

Matematički modeli i rješenja nekih problema u šumarstvu i tehnologiji drva

Hitrec, Vladimir

Source / Izvornik: **Glasnik za šumske pokuse: Annales pro experimentis foresticis, 1985, 23, 25 - 94**

Journal article, Published version

Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:517744>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-28**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



VLADIMIR HITREC

MATEMATIČKI MODELI I RJEŠENJA NEKIH PROBLEMA U ŠUMARSTVU I TEHNOLOGIJI DRVA

MATHEMATICAL MODELS AND SOLUTION OF CERTAIN PROBLEMS IN FORESTRY AND WOOD TECHNOLOGY

Prispjelo: 11. veljače 1985.

Prihvaćeno: 31. ožujka 1985.

Određivanje volumena svih trupaca u složaju može se vršiti na više načina. Analizirane su greške koje se pojavljuju upotrebom pojedine metode. U praksi se često puta vrše procjene pomoću tzv. »koefficienata«. Ukazano je da takve procjene nisu uvijek dovoljno točne, te u kojim se slučajevima smiju upotrijebiti. Također su razrađene prikladne metode za takve procjene. U šumarstvu se za izjednačenje koriste funkcije $y = C + Af(x, B)$, gdje f nije linearna. Poznate su približne metode. Ovdje je pokazano kako se izjednačenja nelinearnih funkcija mogu vršiti po volji točno upotrebom elektroničkih računala. Analizirana je opravdanost upotrebe raspona kod računanja parametara za konstrukciju kontrolnih karata. Predloženi su odgovarajući modeli za kontrolne karte u primarnoj preradi drva. Široko je obrađen problem određivanja optimalnih rasporeda pila kod piljenja jelovih trupaca na jarmačama. Razrađene su zadovoljavajuće metode koje se temelje na simulaciji programima RARAVO i RAVIDI. Analizirani su faktori koji utječu na volumno iskorišćenje trupaca. Razmatrani su problemi o sortiranju trupaca na stovarištu.

Ključne riječi: matematički modeli, volumen trupaca u složaju, greške, procjena, regresijska analiza, kontrolne karte, optimizacija piljenja, elektronička računala, simulacija.

1. O ČETIRI NAČINA ODREĐIVANJA VOLUMENA SVIH TRUPACA U SLOŽAJU — ABOUT FOUR METHODS FOR DETERMINATION OF VOLUME OF ALL LOGS IN A PILE

Trupac je krnji stožac. Složaj je skup koji sadrži N trupaca. Dužina, veći promjer, manji promjer, promjer na polovini dužine te pad promjera i -tog trupca označeni su respektive sa h_i , R_i , r_i , d_i te p_i .

Standard propisuje da se volumen trupca računa po formuli

$$V_i = \frac{\pi}{4} h_i d_i^2$$

Usprkos toga, sve se češće na centralnim mehaniziranim stovarištima računa volumen trupca po formuli za krnji stožac

$$V_{si} = \frac{\pi}{3} h_i (R_i^2 + R_i r_i + r_i^2).$$

Volumen svih trupaca u složaju je

$$V = \frac{\pi}{4} \sum h_i d_i^2 \quad (1)$$

Volumen svih trupaca u složaju kadkada se približno računa prema formulama

$$V_1 = N \cdot \frac{\pi}{4} \bar{h} \bar{d}^2, \quad (2)$$

ili

$$V_2 = N \cdot \frac{\pi}{4} \bar{h} \bar{d}^2. \quad (3)$$

Uzimajući u obzir da je pad promjera različit od nule, volumen trupca u složaju možemo izračunati i prema formuli

$$V_s = \frac{\pi}{3} \sum h_i (R_i^2 + R_i r_i + r_i^2) \quad (4)$$

Izrazi (2) i (3) sadrže volumen srednjeg trupca (računat na dva načina), pomnožen brojem trupaca koje promatramo.

Označimo sa $a_i = h_i - \bar{h}$ odstupanje pojedine duljine od srednje vrijednosti svih N duljina.

Označimo sa $b_i = d_i^2 - \bar{d}^2$ odstupanje pojedinih kvadrata promjera od srednje vrijednosti kvadrata promjera.

Može se pokazati da vrijedi

$$\Delta = \frac{\pi}{4} \sum a_i b_i = V - V_1.$$

Apsolutna greška koju činimo računajući volumen relacijom (2) umjesto da se služimo relacijom (1) je dakle

$$\Delta = \frac{\pi}{4} \sum a_i b_i. \quad (5)$$

Analizirajmo veličinu Δ .

Procjena koeficijenta korelacije varijabli d^2 i h dana je izrazom

$$r = \frac{\frac{1}{N} \sum a_i b_i}{\sigma_{d^2} \sigma_h}.$$

Iz posljednje relacije i relacije (5) možemo izračunati izraz za Δ koji je pogodan za analizu greške,

$$\Delta = \frac{N\pi r \sigma_d^2 \sigma_h}{4}$$

1. Ako su duljine svih trupaca jednake onda je i $\sigma_h = 0$ te je i $\Delta = 0$. U tom slučaju računanje volumena pomoću srednje vrijednosti kvadrata promjera (relacija (2)) daje isti rezultat kao da radimo prema formuli (1).

2. Ako su promjeri svih trupaca jednaki onda je također $\sigma_d^2 = 0$ te je opet $\Delta = 0$. Relacija (2) daje i u tom slučaju isti rezultat kao (1).

3. Ako su duljine trupaca pozitivno korelirane sa promjerima, tj. ako očekujemo da će dulji trupac imati i veći promjer onda je $r > 0$ te je i

$$\Delta > 0,$$

odnosno

$$V > V_1.$$

Volumen računat pomoću srednje vrijednosti kvadrata promjera je manji od volumena računatog na standardni način.

4. Ako su duljine trupaca negativno korelirane sa duljinama, tj. ako očekujemo da će dulji trupac imati manji promjer onda je i $r < 0$, te je i

$$\Delta < 0,$$

odnosno

$$V < V_1.$$

Volumen izračunat pomoću srednje vrijednosti kvadrata promjera je u tom slučaju veći od volumena računatog pomoću formule (1).

5. Ako ne postoji korelacija između debljina i duljina trupaca, tada je $r \approx 0$, te je i

$$\Delta \approx 0,$$

odnosno

$$V \approx V_1.$$

Volumen izračunat pomoću srednje vrijednosti kvadrata promjera je približno jednak volumenu izračunatom pomoću (1).

6. Apsolutna greška je to veća, što je veći broj trupaca čiji promjer računamo.

Osim upravo navedenih odnosa koji postoje između prave vrijednosti volumena i volumena izračunatog pomoću srednje vrijednosti kvadrata promjera, za praksu je interesantna veličina relativne greške koju činimo takvom aproksimacijom.

