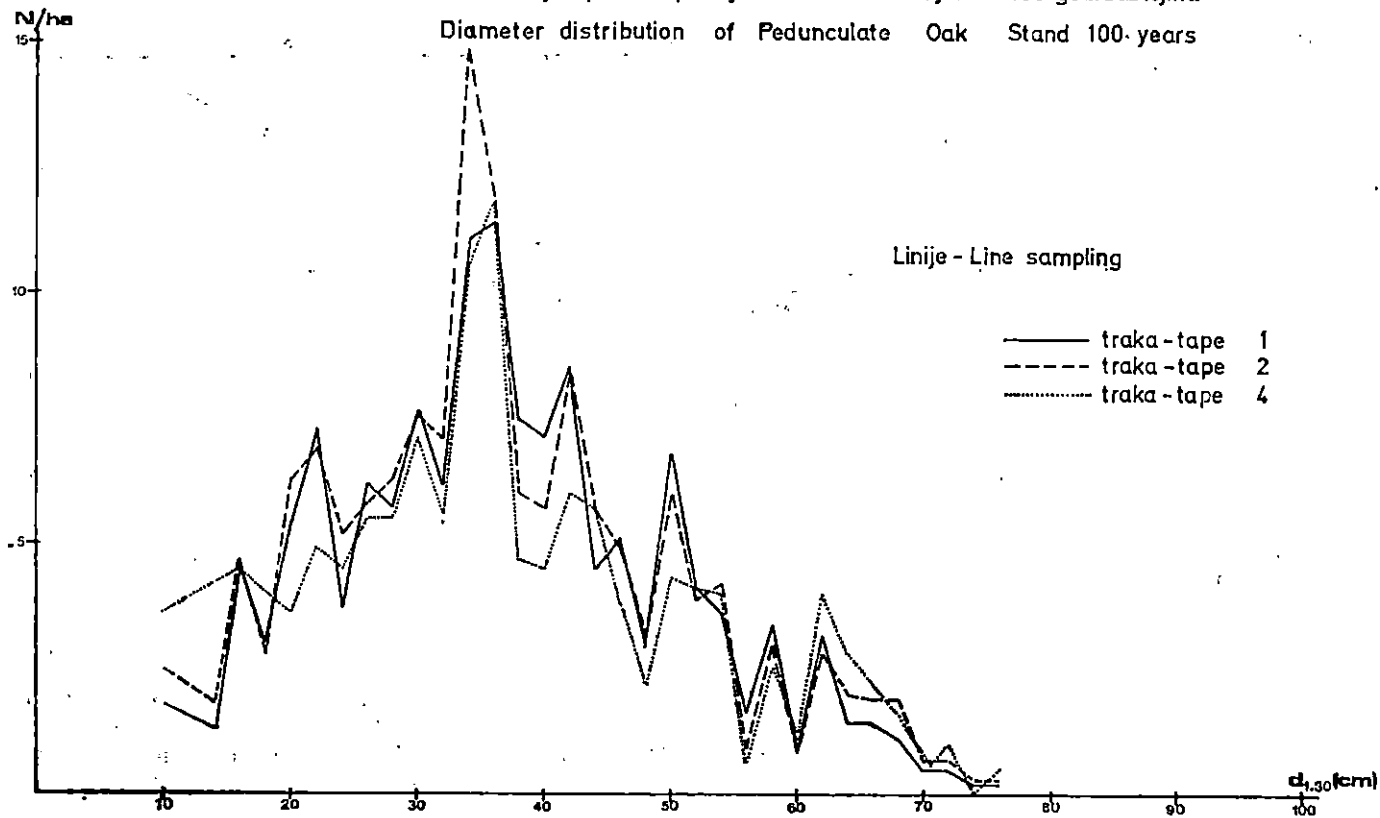
Graf.-Graph. 2.

Distribucija prsnih promjera hrasta lužnjaka 100 god.sastojina
 Diameter distribution of Pedunculate Oak Stand 100 years



Graf.-Graph. 3.

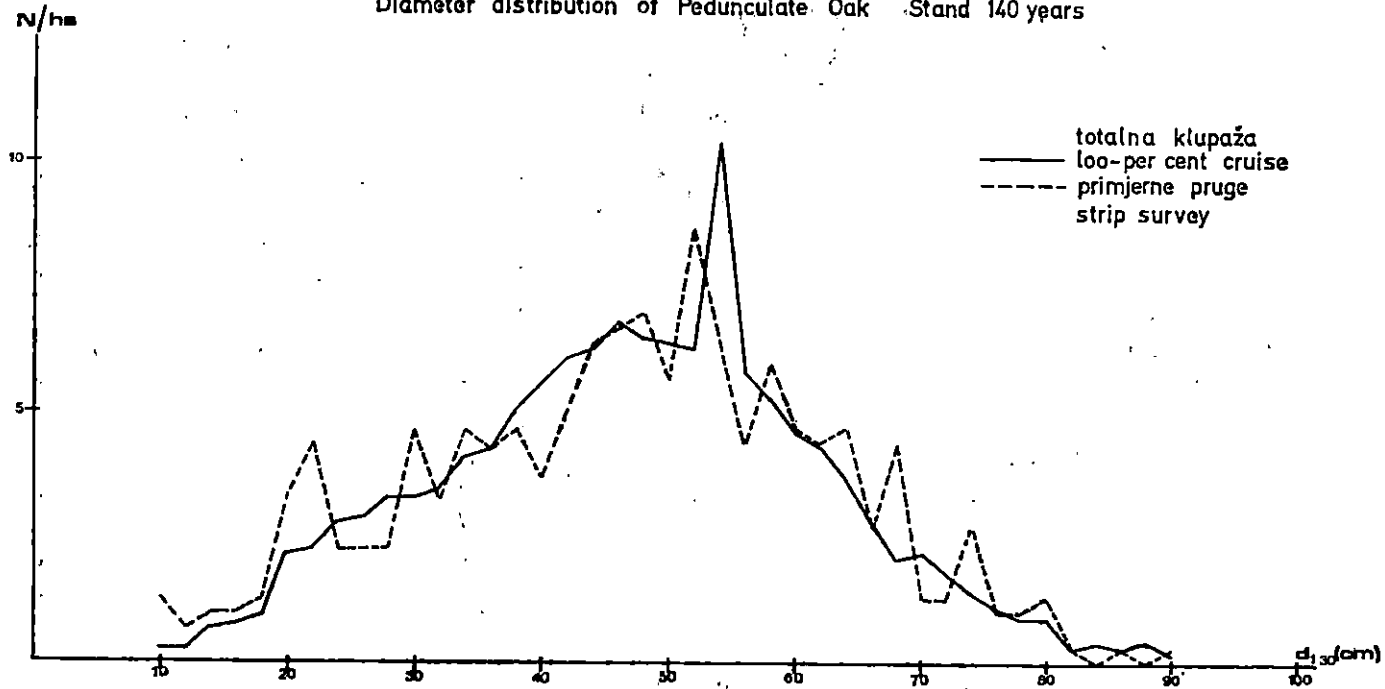
Distribucija prsnih promjera hrasta lužnjaka 100 god.sastojina
Diameter distribution of Pedunculate Oak Stand 100 years



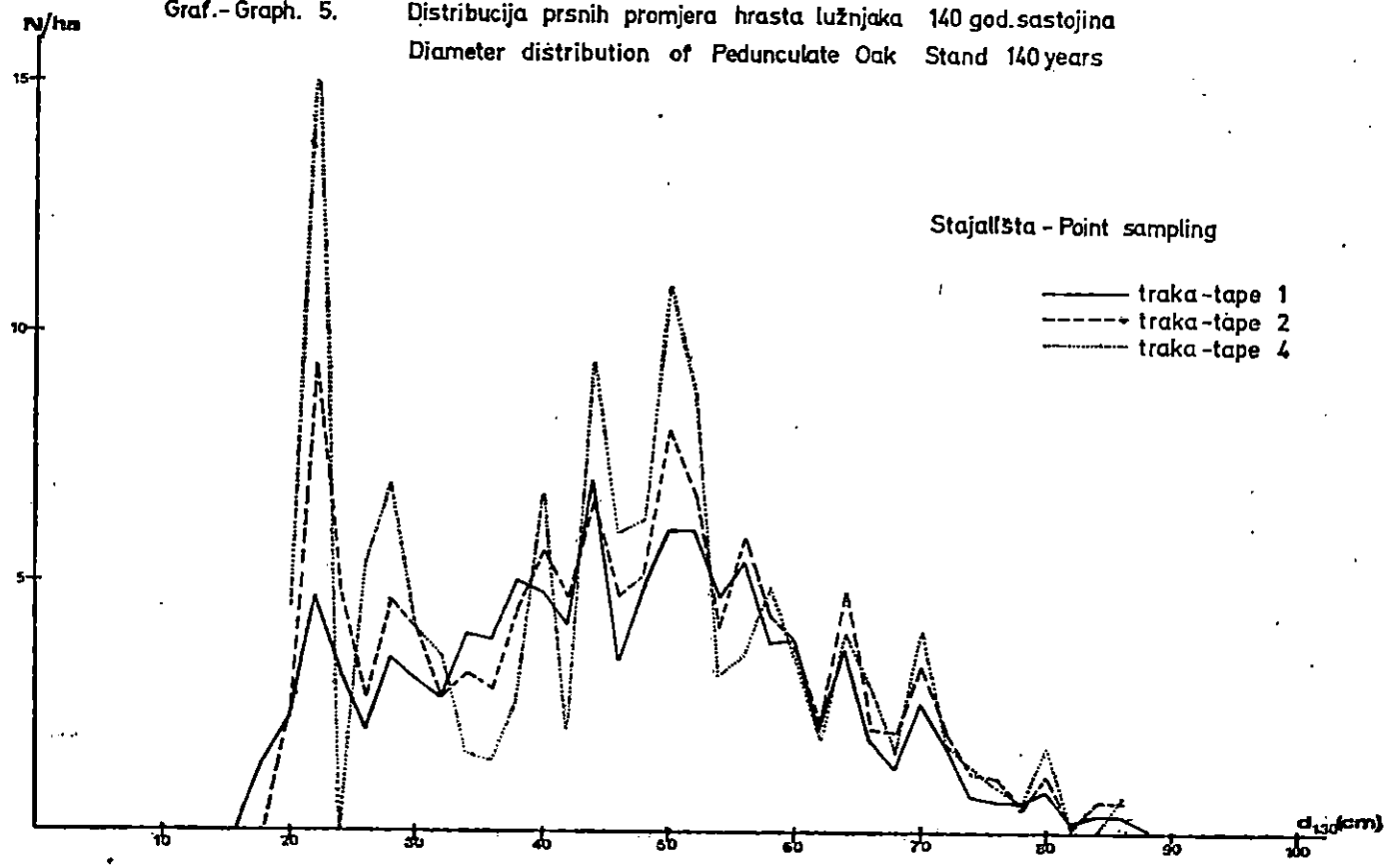
Lokle N.: Izvještaj o primjeni uzorka promjenljive vjerojatnosti selekcije. Glasnik
za šum. pokuse 22:333-367, 1984.