Relativna greška volumena je

$$\frac{\Delta}{V} = \frac{\frac{\pi}{4} N \sigma_d^2 \sigma_h r}{\frac{\pi}{4} \sum h_i \cdot d_i^2}$$

odnosno

$$\frac{\Delta}{V} = \frac{1}{1 + \frac{\bar{h} \bar{d}^2}{r \sigma_d^2 \sigma_h}} \quad (6)$$

Označimo sa L duljinu najdužeg odnosno sa h dužinu najkraćeg trupca. Označimo sa D promjer najdebljeg odnosno sa d promjer najtanjeg trupca. Pretpostavit ćemo da je

$$\bar{h} = \frac{L + h}{2}, \quad \text{odnosno} \quad \bar{d}^2 = \frac{D^2 + d^2}{2}$$

Kako su maksimalne moguće vrijednosti:

$$r = 1, \quad \sigma_d^2 = \frac{1}{2} (D^2 - d^2) \quad \text{i} \quad \sigma_h = \frac{1}{2} (L - h),$$

tg je

$$R_g = \frac{\Delta}{V} \leq \frac{1}{1 + \frac{(L + h)(D^2 + d^2)}{(L - h)(D^2 - d^2)}} \quad (7)$$

Vidimo da je relativna greška manja kod duljih i debljih trupaca, uz pretpostavku jednakih raspona u debljini odnosno duljini.

Kolike su praktički te greške pokazat ćemo na primjerima.

Služeći se relacijom (7) izvršit ćemo procjenu maksimalne relativne greške koju možemo načiniti ako volumen trupca računamo pomoću srednje vrijednosti kvadrata promjera, tj. prema relaciji

$$V_t = \frac{\pi}{4} N \cdot \bar{h} \cdot \bar{d}^2$$

Pretpostavit ćemo neke od mogućih raspona duljina odnosno debljina trupaca (L m, D cm):

1. $L = 6, \quad h = 2, \quad D = 34, \quad d = 30, \quad R_g < 6 \%$
2. $L = 6, \quad h = 2, \quad D = 32, \quad d = 30, \quad R_g < 3 \%$
3. $L = 4, \quad h = 2, \quad D = 34, \quad d = 30, \quad R_g < 4 \%$
4. $L = 6, \quad h = 3, \quad D = 40, \quad d = 38, \quad R_g < 2 \%$
5. $L = 6, \quad h = 3, \quad D = 32, \quad d = 30, \quad R_g < 2 \%$

Možda će se čitaocu greške koje su izračunate kao maksimalno moguće činiti dosta velike, no moramo imati na umu da su to maksimalne moguće greške dobivene uz pretpostavku da je koeficijent korelacije jednak

1 i da su varijance promjera odnosno dužine maksimalno velike. Naravno da se takav slučaj neće desiti u praksi. Realne greške će biti znatno manje od ovih maksimalnih.

Uzmimo npr. da r nije jednak 1 već 0,50. Tada je procjena pod 1. za 50 % manja, te iznosi $R_g = 0,03$.

Prema dosadašnjem iskustvu r nikada nije viši od 0,05.

Svjesni smo da je procjena maksimalne greške (7) prevelika no željeli smo pokazati preko koje vrijednosti ne očekujemo veličinu relativne greške.

Procijenit ćemo grešku koju činimo ako umjesto V_s računamo volumen prema (1). Uvedimo oznake

Apsolutna greška za jedan trupac: $\delta_i = V_{si} - V_i$.

Apsolutna greška cijelog složaja: $\delta = \sum (V_{si} - V_i)$.

Relativna greška jednog trupca: $\varepsilon_i = \delta_i / V_{si}$.

Relativna greška cijelog složaja: $\varepsilon = \delta / V_s$.

Budući da je

$$\varepsilon = \frac{\sum (V_{si} - V_i)}{\sum V_{si}} = \frac{\sum \varepsilon_i V_{si}}{\sum V_{si}},$$

te ako je E jedna gornja ograda skupa ε_i slijedi da je $\varepsilon \leq E$.

Može se lako pokazati da je

$$\varepsilon_i = \frac{1}{4(12x_i^2 - 6x_i + 1)}, \text{ gdje je } x_i = R_i/h_i p_i.$$

Tražena relativna greška ε_i ima maksimum za $x = 0,25$. Za vrijednost $x > 0,25$ ε_i pada. Praktički je dakle najveća vrijednost ε_i moguća za najmanju moguću vrijednost $x = R/ph$ (koja je veća od 0,25). Možemo smatrati da se u praksi najmanji x može pojaviti za $R = 15$ cm, $p = 2$ cm/m i $h = 6$ m. Tim vrijednostima pripada $x = 1,25$ odnosno $E = 0,02 = 2\%$.

Očekivana greška će u praksi biti manja, jer su za R , p i h uzete zaista ekstremne vrijednosti.

Preostalo nam je još da damo usporedbu volumena računatog pomoću kvadrata srednje vrijednosti (relacija (3)) sa volumenom računatim pomoću srednje vrijednosti kvadrata (relacija (2)). Lako se može pokazati (Hitrec, 1984) da je

$$V_1 \geq V_2.$$

Volumen računat pomoću srednje vrijednosti kvadrata promjera (\bar{d}^2) ne može biti manji od volumena računatog pomoću kvadrata srednje vrijednosti (\bar{d}^2).

V_1 je jednak V_2 samo ako su promjeri svih trupaca jednaki.

2. O JEDNOJ METODI PROCJENE — ABOUT ONE ESTIMATE METHOD

Kada se u praksi kaže »koeficijent« često se misli na izvjesnu konstantu k koja označava »odnos« između dvaju obilježja (slučajnih varijabli). Označimo te varijable sa X odnosno Y . Redovno se radi o namjeri da se pomoću izmjerene vrijednosti X procijeni Y . Radi se tako da se na uzorku veličine n izmjere vrijednosti (x_i, y_i) ($i = 1, \dots, n$) te se procjenjuje k bilo kao

$$k = \frac{\sum x_i}{n} \quad \text{ili} \quad k = \frac{\sum x_i}{\sum y_i}$$

Tada se smatra da općenito vrijedi

$$Y = kX.$$

Tako se govori o »koeficijentu protoka materijala«, »koeficijentu iskorišćenja trupaca«, »koeficijentu iskorišćenja kapaciteta«, itd.

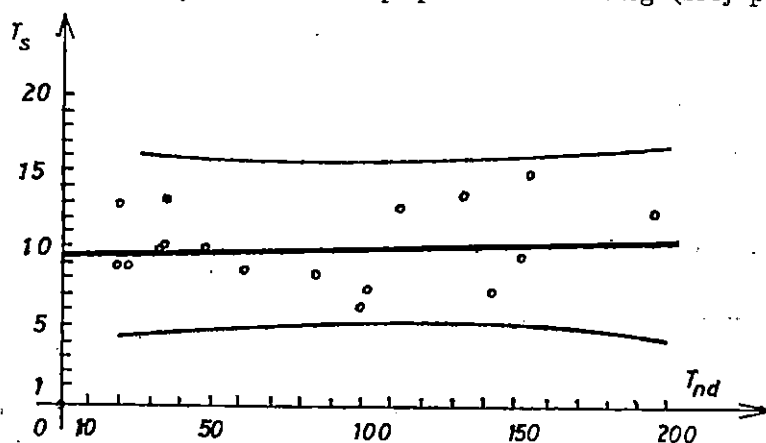
Takav postupak pretpostavlja linearnu vezu između varijabli X i Y , što naravno nije uvijek istina, te zbog toga dovodi do pogrešnih rezultata.

Matematički model za takve procjene je regresijska analiza.

Odgovarajuće matematičke metode za takve procjene su metode regresijske analize (Hitrec, 1976).

Primjer 1. Navest ćemo prvo primjer iz organizacije rada u vezi s računanjem prosječnog koeficijenta protoka.

U jednom poduzeću drvne industrije izmjerene su za 18 radnih naloga veličine T_s (stvarni ciklus proizvodnje računat u danima), a poznat je bio i normirani broj dana T_{nd} za pripadni radni nalog (broj potrebnih



Sl. — Fig. 1. Pravac regresije stvarnog ciklusa proizvodnje T_s s obzirom na normirani broj dana T_{nd} — Regression line of real production cycles T_s in respect to normed number of days T_{nd}

norma-sati za stanoviti nalog podijeljen brojem radnih sati u jednom danu). Dobiveni podaci su unijeti u tabelu 1, a pripadni dijagram raspršenja, pravac regresije i 95 %-tne granice pouzdanosti prikazane su na slici 1.

Pravac regresije dobiven je metodom najmanjih kvadrata, a jednadžba mu je

$$T_s = 9,6 + 0,005 T_{nd}.$$

Tab. 1. Broj normiranih dana, stvarni ciklus proizvodnje i koeficijent protoka —
Number of the normed days, real production cycle and the flow coefficient

T_{nd} (1)	T_s (2)	f (3)	T_{nd} (1)	T_s (2)	f (3)
147	15	0.10	98	6	0.06
39	13	0.33	39	10	0.26
196	12	0.06	98	7	0.07
19	9	0.47	39	10	0.26
129	13	0.10	61	9	0.15
135	7	0.05	98	7	0.07
147	9	0.06	49	10	0.20
30	9	0.30	86	9	0.10
108	12	0.11	24	13	0.54

Iz slike 1, iz jednadžbe pravca (koeficijent uz T_{nd} jest vrlo malen) i iz izračunatog koeficijenta korelacije ($r = 0,08$) vidljivo je da nalozi koji su promatrani ne potvrđuju nikakvu vezu između normiranih dana i stvarnog ciklusa proizvodnje, što znači da nismo u mogućnosti — u ovom slučaju — poznavajući broj normiranih dana, dati bilo kakvu prognozu o stvarnom ciklusu proizvodnje. Zašto je to tako, stvar je analize koju će izvršiti tehnolog.

Primjer će nam poslužiti da pokažemo do kakvih bismo zaključaka došli da smo se umjesto regresijom služili koeficijentima. U tabeli 1, kolona (3), dani su koeficijenti protoka za svaki radni nalog. Srednja vrijednost tih koeficijenata jest protok

$$\bar{f} = \sum f_i / 18 = 0,18.$$

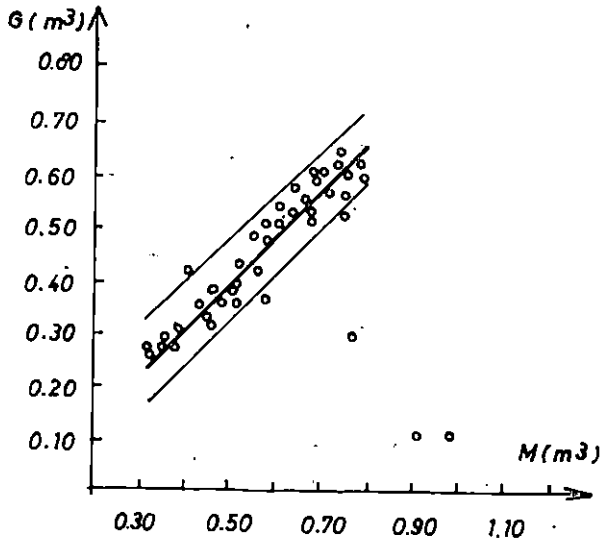
Stavimo li

$$T_s = 0,18 T_{nd},$$

dobili smo potpuno neadekvatan model. Uvrstimo li u taj model vrijednosti $T_{nd} = 100$, dobit ćemo $T_s = 18$, što je vrlo loša procjena. Slično bi bilo i s drugim vrijednostima T_{nd} .

Primjer 2. Odabran je slučajni uzorak od 40 jelovih trupaca III klase. Svakom trupcu određen je volumen (M) i volumen dobijene građe (G). Podaci su unijeti u tabelu 2.

Na slici 2 nanijet je pripadni dijagram raspršenja koji svojim prostiranjem ukazuje na mogućnost linearne regresije. Podaci su izjednačeni



Sl. — Fig. 2. Volumen dobivene građe (G) u zavisnosti od volumena trupca (M)
— Volume of obtained lumber (G) depending on the volume of a log (M)

Tab. 2. Parametri i vrijednosti SS za dva načina izjednačenja — Parameters and values SS for two methods fitting regression

M (m ³)	G (m ³)	M (m ³)	G (m ³)	M (m ³)	G (m ³)	M (m ³)	G (m ³)
0.67	0.51	0.72	0.55	0.69	0.55	0.38	0.28
0.75	0.60	0.64	0.69	0.64	0.55	0.39	0.29
0.36	0.25	0.45	0.32	0.61	0.52	0.72	0.58
0.69	0.55	0.43	0.40	0.69	0.56	0.67	0.50
0.49	0.35	0.72	0.61	0.72	0.50	0.72	0.59
0.69	0.56	0.45	0.34	0.67	0.52	0.61	0.49
0.41	0.29	0.48	0.35	0.45	0.33	0.36	0.26
0.39	0.26	0.50	0.37	0.79	0.59	0.58	0.45
0.53	0.40	0.50	0.36	0.50	0.33	0.55	0.39
0.55	0.34	0.55	0.47	0.50	0.34	0.58	0.48

pravcem, te je dobivena jednadžba: $G = -0,0612 + 0,874 M$. Izračunat je i koeficijent korelacije koji iznosi $r = 0,96$, što pokazuje veliki stupanj linearne zavisnosti volumena trupca i dobivenog volumena građe.

Izračunate su i na slici 2 nacrtane i granice pouzdanosti za 95 %-tnu sigurnost. Granice pouzdanosti su nacrtane za pojedinačne vrijednosti, što znači da za određeni volumen trupca možemo očitati interval u kome će se s 95 %-sigurnosti nalaziti volumen dobivene građe. Analogne granice mogu se konstruirati i za srednje vrijednosti. One će biti znatno uže i ovisit će o broju trupaca koji je uzet za uzorak.