Graf.-Graph. 4.

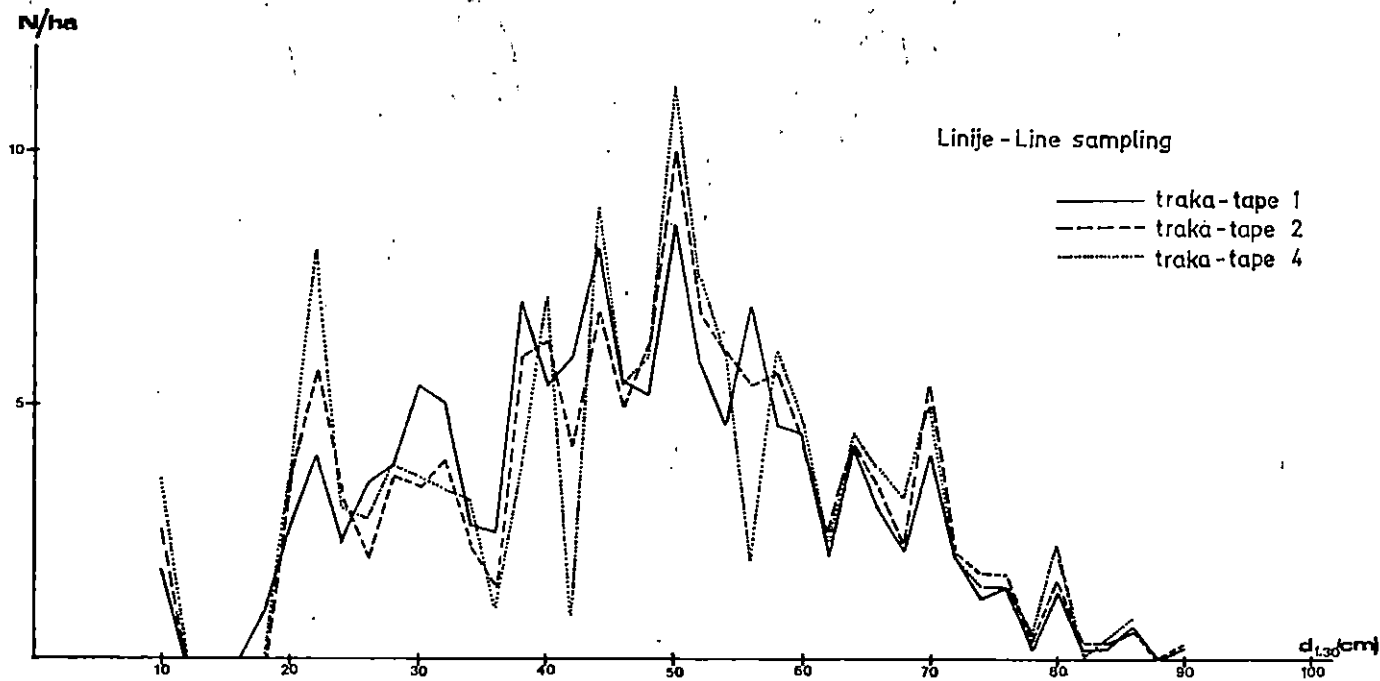
Distribucija prsnih promjera hrasta lužnjaka 140 god.sastojina
 Diameter distribution of Pedunculata Oak Stand 140 years



Graf.-Graph. 5. Distribucija prsnih promjera hrasta lužnjaka 140 god.sastojina
Diameter distribution of Pedunculate Oak Stand 140 years



Graf. Graph. 6. Distribucija prsnih promjera hrasta lužnjaka - 140 god. sastojina
 Diameter distribution of Pedunculate Oak Stand 140 years



bivene rezultate smo prikazali u tablicama 2, 3, 5 i 6. Kod totalne izmjere stabala odredili smo samo broj stabala po ha, jer varijabilitet broja stabala po ha nismo u mogućnosti izračunati. Kod izračunavanja prosječnih vrijednosti za sistematski uzorak primjernih pruga, broj elementarnih jedinica uzoraka je broj hektara pruga dok je kod uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije to broj stajališta odnosno linija. Statistički način obrade ovih parametara strukture je toliko uobičajen da ga ovdje i ne donosimo.

5.3.2. Temeljnica — Basal-area — G

Pomoću distribucije broja stabala obračunali smo temeljnicu za totalnu klupažu i primjerne pruge. U tabelama 2, 3, 5 i 6 smo iskazali srednju temeljnicu (\bar{G}), njenu standardnu devijaciju (s_G) i srednju pogrešku ($s_{\bar{G}}$). Kod uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije smo za sve faktore brojenja dobili temeljnicu kod linija na osnovi faktora temeljnice (f_b) i broj selekcioniranih stabala a kod stajališta broj prebrojenih stabala ujedno je bio i temeljnica po hektaru, također smo izračunali srednju temeljnicu, njenu standardnu devijaciju i srednju pogrešku (Tabele 2, 3, 5 i 6).

5.3.3. Volumen sastojine — Stand volume — V

Kod određivanja volumena naših istraživanih zajednica koristili smo se sastojinskim visinskim krivuljama i dvoulaznim drvnogromadnim tablicama. Volumen sastojina smo obračunali po debljinskim stupnjevima. Kod sistematskog uzorka primjernih pruga smo izračunali srednji volumen (\bar{V}), njegovu standardnu devijaciju (s_V) i srednju pogrešku ($s_{\bar{V}}$)

Tab. 1

Odjel — Compartment: 143

Površina — Area: 32.73 ha

Starost sastojine — Stand Age: 100 god. — Year

Vrsta drveća — Tree Species: HRAST LUŽNJAK — PEDUNCULATE OAK

| Način rada Method work | \bar{d} | s_d | $s_{\bar{d}}$ | β_1 | β_2 | Intenzitet Intensity % | CV (%) | CP (%) |
|---|-----------|--------|---------------|-----------|-----------|------------------------------|-----------|-----------|
| Totalna klupaža Loo — per cent cruise | 35.00 | 14.441 | 1.256 | +0.113 | —0.554 | 100 | 41.26 | 3.59 |
| Primjerne pruge Strip survey | 34.74 | 14.437 | 1.196 | +0.193 | —0.533 | 9.12 | 41.56 | 3.44 |
| F = 1 | 36.27 | 13.657 | 1.117 | +0.308 | —0.253 | 8.84 | 37.65 | 3.08 |
| F = 2 | 37.94 | 13.463 | 1.095 | +0.346 | —0.510 | 4.93 | 35.48 | 2.89 |
| F = 4 | 37.56 | 14.092 | 1.214 | +0.360 | —0.668 | 2.37 | 37.52 | 3.23 |
| f = 500 | 37.21 | 13.290 | 1.214 | +0.341 | —0.326 | 6.14 | 35.72 | 3.26 |
| f = 707 | 36.95 | 13.709 | 1.131 | +0.433 | —0.219 | 4.51 | 37.10 | 3.06 |
| f = 1000 | 37.75 | 14.528 | 1.289 | +0.369 | —0.429 | 2.88 | 38.48 | 3.41 |

Tab. 2

Odjel — Compartment: 143

Površina — Area: 32.73 ha

Starost sastojine — Stand Age: 100 god. — Year
 Vrsta drveća — Tree Species: HRAST LUŽNJAK — PEDUNCULATE OAK

| Način rada Method work | Dužina pruga, broj stajališta linija* | \bar{N} | s_N | $s_{\bar{N}}$ | \bar{G} | s_G | $s_{\bar{G}}$ | \bar{V} | s_V | $s_{\bar{V}}$ |
|--|---|-----------|---------|---------------|-----------|--------|---------------|-----------|---------|---------------|
| Totalna klupaža Loo — per cent cruise | — | 132.2 | — | — | 14.961 | — | — | 243.381 | — | — |
| Primjerne pruge Strip survey | 2.986 | 133.3 | 10.332 | 3.901 | 15.395 | 2.193 | 0.829 | 242.381 | 37.804 | 14.288 |
| F = 1 | 28 | 149.4 | 102.373 | 19.347 | 17.571 | 8.521 | 1.610 | 268.322 | 127.543 | 24.103 |
| F = 2 | 28 | 160.4 | 132.885 | 25.113 | 19.357 | 10.475 | 1.980 | 298.430 | 158.843 | 30.018 |
| F = 4 | 28 | 147.4 | 127.050 | 24.010 | 19.000 | 10.509 | 1.986 | 287.627 | 154.039 | 29.111 |
| f = 500 | 27 | 144.9 | 91.244 | 17.580 | 17.741 | 8.642 | 1.663 | 272.683 | 130.888 | 25.189 |
| f = 707 | 28 | 151.4 | 108.293 | 20.465 | 18.542 | 9.598 | 1.814 | 283.928 | 147.350 | 27.846 |
| f = 1000 | 25 | 144.0 | 116.568 | 23.314 | 18.478 | 10.032 | 2.008 | 287.106 | 153.946 | 30.789 |

* Strip length, numbers of horizontal point and line sampling plots

Tab. 3

Odjel — Compartment: 143

Površina — Area: 32.73 ha

Starost sastojine — Stand Age: 100 god. — Year

UKUPNO — TOTAL

| Način rada Method work | Dužina pruga, broj stajališta linija* | Inten- zitet Intensity % | \bar{N} | s_N | $s_{\bar{N}}$ | \bar{G} | s_G | $s_{\bar{G}}$ | \bar{V} | s_V | $s_{\bar{V}}$ |
|--|---|-----------------------------------|-----------|---------|---------------|-----------|-------|---------------|-----------|---------|---------------|
| Totalna klupaž Loo — per cent cruise | — | — | 437.0 | — | — | 28.279 | — | — | 387.056 | — | — |
| Primjerne pruge Strip survey | 2.986 | 9.12 | 524.0 | 34.781 | 13.146 | 31.904 | 1.168 | 0.441 | 406.991 | 34.050 | 12.869 |
| F = 1 | 28 | 4.11 | 603.4 | 243.235 | 45.967 | 36.571 | 5.388 | 1.018 | 454.288 | 64.027 | 12.100 |
| F = 2 | 28 | 2.31 | 582.4 | 269.386 | 50.909 | 38.714 | 6.463 | 1.221 | 491.287 | 87.945 | 16.620 |
| F = 4 | 28 | 1.20 | 505.0 | 294.733 | 55.699 | 34.571 | 8.958 | 1.693 | 441.645 | 120.368 | 22.748 |
| f = 500 | 28 | 4.45 | 539.2 | 168.261 | 31.798 | 35.339 | 5.780 | 1.092 | 446.279 | 73.552 | 13.900 |
| f = 707 | 28 | 3.08 | 552.8 | 180.556 | 34.122 | 36.232 | 6.327 | 1.196 | 460.367 | 91.895 | 17.366 |
| f = 1000 | 28 | 2.14 | 519.9 | 229.845 | 43.437 | 33.543 | 8.374 | 1.582 | 425.002 | 118.758 | 22.443 |

* Strip length, numbers of horizontal point and line sampling plots

Lukić N.: Izmjera jednodobnih sastojina primjenom uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije. Glasnik za šum. pokuse 22:33—367, 1984.

Tab. 5

Odjel — Compartment: 121

Površina — Area: 33.07 ha

Starost sastojine — Stand Age: 140 god. — Year
 Vrsta drveća — Tree Species: HRAST LUŽNJAK — PEDUNCULATE OAK

| Način rada Method work | Dužina pruga, broj stajališta linija* | \bar{N} | s_N | $s_{\bar{N}}$ | \bar{G} | s_G | $s_{\bar{G}}$ | \bar{V} | s_V | $s_{\bar{V}}$ |
|--|---|-----------|--------|---------------|-----------|--------|---------------|-----------|---------|---------------|
| Totalna klupaža Loo — per cent cruise | — | 130.0 | — | — | 25.321 | — | — | 428.130 | — | — |
| Primjerne pruge Strip survey | 2.982 | 130.1 | 10.051 | 3.799 | 25.597 | 2.159 | 0.816 | 423.254 | 62.608 | 25.560 |
| F = 1 | 28 | 112.2 | 40.793 | 7.709 | 19.786 | 5.765 | 1.089 | 327.322 | 101.006 | 19.088 |
| F = 2 | 28 | 131.6 | 62.480 | 11.807 | 22.857 | 7.472 | 1.412 | 378.795 | 130.517 | 24.665 |
| F = 4 | 28 | 132.5 | 76.496 | 14.456 | 23.800 | 8.651 | 1.635 | 394.769 | 153.242 | 28.960 |
| f = 500 | 28 | 131.9 | 46.759 | 8.837 | 24.591 | 8.721 | 1.648 | 408.627 | 153.964 | 29.096 |
| f = 707 | 28 | 131.8 | 46.372 | 8.763 | 26.058 | 8.696 | 1.643 | 436.806 | 154.753 | 29.246 |
| f = 1000 | 28 | 132.3 | 53.255 | 10.064 | 25.514 | 10.655 | 2.013 | 426.709 | 190.855 | 36.068 |

* Strip length, numbers of horizontal point and line sampling plots

Tab. 4

Odjel — Compartment: 121

Površina — Area: 33.07 ha

Starost sastojine — Stand Age: 140 god. — Year
 Vrsta drveća — Tree Species: HRAST LUŽNJAK — PEDUNCULATE OAK

| Način rada Method work | \bar{d} | s_d | $s_{\bar{d}}$ | β_1 | β_2 | Inten- zitet Intensity % | CV (%) | CP (%) |
|--|-----------|--------|---------------|-----------|-----------|-----------------------------------|-----------|-----------|
| Totalna klupaža Loo — per cent cruise | 47.51 | 15.074 | 1.322 | +0.057 | —0.176 | 100 | 31.73 | 2.78 |
| Primjerne pruge Strip survey | 46.73 | 16.049 | 1.398 | —0.101 | —0.499 | 9.02 | 34.34 | 2.99 |
| F = 1 | 44.59 | 16.384 | 1.554 | —0.050 | —0.417 | 13.22 | 36.74 | 3.48 |
| F = 2 | 43.46 | 17.723 | 1.549 | —0.047 | —0.644 | 6.41 | 40.78 | 3.56 |
| F = 4 | 45.02 | 16.259 | 1.413 | +0.200 | —0.719 | 3.37 | 36.11 | 3.14 |
| f = 500 | 46.45 | 15.541 | 1.366 | +0.065 | —0.425 | 7.86 | 33.46 | 2.94 |
| f = 707 | 47.49 | 16.191 | 1.413 | —0.082 | —0.462 | 5.74 | 34.09 | 2.97 |
| f = 1000 | 46.76 | 16.710 | 1.450 | —0.121 | —0.588 | 3.96 | 35.73 | 3.10 |

koje smo prikazali za hrast lužnjak i sveukupno u tabelama 2, 3, 5 i 6. Međutim kod uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije volumen po hektaru smo dobili množenjem faktora volumena (F_v , f_v) pojedine vrste s brojem selekcioniranih stabala u debljinskom stupnju. Kod ovog načina smo također izračunali srednje vrijednosti i njihov varijabilitet koje smo prikazali u tabelama 2, 3, 5 i 6.

6. INTERPRETACIJA DOBIVENIH REZULTATA — INTERPRETATION OF THE RESULTS OBTAINED

Istraživanja su provedena u 100 i 140 godišnjoj sastojini hrasta lužnjaka s velikom žutilovkom i rastavljenim šašem (*Genisto elatae-Quercetum roboris caricetosum remotae* Horv. 38.).

Distribucije prsnih promjera u tim sastojinama nisu normalne što je i logično jer su to jednodobne mješovite sastojine.

U 100 godišnjoj sastojini je krivulja ukupnog broja stabala strmija i više ima oblik De Liocourtove krivulje jer je učešće broja tanjih stabala graba i joha vrlo veliko, dok u 140 godišnjoj sastojini učešće broja tanjih stabala je manje:

Tab. 6

Odjel — Compartment: 121

Površina — Area: 33.07 ha

Starost sastojine — Stand Age: 140 god. — Year
UKUPNO — TOTAL

| Način rada Method work | Dužina pruga, broj stajališta linija* | Inten- zitet Intensity % | \bar{N} | s_N | $s_{\bar{N}}$ | \bar{G} | s_G | $s_{\bar{G}}$ | \bar{V} | s_V | $s_{\bar{V}}$ |
|--|---|-----------------------------------|-----------|---------|---------------|-----------|-------|---------------|-----------|---------|---------------|
| Totalna klupaža Loo — per cent cruise | — | — | 225.5 | — | — | 30.212 | — | — | 462.750 | — | — |
| Primjerne pruge Strip survey | 2.982 | 9.02 | 206.1 | 12.181 | 4.604 | 30.204 | 2.363 | 0.893 | 461.955 | 46.845 | 19.124 |
| F = 1 | 28 | 8.21 | 197.7 | 94.963 | 17.946 | 24.607 | 4.304 | 0.813 | 379.951 | 75.864 | 14.337 |
| F = 2 | 28 | 4.15 | 231.1 | 106.796 | 20.183 | 29.214 | 4.761 | 0.900 | 451.585 | 85.358 | 16.131 |
| F = 4 | 28 | 2.20 | 219.4 | 160.926 | 30.412 | 29.714 | 8.241 | 1.557 | 462.689 | 133.928 | 25.310 |
| f = 500 | 28 | 6.18 | 221.0 | 79.332 | 14.992 | 29.663 | 6.268 | 1.184 | 464.578 | 119.534 | 22.590 |
| f = 707 | 28 | 4.49 | 224.2 | 80.248 | 15.165 | 31.595 | 6.305 | 1.191 | 498.745 | 120.495 | 22.711 |
| f = 1000 | 28 | 3.22 | 214.9 | 83.819 | 15.840 | 30.333 | 8.505 | 1.607 | 481.133 | 161.246 | 30.473 |

* Strip length, numbers of horizontal point and line sampling plots

U tim sastojinama hrast lužnjak čini glavnu gospodarsku vrstu, te ćemo njegove distribucije detaljno interpretirati. Distribucije prsnih promjera hrasta lužnjaka su unimodalne, što je karakteristika jednodobnih sastojina (Graf. 1, 2, 3, 4, 5 i 6).