Mala vrijednost koeficijenta $a = -0,0612$ navodi na pomisao da se radi o regresiji čiji pravac prolazi kroz ishodište, tj. o proporciji. Izvršili smo testiranje hipoteze

$$H_0 ; a = 0$$

prema alternativnoj

$$H_1 ; a \neq 0.$$

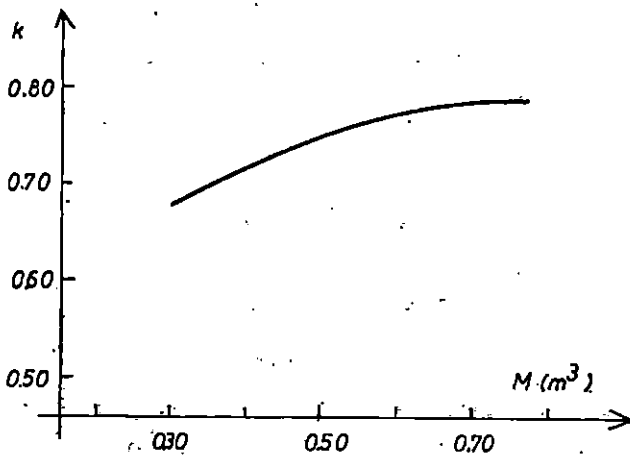
Izračunata je vrijednost varijable u , te je dobiveno

$$u = 2,4,$$

što omogućuje odbacivanje H_0 hipoteze uz kritični nivo testa manji od 1 %. Zaključujemo, dakle, da volumen građe nije proporcionalan s volumenom trupca, te jednostavnim dijeljenjem jednadžbe regresije s M dobivamo koeficijent iskorišćenja kao funkciju od M :

$$k(M) = -0,0612/M + 0,874.$$

Ta je funkcija nacrtana na slici 3.



Sl. — Fig. 3. Koeficijent iskorišćenja trupca u zavisnosti od volumena trupca
— Coefficient of the quantity yield of a log depending on the volume of the log

Dobili smo poznati oblik veze između koeficijenta iskorišćenja i volumena trupca (Knežević, 1954, 1956). Statističke metode linearne regresije omogućuju daljnju analizu tih odnosa.

3. IZJEDNAČENJE MJERENIH PODATAKA FUNKCIJAMA OBLIKA
 $y = C + Af(x, B)$ — FITTING OF MEASURING DATA BY FUNCTIONS
OF THE FORM $y = C + Af(x, B)$

U šumarskoj se praksi kao matematički modeli za procjene, odnosno prognoze vrlo često koriste razni oblici regresija.

Budući da se rijetko radi o linearnim regresijama to se u određivanju parametara takvih regresija redovno susrećemo sa problemom minimiziranja greške u smislu metode najmanjih kvadrata. Poznato je naime da za mnoge funkcije oblika

$$y = C + Af(x_i, B) \text{ i točke } T_i(x_i; y_i) \quad i = 1, \dots, n$$

uvjet

$$SS = \sum (y_i - (C + Af(x, B)))^2 \rightarrow \min$$

dovodi do jednadžbi koje se ne mogu riješiti elementarnim metodama.

Zbog toga se neki oblici funkcija izvjesnim transformacijama »lineari-
ziraju«. Tako npr. funkcija

$$y = A \text{ EXP } (B/x) \quad (1)$$

se logaritmiranjem prevodi u oblik $\log y = \log A + B/x$. Sada se stavi da je $y' = \log y$, $x' = 1/x$, $B' = B$ i $A' = \log A$, te se traže A' i B' takvi da izraz

$$Z = \sum (y'_i - (A' + B'x'_i))^2 \rightarrow \min.$$

Parametri A' i B' koji minimiziraju Z ne minimiziraju

$$\sum (y_i - A e^{\frac{B}{x_i}})^2.$$

Nismo dakle dobili najoptimalnije rješenje.

Procjene koje tada dobivamo funkcijom

$$y = A \text{ EXP}(B/x)$$

popravljammo tzv. Mayer-ovim korekturama (Prodan, 1968), no rezultati nas zadovoljavaju samo dotle dok ne znamo za bolje metode.

Osim modela (1) u šumarstvu se još upotrebljavaju i slijedeći modeli za regresije.

$$Y = A x^B$$

$$Y = A e^{Bx}$$

$$Y = \frac{Ax}{C + Bx}$$

$$Y = \frac{Ax^2}{(C + Bx)^2}$$

Niti jedan od tih oblika nije pogodan za »direktno« izjednačavanje metodom najmanjih kvadrata.

Pogodnosti elektroničkog računala za rješenje tog problema uočili smo 1970 godine (Hitrec, 1973, 1976).

Kvadrirajmo izraz za SS:

$$SS = \sum (y_i - C)^2 - 2A \sum (y_i - C) f(x_i, B) + A^2 \sum (f(x_i, B))^2 \quad (2)$$

Za konstantni B izraz za SS je parabola sa nezavisnom varijablom A.

Minimum veličine SS će se nalaziti iznad krivulje koja je projekcija tjemena tih parabola u ravnini (AOB). Parametri A i B dakle moraju zadovoljavati uvjet

$$A = \frac{\sum (y_i - C) f(x_i, B)}{\sum (f(x_i, B))^2} \quad (3)$$

Stavimo li izraz (3) za A u relaciju (2) dobivamo poslije sređivanja

$$SS = \sum (y_i - C)^2 - \frac{(\sum (y_i - C) f(x_i, B))^2}{\sum (f(x_i, B))^2}$$

Vidimo da će suma kvadrata odstupanja imati minimum za onu vrijednost od B za koju izraz

$$Z(B) = \frac{(\sum (y_i - C) f(x_i, B))^2}{\sum (f(x_i, B))^2} \text{ ima maksimum.} \quad (4)$$

Kako bi za zadanu funkciju $f(x_i, B)$ izračunali B za koji veličina $Z(B)$ ima maksimum, odnosno parametre A i B za koji je suma kvadrata odstupanja najmanja sastavili smo program za elektronski računar.

Pretpostavka računa je da funkcija $Z(B)$ ima samo jedan maksimum. Pretpostavka je vrlo vjerojatno zadovoljena za široku klasu funkcija. Teoretski bi tu klasu bilo teško odrediti no za praksu to nije od bitnog značenja.

Stroju se zadaje slijedeće: funkcija $f(x, B)$, točke $T_i (x_i, y_i)$, parametar C, početna vrijednost parametra B, početni interval za promjenu veličine B, relativna greška koju želimo tolerirati u izračunavanju parametra B, te veličine P, Q, R koje služe za tabeliranje izjednačene funkcije.

Izlaz iz stroja su parametri A i B, minimalna suma kvadrata odstupanja SS, te tabelirana funkcija

$$y = C + Af(x, B).$$

Osnovni princip rada stroja je slijedeći:

Počevši od početne zadane vrijednosti parametra B stroj računa veličinu $Z(B)$ za vrijednosti $B + \Delta B$, odnosno za vrijednosti $B + \Delta B/2^n$ ($n = 1, 2, \dots$), gdje se B stalno mijenja sve dok promjena B koja bi povećala vrijednost izraza $Z(B)$ ne postane manja od ϵB . Sa posljednjom vrijednost B stroj prema (3) izračuna A i prema (2) SS.

Primjer — Example:

Navedenom metodom izjednačili smo podatke za visinsku krivulju

$$H = 1,3 + A e^{-\frac{B}{D}}$$

Izjednačene su dominantne visine 90-godišnje sastojine hrasta lužnjaka u Lipovljanima.

U tabeli 2 navedeni su parametri (P r a n j i ć, 1970) u usporedbi sa parametrima dobivenim ovdje izloženom metodom.

Uočimo da je SS — suma kvadrata odstupanja — dobivena izjednačenjem novom metodom manja od odgovarajuće sume kvadrata odstupanja dobivene logaritamskim izjednačenjem.

U tabeli 3 usporedene su visine izjednačene logaritamskom metodom (H_1) i visine izjednačene novom metodom (H). U koloni (4) tabele 3 navedene su razlike $d = H - H_1$.

Tab. 3. Usporedba izjednačenih visina dobivenih različitim metodama — Comparison of heights obtained by various methods

(1)	(2)	(3)	(4)
D	H_1	H	d
26	25.26	25.22	-0.04
28	25.82	25.79	-0.03
30	26.31	26.30	-0.01
32	26.75	26.75	0.00
34	27.15	27.16	0.01
36	27.50	27.52	0.02
38	27.83	27.86	0.03
40	28.12	28.16	0.04
42	28.39	28.44	0.05
44	28.64	28.69	0.05
46	28.86	28.92	0.06
48	29.07	29.14	0.07
50	29.27	29.34	0.07
52	29.45	29.53	0.08
54	29.62	29.70	0.08
56	29.77	29.86	0.09
58	29.92	30.01	0.09
60	30.06	30.16	0.10
62	30.19	30.29	0.10

Odmah uočavamo da krivulja dobivena logaritamskim izjednačenjem nije cijela ispod optimalne krivulje. Nadalje vidimo da su razlike između krivulja veće na njihovim krajevima.

Smatramo da će razlike biti znatnije kod izjednačenja tankih stabala kao i kod izjednačenja prebornih sastojina gdje su razlike između najtanjeg i najdebljeg stabla velike.

Daljnja istraživanja trebala bi te razlike ispitati.

Problem se može poopćiti tako da se i parametar C varira.

Postupak je analogan svemu što je ovdje već izneseno.

Također smo sastavili i testirali program za računar koji računa parametre A, B, C tako da suma kvadrata odstupanja

$$SS = \sum (y_i - C - Af(x_i, B))^2 \text{ min.}$$

4. O. IZRADI I INTERPRETACIJI KONTROLNIH KARATA — ABOUT CONSTRUCTION AND INTERPRETATION OF CONTROL CHARTS

4.1. Problem — Problem

Jedna od metoda praćenja proizvodnog procesa su kontrolne karte. Metoda zahtijeva jednostavne račune a daje korisne informacije, te je zbog toga prikladna za kontrolu kretanja mnogih tehnoloških procesa.

Korisnost kontrolnih karata uočili su i naši tehnolozi te do sada imamo nekoliko radova o njihovoj konstrukciji i interpretaciji.

Autori spomenutih radova predlažu direktnu primjenu poznatih statističkih teorema na izradu kontrolnih karata u drвноj industriji, kako ih je prvi predložio Bethel (1951).

Iako svjestan mogućih grešaka koje nastaju u procjenama varijanci, Emrović (1970) se ipak priklanja Bethelovom modelu — »barem tako dugo dok istraživanja ne pokažu drugi put«.

Poslije Emrovićevog rada, publiciran je rad Haluseka (1972), koji je per analogiam primijenio poznati model na izradu kontrolnih karata za kontrolu debljina ploča iverica. Iz dijagrama 1 u radu Haluseka vidi se da je model neadekvatan.

Neovisno o tom radu, Tratnik* je u Tvornici iverica pokušao na isti način konstruirati kontrolne karte također za kontrolu debljina iverica. Tratnik je uočio kontradiktorne rezultate i o njima informirao autora ovog rada.

Praksa je dakle pokazala da će proces biti gotovo uvijek izvan kontrole u smislu kako je taj pojam uveo Bethel (1951). Često je naime varijanca unutar uzorka (ako uzorke pravimo tehnološki logično — ne slučajno) manja od varijance između uzoraka. Ako je pak varijanca između uzoraka zanemarivo mala prema varijanci unutar uzorka — piljenice ispljene na jarmači (Brežnjak & Herak, 1969), tada će proces biti uvijek u kontroli. Smatramo da je za uspoređivanje spomenutih varijanci pogodniji F-test, a da kontrolne karte imaju drugu namjenu (Hitrec, 1974).

* Nije mi poznato da je Tratnik o tome pisao. Informacije su razmjenjivane razgovorima.

U ovom ćemo se radu ograničiti na konstrukciju tzv. X-karata. R-karte nećemo spominjati iz dva razloga:

- a) X-karte u sebi sadržavaju praćenje varijabilnosti podataka.
- b) Tamo gdje bi nas mogla interesirati varijabilnost unutar uzorka ne možemo se služiti rasponima jer ne poznamo njihovu distribuciju.

Formiranjem uzoraka na način koji omogućuje korišćenje raspona (slučajni uzorak) ne dobivamo uzorke unutar kojih je varijabilnost interesantna.

4.2. Matematičko statističke metode — Mathematical statistical methods

Matematičko statističke osnove izrade kontrolnih karata su jednostavne i neće biti na odmet da ih ovdje iznesemo.

- a) Ako su podaci — nazovimo ih X — distribuirani normalno s očekivanjem μ i varijancom σ^2 , tada se u intervalu

$$(\mu - 2,58 \sigma, \mu + 2,58 \sigma), \quad (1)$$

nalazi 99%, a u intervalu

$$(\mu - 1,96 \sigma, \mu + 1,96 \sigma), \quad (2)$$

95% podataka.

- b) Aritmetička sredina \bar{x} izračunata iz podataka slučajnog uzorka veličine n distribuirana je približno normalno s očekivanjem μ i varijancom

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = \frac{\sigma^2}{n}$$

- c) Ako iz slučajnog uzorka veličine N izračunamo nepristrane procjene očekivanja μ , odnosno varijance $\sigma^2 : \bar{x}$ odnosno s_x^2 , gdje je

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum x_i \text{ odnosno } s_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum (x_i - \bar{x})^2$$

i stavimo ih umjesto μ i σ^2 u (1) i (2), tada a) vrijedi približno.

- d) Označimo sa R (raspon, range) razliku između najveće i najmanje vrijednosti podataka u uzorku.

Ako su uzorci slučajni, tada je poznata distribucija veličina R i veza između σ^2 i \bar{R} (Tippet, 1925; Pearson, 1926). Dakle iz \bar{R} možemo procijeniti σ^2 , služeći se odgovarajućim tablicama.

Imajući ovo u vidu, konstrukcija kontrolnih karata ostaje tehnički problem.

Kontrolne karte nam služe da pratimo kretanje procesa uspoređujući ga sa nekim — nazvat ćemo ga PRIMARNIM — modelom proizvodnje.

Primarnim modelom ćemo smatrati onaj model proizvodnje na temelju kojeg su izračunati parametri za konstrukciju kontrolnih karata.