Srednje vrijednosti prsnih promjera (\bar{d}) u istraživanim sastojinama i njihove standardne devijacije (s_d) testiranjem pokazuju da ne postoje signifikantne razlike između načina izmjere što je bilo i za očekivati, jer su svi načini izmjere bili izvršeni u istim sastojinama, ovdje smo primijenili u-test i F-test sa 95% granicom signifikantnosti.

Razmotrit ćemo najprije distribuciju prsnih promjera u 100 godišnjoj sastojini.

U 100 godišnjoj sastojini najveća razlika između prsnih promjera hrasta lužnjaka je između primjernih pruga i stajališta na kojima je vršena selekcija stabala trakom 2 na zrcalnom relaskopu, ona iznosi $\Delta = 3,2$ cm te je $u = 1,973$. Pošto vrijednost u pada između 95% i 99% intervala signifikantnosti postupak bi trebalo ponoviti jer u ovom slučaju ne možemo donijeti zaključak, u svim ostalim slučajevima vrijednost u je manja od 1,96. Prema ispitivanju varijance F-testovi ne pokazuju nikakve signifikantne razlike. Kod 100 godišnje sastojine možemo uočiti da srednji promjeri dobiveni metodama uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije su veći od promjera dobivenih totalnom klupažom i primjernim prugama. Njihov varijabilitet (s_d) kod uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije je nešto niži nego kod totalne klupaže i primjernih pruga. To nam govori da su podaci izmjere dobiveni pomoću uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije precizniji jer je varijabilitet prsnih promjera manji. Kao što smo gore naveli te razlike nisu signifikantne ali predstavljaju značajnu pojavu jer se odnose na sve uzorke promjenljive vjerojatnosti selekcije. Promatrajući koeficijente preciznosti (CP) možemo vidjeti da je preciznost gotovo jednaka u svim slučajevima. Međutim uzmemo li intenzitet primjernih površina pojedine metode (Tab. 1), vidimo da su nam metode uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije puno ekonomičnije. S obzirom da su parametri dobiveni totalnom klupažom ($I = 100\%$) i primjerne pruge ($I = 9,12\%$) gotovo iste preciznosti kao i parametri ostalih metoda čiji je intenzitet znatno manji ($I = 2\%$ do $I = 8\%$). Intenzitet uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije izračunat je na osnovi srednjeg promjera samo za hrast lužnjak. Za promatrane distribucije izračunali smo i dodatne parametre koeficijent skošenosti (β_1) i koeficijent spljoštenosti (β_2). Koeficijenti skošenosti su pozitivni i veći kod uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije jer su tanja stabla imala manju vjerojatnost da uđu u uzorak od debljih stabala. Koeficijenti spljoštenosti (β_2) pokazuju nam da su sve distribucije prsnih promjera hrasta lužnjaka negativne to znači da imaju negativnu spljoštenost u odnosu na normalnu Gaussovu distribuciju. Ovdje možemo uočiti da kod metoda uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije sa povećanjem kritičnog kuta selekcije (trake 1, 2 i 4 na zrcalnom relaskopu) se povećava i spljoštenost i skošenost distribucije prsnih promjera.

Kod 140 godišnje sastojine najveća razlika između prsnih promjera hrasta lužnjaka je između totalne klupaže i na stajalištima primjenom

trake 2, $\Delta = 4,05$ cm te je $u = 1,988$. Dobivena vrijednost nam se nalazi između 1,96 i 2,58 pa u ovom slučaju ne možemo donijeti zaključak te bi trebalo izvršiti kontrolu. F-testovi nam ne pokazuju nikakve signifikantne razlike između varijabiliteta prsnog promjera. Iz tabele (4) se vidi da je varijabilitet prsnog promjera određen metodom stajališta nešto veći od ostalih metoda. Možemo zaključiti da je koeficijent preciznosti (CP) manji kod totalne klupaže i primjernih pruga a veći kod uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije, ali nema signifikantnih razlika. Uzorci promjenljive vjerojatnosti selekcije stajališta (point sampling) odskaču zbog slabije preciznosti od ostalih metoda što smo dokazali i sa u-testom. Kod uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije linije (line sampling) su podaci nešto precizniji znači da ovdje eventualno utječe način selekcije stabala (simetrala kritičnog kuta mora biti okomita na liniju). Koeficijenti skošenosti (β_1) se kreću oko 0, te možemo reći da je distribucija frekvencija prsnih promjera simetrična ako izuzmemo traku 4 kod stajališta. Promatrajući koeficijent spljoštenosti (β_2) on je negativan i za sve metode uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije je nešto veći od primjernih pruga, dok za totalnu klupažu približno je jednak normalnoj Gaussovoj distribuciji. S obzirom na intenzitet uzorci promjenljive vjerojatnosti selekcije linije (line sampling) gdje je intenzitet ($I = 3\%$ do $I = 7\%$) daju istu preciznost kao primjerne pruge i totalna klupaža, te i ovdje vidimo da su uzorci promjenljive vjerojatnosti selekcije ekonomičniji od totalne klupaže. Primjerne pruge i uzorci promjenljive vjerojatnosti selekcije daju rezultate sa istom točnom i preciznosti (Tab. 4).

Prije nego smo pristupili testiranju i interpretaciji srednjih vrijednosti strukture sastojine (N, G, V) proveli smo Bartlett-ov test (test homogenosti varijanci) za hrast lužnjak i ukupno (Tab. 7).

Bilo je za očekivati da neće biti nikakvih signifikantnih razlika između srednjih vrijednosti strukture, pošto je sve mjereno u istim sastojinama samo različitim metodama. Iz tabele je vidljivo da razlike postoje, ali ipak možemo zaključiti slijedeće na osnovi podataka iz tabela 2, 3, 5 i 6.

| BARTLETT-test | | | | BARTLETT'S-test | | | | |
|------------------------------------|----------------------------------|----------|----------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------|----------------|-----------|
| 100-godišnja sastojina — Stand Age | | | | 140-godišnja sastojina — Stand Age | | | | |
| | Hrast lužnjak Pedunculate Oak | | Ukupno — Total | | Hrast lužnjak Pedunculate Oak | | Ukupno — Total | |
| χ^2_N | 12.30 | ne No | 17.32 | da Yes | 19.02 | da Yes | 28.53 | da Yes |
| χ^2_G | 6.05 | ne No | 17.82 | da Yes | 13.35 | — | 21.23 | da Yes |
| χ^2_V | 5.52 | ne No | 18.73 | da Yes | 12.68 | — | 21.28 | da Yes |

$\chi^2 = 12.59$ Tabelaarna vrijednost χ^2 za 0.05 i 6 stupnjeva slobode

$\chi^2 = 16.81$ Tabelaarna vrijednost χ^2 za 0.01 i 6 stupnjeva slobode

Za hrast lužnjak u 100 godišnjoj sastojini broj stabala po hektaru (\bar{N}) je kod uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije veći nego kod primjernih pruga. Njihov varijabilitet je kod svih veći to znači da je koeficijent preciznosti manji. Temeljnica (\bar{G}) je također veća kod uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije. Volumen (\bar{V}) uključuje po zakonu gomilanja pogrešaka sve prethodne pogreške kod izmjere prsnih promjera, visina i prilikom određivanja broja stabala i temeljnice te se to odražava i na volumen sastojine (Tab. 2).

Kod 140 godišnje sastojine za hrast lužnjak se može uočiti i kod broja stabala (\bar{N}), temeljnice (\bar{G}) i kod volumena (\bar{V}) da podaci određeni sa uzorcima promjenljive vjerojatnosti selekcije na stajalištima (point sampling) su određeni manje precizno nego kod linija (line sampling) i primjernih pruga (Tab. 5).

Na osnovi intenziteta (I) i koeficijenta preciznosti (CP) prikazanih u tabeli 8 možemo vidjeti da kod uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije opada preciznost sa smanjenjem intenziteta.

U 100 godišnjoj sastojini upotrebom trake 1 kod stajališta dobili smo veću preciznost procjene temeljnice (G) i volumena (V) uz manji intenzitet (I = 4,11) od podataka dobivenih primjernim prugama gdje je intenzitet I = 9,12%.

Tab. 8

| Način rada Method work | Intenzitet % Intensity | 100 godišnja sastojina Ukupno — Total Koeficijent preciznosti CP (%)* | | | Intenzitet % Intensity | 140 godišnja sastojina Ukupno — Total Koeficijent preciznosti CP (%)* | | |
|---------------------------------------|------------------------------|--|------|------|------------------------------|--|------|------|
| | | N | G | V | | N | G | V |
| Primjerne pruge Strip survey | 9.12 | 2.51 | 1.38 | 3.16 | 9.02 | 2.23 | 2.96 | 4.14 |
| F = 1 | 4.11 | 7.62 | 2.78 | 2.66 | 8.21 | 9.08 | 3.30 | 3.77 |
| F = 2 | 2.31 | 8.74 | 3.15 | 3.38 | 4.15 | 8.73 | 3.03 | 3.57 |
| F = 4 | 1.20 | 11.03 | 4.90 | 5.15 | 2.20 | 13.86 | 5.24 | 5.47 |
| f = 500 | 4.45 | 5.90 | 3.09 | 3.11 | 6.18 | 6.78 | 3.99 | 4.86 |
| f = 707 | 3.08 | 6.17 | 3.30 | 3.77 | 4.49 | 6.76 | 3.77 | 4.55 |
| f = 1000 | 2.14 | 8.35 | 4.72 | 5.28 | 3.22 | 7.37 | 5.30 | 6.33 |

* CP — Koeficijent preciznosti — Coefficient of precision

Kod 140 godišnje sastojine upotrebom trake 2 kod stajališta dobili smo jednaku preciznost procjene temeljnice (G) i veću preciznost procjene (V) uz manji intenzitet (I = 4,15%) nego kod primjernih pruga uz veći intenzitet (I = 9,02%).

7. ZAKLJUČAK — CONCLUSIONS

Svrha istraživanja je bila odrediti strukturu jednodobnih sastojina pomoću klasičnih metoda izmjere sastojina (totalna klupaža i primjerne pruge) i pomoću metoda uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije stabala (stajalište — point sampling i linije — line sampling), te ispitati točnost sastojinskih parametara (srednji promjer, broj stabala, temeljnica i volumen) dobivenih spomenutim metodama.

U istraživanju 100 godišnjoj sastojini distribucije prsnih promjera ukupnog broja stabala su podjednake kod svih metoda izmjere. Za hrast lužnjak kao glavnu gospodarsku vrstu, distribucije prsnih promjera su unimodalne i između njihovih parametara aritmetičkog srednjeg promjera (\bar{d}), njegove standardne devijacije (s_d), koeficijenta skošenosti (β_1) i koeficijenta spljoštenosti (β_2) nema signifikantnih razlika.

Moramo istaći da srednji promjeri (\bar{d}) dobiveni metodama uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije su nešto jači nego kod primjernih pruga i totalne klupaže, što je i logično jer tim metodama smo selekcionirali stabla jačih dimenzija.

Uspoređujući elemente strukture sastojina možemo zaključiti da su elementi strukture (N, G) veći dobiveni metodama uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije od totalne klupaže, dok kod usporedbe sa primjernim prugama, između broja stabala (N) i temeljnice (G) nema bitnih razlika. Iako u intenzitetu primjernih pruga ($I = 9,12\%$) postoje značajne razlike u odnosu na uzorke promjenljive vjerojatnosti selekcije, gdje se intenzitet kreće od $I = 1,20\%$ do $I = 4,45\%$, ovisno o metodi. Uspoređujemo li broj stabala između stajališta i linija možemo zaključiti da među njima nema nikakvih razlika.

Možemo zaključiti da u 100 godišnjoj sastojini temeljnica (G) određena pomoću kritičnog kuta $1/25$ (traka 4 zrcalnog relaskopa), na stajalištima i linijama, najviše odgovara temeljnici totalne klupaže, jer u toj sastojini imamo veliki broj tanjih stabala graba i johe.

S obzirom na hrast lužnjak u 100 godišnjoj sastojini broj stabala je podjednak kod uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije ali je veći nego kod primjernih pruga i totalne klupaže a također je i temeljnica veća.

Promatrajući koji kritični kut bolje odgovara za hrast lužnjak možemo zaključiti da je to traka 1 (kritični kut $1/50$) jer je hrast lužnjak jačih dimenzija.

Prilikom primjene metoda uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije u 100 godišnjim sastojinama podjednake strukture kao u našoj sastojini, moramo biti oprezni jer nam daju veće vrijednosti parametara strukture sastojine od totalne klupaže, a posebno temeljnicu (G).

U 140 godišnjoj sastojini distribucije prsnih promjera ukupnog broja stabala su također podjednake, a za hrast lužnjak su karakteristične distribucije jednodobnih sastojina. Parametri distribucija hrasta lužnjaka srednji promjer, standardna devijacija, te koeficijenti skošenosti i spljoštenosti nam govore da se ovdje radi skoro o normalnoj Gaussovoj distribuciji.

Srednji promjer (\bar{d}) na stajalištima (point sampling) za različite kritične kuteve (traka 1, 2 i 4 zrcalnog relaskopa) je manji nego kod totalne klupaže i primjernih pruga.

Elementi strukture sastojina (N, G, V) su gotovo podjednaki. Kod stajališta (point sampling) je temeljnica (G) nešto niža nego kod totalne klupaže. Temeljnica primjernih pruga i linija (line sampling) je podjednaka.

Pošto podaci metoda uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije pokazuju gotovo nesignifikantne razlike s obzirom na totalnu klupažu i primjerne pruge možemo zaključiti da su ekonomičnije i brže a i intenzitet primjernih površina im je nešto niži ($I = 2,20\%$ do $I = 8,21\%$) od intenziteta totalne klupaže i primjernih pruga.

U našem slučaju najviše odgovaraju uzorci linija, jer su im srednje vrijednosti strukture približno jednake kao kod primjernih pruga, a intenzitet primjernih površina najmanji.

Na kraju možemo zaključiti da primjena uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije u 140 godišnjoj sastojini odgovara, dok u 100 godišnjoj dobivamo značajno veće rezultate nego kod totalne klupaže, te je potrebno nastaviti daljnja istraživanja i uzeti pri tome u obzir sve dobne razrede.

LITERATURA — REFERENCES

- Beers T. W., Miller C. I., 1964.: Point sampling: Research results Theory and Applications. Purdue University, Indiana, No 786.
- Bitterlich W., 1933.: Tagebuch zur »Prüfung für den höheren Forst verwaltungsduenst (in Österreich)«. (Orig. Manuskript).
- Bitterlich W., 1947.: Die Winkelzählmessung. Allgemeine Forst- und Holzwirtschaftliche Zeitung, 58, (11/12), 94—96.
- Bitterlich W., 1948.: Die Winkelzählprobe. Allgemeine Forst- und Holzwirtschaftliche Zeitung, 59, (1/2), 4—5.
- Grosenbaugh L. R., 1958.: Point sampling and line sampling probability, theory, geometric implications, synthesis. Occ. Paper 160. Southern Forest Experiment Station. U. S. D. A.
- Hunt E. V., Baker R. D., Biskamp L. A., 1964.: Point sampling from two angles. Texas, S. F. Austin State Colege, Bulletin No. 6, 5—81.
- Kulow D. L., 1965.: Elementary point-sampling. West Virginia University, Circular 116, 3—24.
- Pranjić A., 1977.: Dendrometrija, Zagreb.
- Prodan M., 1968.: Punktstichprobe für die Forsteinrichtung. Forst- und Holzwirtschaftliche Zeitung, 23, (11), 225—226.
- Šmelko Š., 1968 a.: Stand und Weiterentwicklung der Waldinventurmethode in der ČSSR. Allgemeine Forst und Jagdzeitung, 139, (10), 219—227.
- Šmelko Š., 1968 b.: Beitrag zur Methodik der Ermittlung von Bestandesvorräten mittels Winkelzählprobe. Zbornik vedeckych prac Lesnickej fakulty Vysoky školy lesnickej a drevarskej vo Zvolene, X-2, 71—89.
- Wenk G., 1965.: Theoretische Grundlagen der Winkelmessmethode. Archiv für Forstwesen, 14, (11/12), 1235—1253.

NIKOLA LUKIĆ

INVENTORIES THE EVEN-AGED STANDS WITH
SAMPLING VARYING PROBABILITIES*Summary*

The aim of investigation was to determine the structure of the even-aged stands by means of classical methods of stand measuring (the complete tally and strip survey) and by means of methods of trees sampling varying probabilities (point-sampling and line-sampling). The aim was also to investigate the accuracy of stand parameters (mean diameter, number of trees, basal area and stand volume) obtained by the mentioned methods.

In a hundred year old stand, which has been investigated, diameter distributions of the total amount of trees are found to be roughly equal with all the methods of measuring. For the pedunculate oak, as a dominant tree species, diameter distributions are unimodal and there are no significant differences between their parameters of arithmetic mean diameter (\bar{d}), its standard deviation (s_d), coefficient of asymmetry (β_1) and coefficient of excess (β_2).

We have to point out that mean diameters (\bar{d}) obtained by methods of sampling varying probabilities are bigger than the diameters obtained by strip survey and complete tally, what is logical because by these methods we have selected the trees of bigger dimensions.

By comparing the elements of stand structures we can conclude that the elements of structure (N , G) are bigger if they are obtained by methods of sampling varying probabilities than by complete tally. On the other hand when comparing the elements obtained by strip survey we can say that there are no basic differences between the number of trees (N) and basal area (G). In the intensity of strips survey ($I = 9.12\%$) there are significant differences when comparing them with the samples of varying probabilities selection, where the intensity ranges between $I = 1.20\%$ — $I = 4.45\%$ depending on the method. If we compare the number of trees between points sampling and line sampling we can conclude that there are no differences.

We can conclude that in a hundred year old stand the basal area (G) determined by Gauge constant 1/25 (a tape four of Spiegel relascope), on points sampling and lines sampling, corresponds mostly to the basal area of the complete tally because in this stand there is a great number of thin trees of hornbeam and black alder.

With the pedunculate oak in a hundred year old stand the number of trees is equal in the samples of varying probabilities selection but it is bigger than in strips survey and complete tally and the basal area is also bigger.

When deciding which Gauge constant answers better to the pedunculate oak we can say that it is the tape 1 (Gauge constant 1/50) because the pedunculate oak is of strong dimensions.

When applying the methods of sampling varying probabilities selection in a hundred year old stand of roughly equal structure, as it was our case, we have to be cautious because higher values of parameters of the stand structure than those of the complete tally are obtained, especially of basal area (G).