Primarni model može biti proizvodnja koja teče onako kako bismo to htjeli, ili onako kako najbolje može, ili jednostavno onako kako teče onda kada vršimo mjerenja.

U kontrolne karte možemo unositi pojedinačne vrijednosti x (pojedinačne vrijednosti promatranog obilježja). U tom slučaju je potrebno izračunati s_x .

Mnogo je zgodnije da u kontrolne karte unosimo aritmetičke sredine \bar{x} uzoraka od n elemenata (obično 4—10). Tada moramo izračunati s_x .

Na početku kontrolne karte MORA u primarnom modelu približno 5% podataka (x) padati izvan unutarnjih kontrolnih granica, a približno 1% izvan vanjskih. Ako to nije, tada ili varijanca nije dobro procijenjena, ili distribucija podataka na temelju kojih smo izračunali varijancu nije normalna, ili uzorak nije slučajan.

Ukoliko se to desi, potrebno je ponoviti mjerenja za primarni model, uz eventualno povećanje broja mjerenja u jednom uzorku.

Uz kontrolne karte vezan je pojam: »izvan kontrole« (out of control). Obično se kaže da je proces izvan kontrole, ako izvan kontrolnih granica pada više od očekivanog broja točaka. Iz toga proizlazi da *primarni model ne može biti izvan kontrole*.

Daljnji proces proizvodnje se uspoređuje s početnim (primarnim). Problem je kako uzimati uzorke i kako procjenjivati potrebnu varijancu primarnog modela.

4.3. Kontrola prosječnih debljina piljenica — Control of average thicknesses of boards

Metoda 1.

Neka se primarni model sastoji od N piljenica iste nominalne debljine. Na svakoj piljenici je mjerena debljina na četiri mjesta prema slici 4.



Sl. — Fig. 4. Jedan od načina mjerenja debljine piljenice — One of methods of measuring the thickness of the board

Uvedimo oznake:

— GVG, odnosno DVG, su gornja vanjska, odnosno donja vanjska, kontrolna granica unutar kojih se nalazi 99% (približno) podataka primarnog modela.

— GUG, odnosno DUG, su gornja unutarnja, odnosno donja, unutarnja kontrolna granica unutar kojih se nalazi 95% (približno) podataka primarnog modela.

Prema onom što je rečeno u 4.2. bit će

$$\text{GVG} = \bar{\bar{d}} + 2,58 s_{\bar{d}}$$

$$\text{GUG} = \bar{\bar{d}} + 1,96 s_{\bar{d}}$$

$$\text{DUG} = \bar{\bar{d}} - 1,96 s_{\bar{d}}$$

$$\text{DVG} = \bar{\bar{d}} - 2,58 s_{\bar{d}}$$

gdje je

$$\bar{d}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_{ij}$$

$$\bar{d} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{d}_i$$

$$s_{\bar{d}}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\bar{d}_i - \bar{d})^2$$

d_i je debljina i — te piljenice mjerena na j -tom mjestu.

Točke koje unášamo na kontrolne karte predstavljaju prosječnu debljinu jedne piljenice.

Račun varijance je moguć prema navedenoj relaciji za $s_{\bar{d}}^2$

Računanje raspona nije potrebno, jer distribuciju raspona kod ovakvog uzimanja uzoraka ne poznajemo.

Varijabilitet koji se kontrolira je varijabilitet između piljenica.

Primjer 1

Na pilani u Celju su izvršena mjerenja debljina bukovih piljenica ispijlenih na jarmači.

Mjerenja su unijeta u tabele 4a i 4b.

Tabela 4a je uzeta kao primarni model. U tabeli 4b su rezultati mjerenja dobiveni drugi dan pod istim uvjetima kao i rezultati primarnog modela.

Podaci iz tabela 4a i 4b unijeti su u kontrolnu kartu na slici 5.

Primarni model je odvojen od daljnjeg toka proizvodnje.

Metoda 2.

Na svakoj piljenici vršimo samo jedno mjerenje.

To mjerenje možemo izvršiti bilo uvijek na istom mjestu na piljenici, bilo da na različitim piljenicama odaberemo različita mjesta na kojima ćemo mjeriti.

Tab. 4a. Debljine piljenica upotrebljene za primarni model metode 1 — Thicknesses of boards used for primary model of the method 1

Nr.	d_1	d_2	d_3	d_4	\bar{d}
1	35.2	35.6	35.3	35.4	35.4
2	35.2	35.0	36.1	34.9	35.3
3	35.0	35.2	36.3	36.6	35.8
4	35.0	34.7	36.2	35.6	35.4
5	35.7	36.2	35.8	36.0	35.9
6	35.7	35.7	35.6	35.5	35.6
7	35.1	35.6	35.7	35.2	35.4
8	36.5	34.7	34.6	35.0	35.2
9	34.8	35.2	35.1	35.6	35.2
10	35.0	35.7	35.7	35.8	35.5
11	35.8	34.9	35.2	35.0	35.2
12	34.8	35.0	35.7	35.6	35.3
13	35.4	35.0	34.4	34.6	34.8
14	34.6	34.8	35.2	35.6	35.0
15	35.3	35.1	34.9	35.0	35.1
16	34.7	34.0	35.6	35.0	34.8
17	35.1	35.4	35.8	35.4	35.4
18	34.9	35.4	34.7	35.2	35.0
19	35.0	35.8	36.2	35.4	35.6
20	34.5	35.7	35.6	35.9	35.4

$$\bar{d} = 35.3150$$

$$s_{\bar{d}} = 0.292494$$

Kontrolne granice - Control limit

$$GVG = 36.06$$

$$GUG = 35.88$$

$$DUG = 34.74$$

$$DVG = 34.56$$

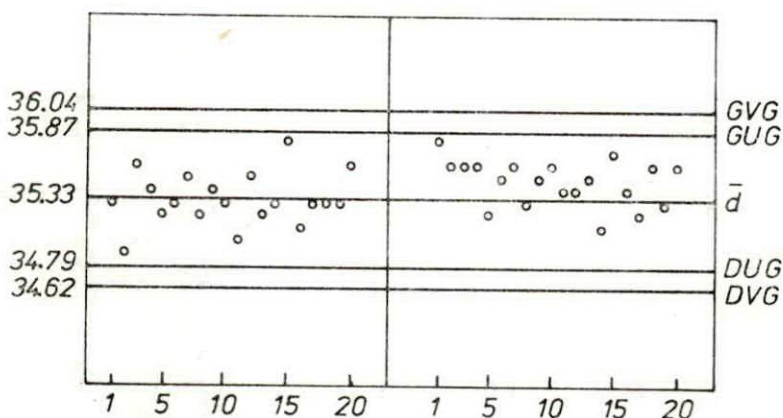
Tab. 4b. Debljine piljenica za metodu 1 — Thicknesses of boards for the method 1