In a hundred and forty year old stand the diameter distributions of the total number of trees are also roughly equal, and for the pedunculate oak the characteristic distributions are those of the even-aged stands. The parameters of distributions of the pedunculate oak, mean diameter, standard deviation and coefficients of asymmetry and excess point to a nearly normal Gauss distribution.

Mean diameter (\bar{d}) at points sampling for different Gauge constants (the tape of 1, 2 and 4 of the Spiegel relascope) is smaller than the one at complete tally and strips survey.

The elements of stands structure (N, G, V) are roughly equal. At points sampling the basal area (G) is somewhat lower than at complete tally. The basal area of strips survey and lines sampling is roughly equal.

As the data of the methods of sampling varying probabilities selection indicate nearly insignificant differences between complete tally and strip survey we can conclude that they are more economical and quicker and the intensity of sample areas is lower ($I = 2.20\%$ — $I = 8.21\%$) than the intensity of complete tally and strips survey.

In our case the line samples are the most suitable because their mean structure values are roughly equal to those of strips survey, and the intensity of samples area is the lowest.

Finally, we can conclude that the application of samples of the varying probabilities selection is adequate in a 140 year old stand, while in a 100 old stand significantly different results are obtained so that further investigation is needed. All the age differences should be taken into consideration.

RADOVAN KRIŽANEC

ISTRAŽIVANJE ODNOSA NORMALNIH VREMENA PRIJELAZA I ANALITIČKIH IZRAZA TARIFA

UNTERSUCHUNGEN DER VERHÄLTNISSE ZWISCHEN DEN NORMALEN EINWACHSZEITEN UND DEN ANALYTISCHEN TARIFENAUSDRÜCKEN

Zakovitost toka normalnih vremena prijelaza jele u prebornim šumama s kojima se primjereno gospodari, određena je formulom L. Schaeffera:

$$T_d = K \cdot \frac{d}{d-5}$$

Formula dobro definira normalna vremena prijelaza u sastojinama gdje je drvna masa utvrđena po Schaefferovim ili njima sličnim tarifama. Međutim, za sastojine gdje se za određivanje drvne mase mogu primijeniti Alganove i njima slične tarife — što je često slučaj u prebornim sastojinama jele — formula L. Schaeffera daje prekratka normalna vremena prijelaza. To se odražava u položitim krivuljama normalnih vremena prijelaza, koje se po položaju i obliku razlikuju od konkretnih krivulja, posebno u nižim debljinskim stupnjevima. U sastojinama jele gdje se mogu primijeniti Alganove tarife, svrsishodnije rezultate o normalnim vremenima prijelaza daje formula:

$$T_d = K \cdot \frac{d-5}{d-10}$$

Krivulje normalnih vremena prijelaza određenih ovom formulom bolje su prilagođene položaju i toku konkretnih prosječnih vremena prijelaza od krivulja definiranih prvom formulom. Stoga bi u sastojinama, gdje za računanje drvne mase jele bolje odgovaraju Alganove ili njima slične tarife, trebalo normalna vremena prijelaza računati po drugoj formuli.

Ključne riječi: Preborna šuma, vrijeme prijelaza, tarife, jela

Ovaj rad izrađen je u okviru Projekta I, zadatka 6, teme 3, Općeg udruženja šumarstva, prerade drva i prometa papirom Hrvatske.

UVOD — EINLEITUNG

Dosadašnje iskustvo pokazalo je, da se domaće jednoulazne tablice drvnih masa ili tarife mogu u većini slučajeva izraziti Schaefferovim jednadžbama odnosno, da su jednoulazne tablice drvnih masa za naše glavne vrste drveća istovjetne s Alganovim i Schaefferovim tarifama.

Alganove tarife dobro odgovaraju za sastojine sa strmim visinskim krivuljama, pa se uglavnom upotrebljavaju u prebornim šumama i stalnijeg su karaktera od Schaefferovih tarifa, koje se koriste u visokim regularnim šumama, gdje su visinske krivulje položitiije i gdje zbog promjene starosti sastojine treba — od slučaja do slučaja — izabrati novu tarifu, ovisno o pomaku visinske krivulje.

PROBLEM — PROBLEM

Kod izbora tarifa za utvrđivanje drvnih masa jele — na nastavnim i pokusnim šumskim objektima Šumarskog fakulteta — u šumama jele s rebračom (gosp. jed. Belevine i gosp. jed. Sungerski lug), te u šumi bukve i jele (gosp. jed. Kupjački vrh) utvrdili smo, da se upotrebljene tarife za jelu Šurić-Pranjić (1966) dobro podudaraju s Alganovim tarifama, (Klepac, 1953), što je po istom autoru utvrđeno za jelove preborne šume već 1954. godine.

Za te iste šume određena su pri uređajnim radovima i normalna vremena prijelaza za jelu po formuli L. Schaeffera; Klepac (1953):

$$T_a = K \cdot \frac{d}{d - 5} \quad (1)$$

U toj formuli (K) je optimalno vrijeme prijelaza elitnih stabala izraženo minimalnim vremenom prema kojem teže prosječna vremena prijelaza (T_a); (d) je prsni promjer u centimentrima.

Normalna vremena prijelaza određena po formuli (1) kraća su od izmjerenih prosječnih vremena prijelaza, posebno u nižim debljinskim stupnjevima do 40 cm prsnog promjera. To nas je potaknulo da preispitamo primjenu formule L. Schaeffera; tim više, što se sastojine u navedenim gospodarskim jedinicama nalaze u približno uravnoteženom stanju — definiranom »Novim sistemom uređivanja prebornih šuma D. Klepac« — gdje se na skraćenje vremena prijelaza neće moći utjecati toliko, koliko to pokazuje razlika do normalnih vremena prijelaza, određenih formulom (1).

Kako se primijenjene tarife identične s Alganovim tarifama razlikuju u analitičkom izrazu od Schaefferovih tarifa, odlučili smo ispitati:

— na kojem se analitičkom izrazu temelji formula L. Schaeffera, i

— mogu li se po formuli (1) računati normalna vremena prijelaza bez obzira na primijenjenu tarifu pri utvrđivanju drvnih masa ili je određivanje normalnih vremena prijelaza ovisno o primijenjenoj tarifi (ne broju tarife već vrsti tarife).

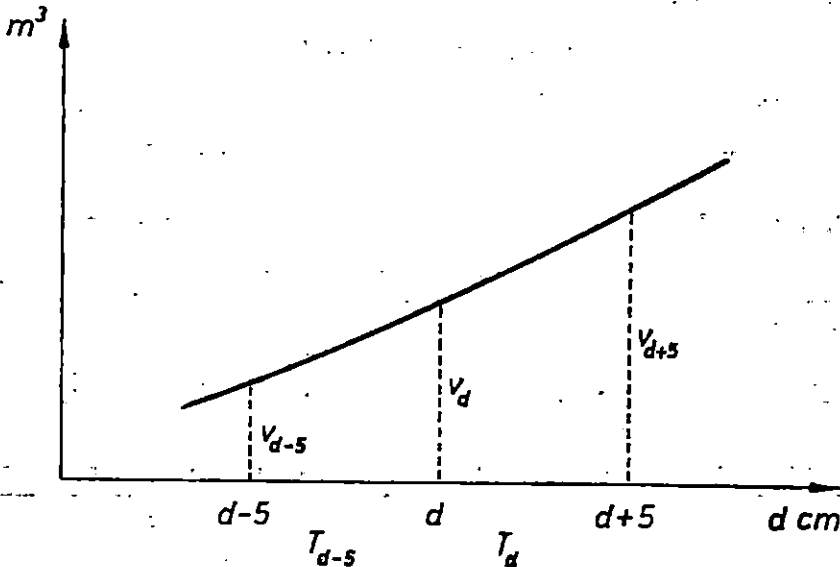
HIPOTEZA — HYPOTHESE

Pošto smo utvrdili da se formula L. Schaeffera temelji na analitičkom izrazu za Schaefferove tarife, koji se razlikuje od analitičkog izraza primijenjenih Alganovih tarifa, pretpostavili smo, da bi formula za računanje normalnih vremena prijelaza u sastojinama gdje se drvene mase mogu odrediti po Alganovim ili njima sličnim tarifama — što je slučaj u većini prebornih šuma — trebala imati nešto drugačiji oblik od formule (1). Ovu pretpostavku ispitali smo pomoću jednadžbi za Alganove tarife.

Iz slike 1, na kojoj je shematski prikazana tarifa vidimo, da će se drvena masa (v_d) koju stablo ima kod prsnog promjera od (d) centimetara povećati — kad promjer stabla poraste za 5 cm — na (v_{d+5}) u vremenu od (T_d) godina.

To isto stablo trebalo je (T_{d-5}) godina da mu prsni promjer naraste za 5 cm, a drvena masa povećá od (v_{d-5}) na (v_d).

Prirast drvene mase od ($d-5$) do (d) centimetara iznosio je ($v_d - v_{d-5}$), a od (d) do ($d+5$) centimetara ($v_{d+5} - v_d$).



Sl. — Abb. 1.

Godišnji volumni prirast jednak je razlici drvnih masa ($v_d - v_{d-5}$) odnosno ($v_{d+5} - v_d$) podijeljenoj s brojem godina, koliko je stablu trebalo da naraste za 5 cm u debljinu:

$$i_{v_d - v_{d-5}} = \frac{v_d - v_{d-5}}{T_{d-5}} \quad (2a)$$

$$i_{v_{d+5} - v_d} = \frac{v_{d+5} - v_d}{T_d} \quad (2b)$$

Uz pretpostavku da je godišnji volumni prirast od $(d-5)$ do $(d+5)$ konstantan (Klepac, 1956) možemo postaviti ovaj odnos:

$$i_{v_d - v_{d-5}} = i_{v_{d+5} - v_d} \quad (3)$$

odnosno

$$\frac{v_d - v_{d-5}}{T_{d-5}} = \frac{v_{d+5} - v_d}{T_d} \quad (3a)$$

IZVOD FORMULA ZA NORMALNA VREMENA PRIJELAZA UZ
 $i_v = \text{const.}$ — AUSFÜHRUNG DER FORMELN DER NORMALEN
 EINWACHSZEITEN BEI $z_v = \text{konstant}$

Kad drvenu masu sastojina određujemo po Alganovim ili njima istovjetnim tarifama — kao u našem slučaju — tada se vrijednosti za v_a , v_{d+5} i v_{d-5} mogu prikazati analitičkim izrazom za Alganove tarife (Klepac, 1954):

$$v_a = k \cdot (d-5) \cdot (d-10) \quad (4)$$

$$v_{d-5} = k \cdot (d-5-5) \cdot (d-5-10) = k \cdot (d-10) \cdot (d-15) \quad (5)$$

$$v_{d+5} = k \cdot (d+5-5) \cdot (d+5-10) = k \cdot d \cdot (d-5) \quad (6)$$

Parametar $k = \frac{v_{45}}{1400}$; (v_{45}) je drvena masa stabla prsnog promjera od 45 cm, koja se kreće od 0,9 — 2,8 m³, ovisno o bonitetu.

Uvrstimo li ove vrijednosti u izraz (3a) uz prethodno kraćenje konstante k , dobit ćemo:

$$\frac{(d-5) \cdot (d-10) - (d-10) \cdot (d-15)}{T_{d-5}} = \frac{d \cdot (d-5) - (d-5) \cdot (d-10)}{T_d}$$

$$\frac{d^2 - 5d - 10d + 50 - d^2 + 10d + 15d - 150}{T_{d-5}} = \frac{d^2 - 5d - d^2 + 5d - 10d + 50}{T_d}$$

$$\frac{10d - 100}{T_{d-5}} = \frac{10d - 50}{T_d}$$

$$\frac{d-10}{T_{d-5}} = \frac{d-5}{T_d}$$

$$T_d \cdot (d-10) = T_{d-5} (d-5)$$

$$T_d = T_{d-5} \cdot \frac{d-5}{d-10} \quad (7)$$

Istim postupkom može se pomoću analitičkih izraza za Schaefferove tarife:

$$v_d = k_1 \cdot d \cdot (d-5) \quad (8)$$

$$v_{d-5} = k_1 \cdot (d-5) \cdot (d-5-5) = k_1 \cdot (d-5) \cdot (d-10) \quad (9)$$

$$v_{d+5} = k_1 \cdot (d+5) \cdot (d+5-5) = k_1 \cdot d \cdot (d+5) \quad (10)$$

dobiti formula:

$$T_d = T_{d-5} \cdot \frac{d}{d-5} \quad (11)$$

koja je identična s formulom L. Schaeffera za računanje normalnih vremena prijelaza, kad se T_{d-5} zamijeni konstantom (K), tj. optimalnim vremenom prijelaza elitnih stabala.

Na istovjetan način može se transkribirati formula (7) u oblik:

$$T_d = K \cdot \frac{d-5}{d-10} \quad (14)$$

i koristiti pri određivanju normalnih vremena prijelaza.

Do iste formule dolazi se i na drugi način uz hipotezu: $i_v = \text{const.}$ za vrijeme dok je prsni promjer rastao od $d-5$ do $d+5$ cm.

Volumni prirast za vrijeme od T_{d-5} godina iznosio je

$$i_v = v_d - v_{d-5}$$

a volumni prirast za vrijeme od T_d godina iznositi će

$$i_v = v_{d+5} - v_d$$

Iz odnosa

$$C = \frac{T_d}{T_{d-5}} = \frac{v_{d+5} - v_d}{v_d - v_{d-5}}$$

pomoću analitičkih izraza (4, 5 i 6) za Alganove tarife, dobiva se

$$C = \frac{k \cdot d \cdot (d-5) - k \cdot (d-5) \cdot (d-10)}{k \cdot (d-5)(d-10) - k(d-10)(d-15)} = \frac{10d-50}{10d-100}$$

$$C = \frac{d-5}{d-10} \quad (12)$$

Na isti način dobiti ćemo za Schaefferove tarife

$$C = \frac{d}{d-5} \quad (13)$$

Izračunane konstante pomnožene faktorom K (optimalno vrijeme prijelaza), daju normalna vremena prijelaza T_d po debljinskim stupnjevima.

IZVOD FORMULE ZA NORMALNA VREMENA PRIJELAZA UZ $i_g = \text{const.}$ — AUSFÜHRUNG DER FORMEL DER NORMALEN EINWACHSZEITEN BEI $z_g = \text{konstant}$

Uz pretpostavku da je godišnji plošni prirast od $d-5$ do $d+5$ cm konstantan, iz istovjetnog odnosa kao i u prethodnom slučaju može se odrediti izraz za računanje konstante C po debljinskim stupnjevima:

$$C = \frac{T_d}{T_{d-5}} = \frac{(d+5)^2 \cdot \frac{\pi}{4} - d^2 \cdot \frac{\pi}{4}}{d^2 \cdot \frac{\pi}{4} - (d-5)^2 \cdot \frac{\pi}{4}} = \frac{(d+5)^2 - d^2}{d^2 - (d-5)^2}$$

$$C = \frac{2d+5}{2d-5} \quad (15)$$

Formula za računanje normalnih vremena prijelaza ima uz $i_g = \text{const.}$ ovaj oblik:

$$T_d = K \cdot \frac{2d+5}{2d-5} \quad (16)$$

Prednost računanja normalnih vremena prijelaza po ovoj formuli je u tome, što ne zavisi o izabranoj tarifi. Međutim, primjena formule (16) je ograničena. Zadovoljavajuće rezultate — vrlo bliske rezultatima formula (1) i (14) — daje samo za najjače debljinske stupnjeve (gdje je visinski prirast neznan), dok u nižim debljinskim stupnjevima daje najkraća vremena prijelaza — kraća od formula (1) i (14). Zbog toga ova formula nije značajna za praksu. Spominjemo je samo kao jednu od mogućnosti za određivanje normalnih vremena prijelaza.

ZAKLJUČAK — FOLGERUNGEN

S obzirom na utvrđenu međuovisnost formula za računanje normalnih vremena prijelaza i analitičkih izraza za Alganove i Schaefferove tarife, možemo zaključiti slijedeće:

1. Razlika među formulama proizlazi iz razlike analitičkih izraza tarifa.

2. Normalna vremena prijelaza u sastojinama kojih je drvna masa određena po Schaefferovim i njima sličnim tarifama, treba računati po formuli L. Schaeffera (1):

$$T_d = K \cdot \frac{d}{d-5}$$

koja se temelji na analitičkom izrazu za Schaefferove tarife.

3. Oblik i tok krivulja normalnih vremena prijelaza određenih formulom L. Schaeffera podudara se sa istovjetnim karakteristikama tzv. »polaganih tarifa«; krivulje su položite i odlikuju se kratkim vremenima prijelaza, posebno u nižim debljinskim stupnjevima.

4. Za računanje normalnih vremena prijelaza sastojina u kojima se drvna masa može odrediti po Algánovim i njima odgovarajućim tarifama, svrsishodnija će biti formula (14):

$$T_d = K \cdot \frac{d-5}{d-10}$$

koja se temelji na analitičkom izrazu za Algánove tarife.

5. Krivulje normalnih vremena prijelaza tzv. »brzih tarifa« nešto su strmije u nižim debljinskim stupnjevima od prethodnih, po obliku i toku podudaraju se s istovjetnim svojstvima Algánovih tarifa i bolje se prilagođavaju krivuljama konkretnih prosječnih vremena prijelaza sastojina, gdje su bile primijenjene Algánove tarife.

6. Formula za računanje normalnih vremena prijelaza izvedena uz $i_g = \text{const.}$:

$$T_d = K \cdot \frac{2d+5}{2d-5}$$

iako ne ovisi o izabranoj tarifi, nije primjenljiva u praksi, jer daje zadovoljavajuće rezultate samo za najjače debljinske stupnjeve.

LITERATURA — LITERATURVERZEICHNIS

- Emrović B., 1968: Modificirana formula Lachausee. Šumarski list 11—12, Zagreb.
Klepac D., 1953: Uređajne tablice. Šumarski list 4—5, str. 198, Zagreb.
Klepac D., 1953: O šumskoj proizvodnji u fakultetskoj šumi Zalesini. Glasnik za šumske pokuse br. 11, str. 244, Zagreb.
Klepac D., 1954: Tablice postotka prirasta. Šumarski list br. 9—10, str. 455—56, Zagreb.
Klepac D., 1956: Funkcionalni odnos između godišnjeg volumnog prirasta i prsnog promjera za jelu u prebornoj šumi. Šumarski list br. 1—2, str. 1—16, Zagreb.
Klepac D., 1963: Rast i prirast šumskih vrsta drveća i sastojina. Nakladni zavod Znanje, Zagreb.

- Križanec R., 1978: Osnova gospodarenja za gospodarsku jedinicu »Sungerski lug«. Zagreb.
- Križanec R., 1980: Osnova gospodarenja za gospodarsku jedinicu »Belevine«. Zagreb.
- Križanec R., 1982: Beständigkeit des Frequenzpolygons der Einwachszeit für die Wirtschaftseinheit als Ganzes. IUFRO Symposium, Gruppe S 4.04, Luxembourg.
- Meštrović Š., 1980: Sažetak Osnove gospodarenja za gospodarsku jedinicu »Kupjački vrh«. Zagreb.
- Pravilnik o načinu izrade šumsko gospodarskih osnova ... N. N. 19, 1981.
- Šurić S., Pranjić A., 1966: Tarife za jelu i smreku. Šumarsko-tehnički priručnik, 143—151, Zagreb.