Nr.	d_1	d_2	d_3	d_4	\bar{d}
1	34.6	35.0	34.7	34.9	34.8
2	35.2	35.0	35.8	36.0	35.5
3	36.0	36.6	35.6	37.1	36.3
4	35.7	35.2	35.5	35.4	35.3
5	35.6	35.2	35.4	35.2	35.3
6	35.5	35.3	34.8	35.8	35.3
7	35.2	35.7	34.8	35.1	35.2
8	35.4	36.1	35.6	35.5	35.6
9	35.5	36.2	35.6	35.5	35.7
10	35.6	35.3	35.4	36.2	35.6
11	35.5	35.7	36.0	35.6	35.7
12	36.5	35.2	35.3	35.7	35.7
13	34.5	35.6	35.2	34.7	35.0
14	35.4	36.0	35.7	35.7	35.7
15	35.0	35.5	35.0	34.9	35.1
16	36.3	35.1	34.7	34.9	35.2
17	34.7	35.2	36.0	35.0	35.2
18	36.2	35.4	35.7	35.8	35.8
19	35.3	35.4	35.7	35.2	35.4
20	35.7	35.3	35.5	35.1	35.4

Mjerenja dobivana na po četiri piljenice spajamo i iz njih računamo d_i i R_i . Kod toga je d_i aritmetička sredina od četiri mjerenja na četiri piljenice uzete na bilo koji način. R_i je raspon tih četiriju mjerenja.

Da bi primarni model sadržavao N točaka, moramo izmjeriti $4N$ piljenica. Vršimo isti broj mjerenja kao i u metodi 1, ali na četiri puta većem broju piljenica. Ovo je svakako za praksu nepovoljnije, jer se kontrola vremenski »rastegne«.

Sada su vjerojatno zadovoljeni svi uvjeti u točki 1, te varijancu veličina d možemo računati na već poznat način pomoću raspona i Tippetovih tablica, kako su to predložili (Brežnjak, 1960), (Emrović, 1970), (Halusek, 1972).



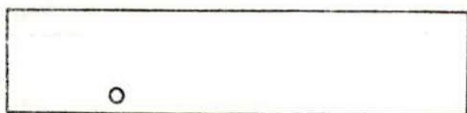
Sl. — Fig. 5. Primarni model i daljnji tok procesa uz metodu 1 — Primary model and further processing course to the method 1.

Na taj način kontroliramo tok prosječnih debljina od 4 nasumce odabrane piljenice.

Varijabilitet koji se kontrolira je ili totalni — ako smo mjerili na različitim mjestima; ili varijabilitet između debljine piljenica mjenjenih na određenom mjestu.

Primjer 2.

Također se radilo sa bukovinom piljenoj na jarmači u Celju. Mjerenja su na svih 80 piljenica izvršena na mjestu prema slici 6.



Sl. — Fig. 6. Jedan od načina mjerenja debljine piljenice — One of methods of measuring the thickness of the board

Rezultati su unijeti u tabelu 5.

Iz podataka u tabeli 5 načinjene su procjene varijance pomoću s_d^2 te pomoću \bar{R} i Tippetovih tablica.

Na slici 7 ucrtane su kontrolne karte sa granicama procijenjenim pomoću raspona.

Metoda 3.

Na svakoj piljenici mjerimo debljinu na 4 mjesta, no podatke ne pišemo tim redom, već onako kako je to predložio Emrović (1970). Tom

Tab. 5. Debljine piljenica upotrebene za primarni model metode 2 — Thicknesses of boards used for primary model of the method 2

№.	d_1	d_2	d_3	d_4	d	R
1	35.6	35.0	35.2	34.7	35.1	0.9
2	36.2	35.7	35.6	34.7	35.6	1.5
3	35.2	35.7	34.9	35.0	35.2	0.8
4	35.0	34.8	35.1	34.0	34.7	1.1
5	35.4	35.4	35.8	35.7	35.6	0.4
6	35.0	35.0	36.6	35.2	35.5	1.6
7	35.2	35.3	35.7	36.1	35.6	0.9
8	36.2	35.3	35.7	35.2	35.6	1.0
9	35.6	36.0	35.5	35.1	35.6	0.9
10	35.2	35.4	35.4	35.3	35.3	0.2
11	35.2	34.9	35.4	34.9	35.1	0.5
12	34.4	35.5	34.5	35.0	34.9	1.1
13	35.2	34.8	35.0	35.2	35.1	0.4
14	35.0	35.0	34.6	35.0	34.9	0.4
15	35.2	35.3	35.8	33.4	34.9	2.4
16	37.2	34.4	34.3	33.6	34.9	3.6
17	34.2	34.9	35.2	36.1	35.1	1.9
18	35.1	36.0	36.3	32.7	35.0	3.6
19	34.1	34.3	33.3	34.9	34.2	1.6
20	34.6	33.7	34.7	33.8	34.2	1.0

$$\bar{d} = 35.0925$$

$$s_d = 0.418888$$

$$s_d(R) = 0.313259$$

Kontrolne granice - Control limits

izračunate pomoću s_d
calculated by s_d

izračunate pomoću \bar{R}
calculated by \bar{R}

$$GVG = 36.17$$

$$GVG = 35.90$$

$$GUG = 35.91$$

$$GUG = 35.70$$

$$DUG = 34.27$$

$$DUG = 34.47$$

$$DVG = 34.01$$

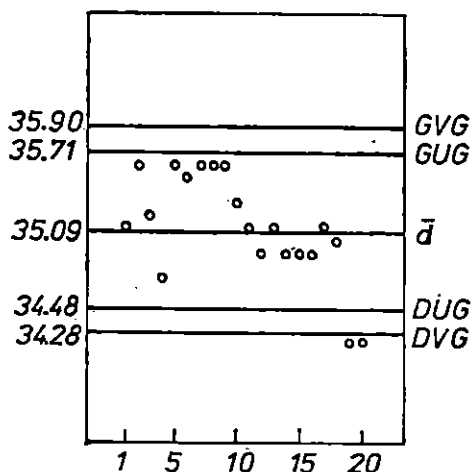
$$DVG = 34.28$$

metodom sistematski vadimo uzorak za koji tada smatramo da je slučajan. Ta metoda u većini slučajeva zadovoljava no i sam Emrović (1970) je naišao na primjer kada nisu bili zadovoljeni uvjeti za procjenu varijance pomoću raspona.

Mjerenja na praksi studenata u Celju su također pokazala da Emrovićev model ne daje uvijek dobru procjenu varijance.

Ako se želimo služiti rasponima uzorci moraju biti slučajni.

Predložili bismo slijedeće.



Sl. — Fig. 7. Primarni model za metodu 2 — Primary model for the method 2

4N dobivenih podataka slučajno (nasumce), makar i upotrebom tablica slučajnih brojeva, rasporediti u grupe od po 4 elementa. Sada su opet ispunjeni svi uvjeti iz točke 1, i daljnji račun je poznat. Možemo se služiti rasponima za procjenu varijance. Procjena je sada nepristrana.

Ovdje pratimo tok prosječnih debljina od po 4 mjerenja na raznim mjestima raznih piljenica.

Varijabilitet koji pratimo je totalni varijabilitet koji u sebi sadržava i varijabilitet između i varijabilitet unutar piljenica.

Primjer 3.

Na opisani način su podaci iz primjera 1 raspoređeni slučajno u tabele 6a i 6b. Podaci iz tabele 6a su uzeti kao primarni model.