RADOVAN KRIŽANEC

UNTERSUCHUNGEN DER VERHÄLTNISSE
ZWISCHEN DEN NORMALEN EINWACHSZEITEN
UND DEN ANALYTISCHEN
TARIFENAUSDRÜCKEN

Zusammenfassung

Die Gesetzmässigkeit des normalen Einwachszeitablaufes in Tannenplenterwäldern wird nach der Formel von L. Schaeffer berechnet:

$$T_d = K \cdot \frac{d}{d-5}$$

Durch diese Formel kann man die normalen Einwachszeiten für diejenigen Beständen dort gut definieren, wo die Holzmasse nach Schaeffer oder nach ähnlichen Tarifen bestimmt wird.

Bei der Anwendung der Algan Tarifen gibt aber die folgende Formel die zweckmässigeren Ergebnisse von normalen Einwachszeiten für Tannenbeständen:

$$T_d = K \cdot \frac{d-5}{d-10}$$

Die durch diese Formel bestimmten normalen Einwachszeiten sind an Lage und Ablauf der konkreten durchschnittlichen Einwachszeiten besser angepasst als die durch erste Formel berechneten Einwachszeiten, besonders in niedrigeren Durchmesserstufen.

Deswegen sollte man für Tannenbeständen, wo die Algan oder ähnliche Tarifen angewendet werden, die normalen Einwachszeiten nach dieser zweiter Formel berechnen.

FIGURIC, M.: WORK SCHEDULES AND OPERATION TIMES WITH MACHINE WOODWORKING IN FURNITURE MANUFACTURE (Original in Croatian: *Režimi rada i operativna vremena kod strojne obrade u proizvodnji namještaja*, with English Summary). Glasnik za šum. pokuse 22:5—85, 1984.

The investigations stated out in this paper were conducted in 8 furniture producing enterprises at 31 working places and 77 working operations were analysed. In the research different workers with various working experience, income, habits, professional degree and in various microclimatic working conditions were included because of which the obtained results have been representative of the real situation in furniture manufacture. Based on calculation results at described working places and at characteristic operations — definite forms of functional dependences of work schedule, operation time and part dimensions which may be processed in a chosen man-machine technological system have been determined. By mathematical presentation of these dependences for a definite field of woodworking rather precise technological terms for partial use in determining work times have been obtained. The method is based on the principle of rational operation time determination using the electronic computer FACOM 230-45 data processing and on universal application with machine woodworking in furniture manufacture.

Key words: working regime, operative time, standard time, mathematical model.

SERTIC, V.: THE PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF GUM OLEORESIN OF ALEPPO PINE (*PINUS HALEPENSIS* MILL.) OBTAINED BY VARIOUS TECHNOLOGICAL METHODS (Original in Croatian: *Fizikalno-kemijska svojstva smole alepskog bora (Pinus halepensis Mill.) dobivene različitim tehnološkim postupcima*, with English Summary). Glasnik za šum. pokuse 22:87—181, 1984.

In this work extractives from Aleppo Pine (*Pinus halepensis* Mill.) were investigated. The extractives were obtained by various technological methods: tapping, extraction of chips and from the condensates recovered in the sulfate process of cooking wood to produce wood pulp. The results of chemical analyses of Aleppo Pine from the localities: Rab, Hvar, Zadar and Makarska are presented as well as the physical and chemical analyses of turpentine, rosin and tall oil obtained from Aleppo Pine. Qualitative determinations of monoterpenes were made by comparing relative retention time computed on the basis of the time necessary for α -Pinene to appear as equal to 1.0, and by internal standardization with the known compound. Quantitative determinations were made by internal normalization of disk checked integrator values, with synthetic mixtures of known percentage composition. The composition of resin acids was investigated with thin layer and gas liquid chromatography.

Key words: Aleppo Pine, resin, rosin, turpentine, terpenes, resin acids, tall oil, tapping, extractives.

SEVER, S.: INVESTIGATIONS OF SOME TRACTOR'S EXPLOITATION PARAMETERS AT WOOD SKIDDING (Original in Croatian: *Istraživanja nekih eksploatacijskih parametara traktora pri privlačenju drva*, with English Conclusions). Glasnik za šum. pokuse 22:183—303, 1984.

The article summarizes the present knowledge concerning the changes of technical and exploitation parameters at wood skidding. The author approaches the analysis of forces appearing at wood skidding and tests, at the same time, the skidder itself. Torque and slip on driven wheel, horizontal and vertical component of tractive resistance etc. were determined in tests using special measuring devices. The change of these and many other technical parameters were studied at skidding full tree, tree-length, long log and sortiment skidding varying the wood positions, load weight, height of suspension, speed, number of pieces per bundle, soil characteristics etc. The soil influence has been examined closer. Investigation was also carried out on the morphological characteristics of logging tractor.

Key words: logging operations, skidding, skidder, adapted farm tractor, components of tractive forces, tractive coefficient, wheel and tractor efficiency, coefficient of skidding, coefficient of resistance, chocker line forces, morphology of logging tractors.

SELETKOVIC, Z.: SILVICULTURAL MEANING OF TEMPERATURE INVERSION IN SESSIL OAK AND MOUNTAIN BEECH FORESTS OF MEDVEDNICA (Original in Croatian: *Šumsko uzgojno značenje temperaturne inverzije u kitnjakovim i bukovim šumama Medvednice*, with German Summary). Glasnik za šum. pokuse 22:305—332, 1984.

A microclimatic research has been conducted on the Zagrebačka Gora Mountain in the following forest associations: forests of sessil oak with wood rush (*Luzulo-Quercetum petraeae* Passarge 1953), neutrophilic mountain beech forests (*Fagetum croaticum montanum neutrophyllum* Anić 1959), forests of sessil oak and of European hornbeam with bagnet (*Quercu-Carpinetum croaticum staphyletosum* Horvat 1938) and forests of black alder (*Frangulo-Alnetum glutinosae* Rauš 1968).

The mean daily air temperature, which at the crest of the mountain amounts to 23.8 °C and at the foot of the crest 19.4 °C, shows a temperature inversion of 4.4 °C. The difference in the mean daily soil temperature is 2.0 °C.

The temperature inversion has caused an inversion in vegetation. The results of this research indicate that different climatic conditions at given localities bring about the formation of different vegetation.

Key words: Medvednica mountain, vegetation, temperature, temperature inversion, microclimate, composition of the stand.

LUKIC, N.: INVENTORIES THE EVEN-AGED STANDS WITH SAMPLING VARYING PROBABILITIES (Original in Croatian: *Izmjena jednodobnih sastojina primjenom uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije*, with English Summary). Glasnik za šum. pokuse 22:333—367, 1984.

The aim of investigation was to determine the structure of the even-aged stands by means of classical methods of stand measuring (the complete tally and strip survey) and by means of methods of trees sampling varying probabilities (point-sampling and line-sampling). The aim was also to investigate the accuracy of stand parameters (mean diameter, number of trees, basal area and stand volume) obtained by the mentioned methods.

Key words: sampling with varying probabilities, line sampling, point sampling, Gauge constant.

KRIZANEC, R.: A STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE NORMAL TIME OF PASSAGE AND ANALYTICAL VOLUME TABLES (Original in Croatian: *Istraživanje odnosa normalnih vremena prijelaza i analitičkih izraza tarifa*, with German Summary). Glasnik za šum. pokuse 22:369—377, 1984.

The normal times of passage for selection silver fir woods is determined according to the formula devised by L. Schaeffer:

$$T_d = K \cdot \frac{d}{d-5}$$

This formula gives a good definition of the normal times of passage in stands for which the volume of wood has been established according to the Schaeffer's or similar volume tables. Meanwhile, in silver fir stands for which Algan's volume tables are used, better results for the normal times of passage are given by the following formula:

$$T_d = K \cdot \frac{d-5}{d-10}$$

Normal times of passage determined according to the above formula are closer to the position and course of the concrete passages of time than those defined by the first formula, particularly in lower diameter degrees. Therefore, in silver fir crops where it is possible to use Algan's or similar volume tables, the normal time of passage should be calculated according to the second formula.

Key words: selection forests, time of passage, volume tables, silver fir.

SADRŽAJ
(SUMMARIUM)

Figurić M.

- Režim rada i operativna vremena kod strojne obrade u proizvodnji namještaja 5
 Work schedules and operation times with machine woodworking in furniture manufacture 84

Sertić V.

- Fizikalno-kemijska svojstva smole alepskog bora (*Pinus halepensis* Mill.) dobivene različitim tehnološkim postupcima 87
 The physico-chemical properties of gum oleoresin of Aleppo Pine (*Pinus halepensis* Mill.) obtained by various technological methods 180

Sever S.

- Istraživanja nekih eksploatacijskih parametara traktora pri privlačenju drva 183
 Investigations of some tractor's exploitation parameters at wood skidding 298

Seletković Z.

- Šumsko uzgojno značenje temperaturne inverzije u kitnjakovim i bukovim šumama Medvednice 305
 Waldbauliche Bedeutung der Temperaturinversion in Traubeneiche- und Buchenwäldern von Medvednica 331

Lukić N.

- Izmjera jednodobnih sastojina primjenom uzoraka promjenljive vjerojatnosti selekcije 333
 Inventories the even-aged stands with sampling varying probabilities 366

Križanec R.

- Istraživanje odnosa normalnih vremena prijelaza i analitičkih izraza tarifa 369
 Untersuchungen der Verhältnisse zwischen den normalen Einwachszeiten und den analytischen Tarifenausdrücken 377