Varijanca je procijenjena i pomoću s_a i pomoću raspona s_a (R). Kontrolne granice su izračunate pomoću jedne i pomoću druge procjene.

Na slici 8 ucrtane su granice dobivene pomoću raspona.

Tab. 6a. Debljine piljenica upotrebijene za primarni model metode 3 — Thicknesses of boards used for the primary model of the method 3

Nr.	d_1	d_2	d_3	d_4	\bar{d}	R
1	35.8	35.4	35.0	35.0	35.3	0.8
2	35.4	34.8	34.0	35.7	34.9	1.7
3	34.8	35.6	35.6	36.5	35.6	1.7
4	35.6	35.8	35.1	35.1	35.4	0.7
5	34.4	35.2	35.0	36.2	35.2	1.8
6	35.0	35.8	35.4	34.9	35.3	0.9
7	34.9	35.6	35.7	35.8	35.5	0.9
8	34.8	35.6	35.2	35.3	35.2	0.8
9	35.7	35.5	35.1	35.2	35.4	0.6
10	35.9	35.6	35.2	34.6	35.3	1.3
11	34.7	35.6	34.6	35.2	35.0	1.0
12	34.7	36.2	35.4	35.6	35.5	1.5
13	34.9	35.7	35.0	35.1	35.2	0.8
14	35.4	35.0	36.2	34.7	35.3	1.5
15	35.2	36.6	35.8	35.7	35.8	1.4
16	34.6	35.3	36.1	34.5	35.1	1.6
17	34.7	35.7	35.6	35.0	35.3	1.0
18	35.4	35.7	35.0	34.9	35.3	0.8
19	35.2	35.0	35.7	35.2	35.3	0.7
20	36.3	35.0	36.0	35.0	35.6	1.3

$$\bar{d} = 35.33$$

$$s_{\bar{d}} = 0.202777$$

$$s_{\bar{d}}(R) = 0.276$$

Kontrolne granice - Control limits

izračunate pomoću $s_{\bar{d}}$
calculated by $s_{\bar{d}}$

izračunate pomoću \bar{R}
calculated by \bar{R}

$$GVG = 35.85$$

$$GVG = 36.04$$

$$GUG = 35.72$$

$$GUG = 35.87$$

$$DUG = 34.93$$

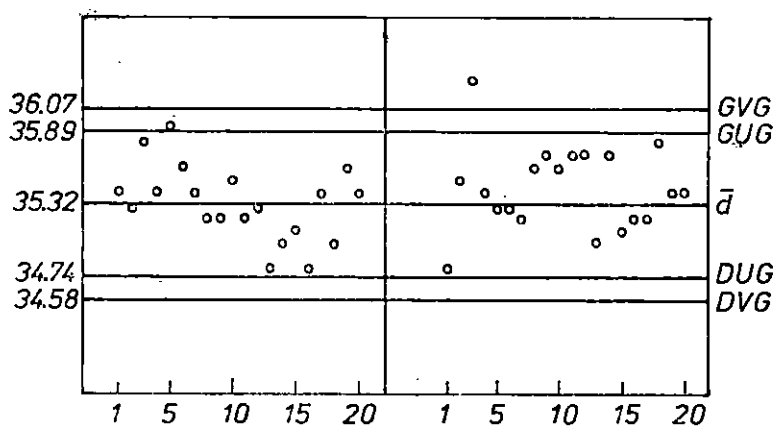
$$DUG = 34.78$$

$$DVG = 34.80$$

$$DVG = 34.61$$

Tab. 6b. Debljine piljenica za metodu 3 — Thicknesses of boards for the method 3

Nr.	d_1	d_2	d_3	d_4	\bar{d}	R
1	36.2	35.5	35.6	35.8	35.8	0.7
2	36.6	35.8	35.3	34.7	35.6	1.9
3	35.6	35.4	35.5	35.7	35.6	0.3
4	35.2	34.6	37.1	35.4	35.6	2.5
5	35.0	35.0	35.2	35.4	35.2	0.4
6	35.6	35.4	35.2	35.7	35.5	0.5
7	36.2	35.2	34.9	36.0	35.6	1.3
8	36.2	35.3	34.5	35.2	35.3	1.7
9	35.7	36.0	35.4	34.8	35.5	1.2
10	35.6	36.0	35.0	35.7	35.6	1.0
11	35.8	34.8	36.0	34.9	35.4	1.2
12	34.7	36.1	35.5	35.1	35.4	1.4
13	35.4	35.7	35.2	35.7	35.5	0.5
14	34.7	35.7	34.9	35.1	35.1	1.0
15	35.3	36.5	35.6	35.5	35.7	1.2
16	35.6	35.1	35.7	35.0	35.4	0.7
17	35.2	35.3	34.7	35.5	35.2	0.8
18	35.2	35.5	36.3	35.4	35.6	1.1
19	35.0	35.6	35.2	35.5	35.3	0.6
20	36.0	35.3	35.7	35.5	35.6	0.7



Sl. — Fig. 8. Primarni model za metodu 3 — Primary model for the method 3.

4.4. Analiza kontrolnih karata — Control charts analysis

Navest ćemo neke kriterije.

a. Ponovit ćemo još jednom:

Izvan DUG; GUG smije (u primarnom modelu *mora*) padati oko 5% podataka.

Izvan granica DVG; GVG smije (u primarnom modelu *mora*) padati oko 1% podataka.

Ako u nastavku karte izvan navedenih granica pada više podataka, tada sistem ne radi tako kako je radio primarni model.

b. Ako primjetimo da izvan navedenih granica pada manje podataka nego što očekujemo, možemo zaključiti da sistem radi preciznije (s manjom varijancom) od primarnog.

c. Vjerojatnost da 5 točaka za redom padne s jedne strane linije \bar{x} je $p(5) = 0,031$.

Ako se takav događaj desi, možemo smatrati da na tom mjestu (u tom vremenskom intervalu) sistem nije radio kao primarni. Vjerojatnost da smo donijeli pogrešan zaključak je samo 3,1%.

d. Kriterij c. možemo poopćiti. Vjerojatnost da od n točaka za redom njih x padne s jedne strane linije, \bar{x} je jednaka $p(x) = P(X = x)$, gdje je $X; B(n; 0,5)$.

U tabelu 7 smo unijeli neke parove brojeva (n, x) takve da je $P(X = x) \leq 0,5$. $\alpha = 0,05$ je uobičajena greška I vrste. Ako se u procesu desi koji od slučajeva (n, x) za koje je $P(X = x) \leq 0,5$ možemo smatrati da je na tom mjestu došlo do promjene procesa s obzirom na primarni model.

Tab. 7. Neki parovi (n, x) i pripadni $p(x)$ za koje je $p(x) \leq 0,05$ — Some pairs (n, x) and associated $p(x)$ for which is $p(x) \leq 0,05$

x	n	5	10	15	20	30
0		0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
1			0.01	0.00	0.00	0.00
2			0.04	0.00	0.00	0.00
3				0.01	0.00	0.00
4				0.04	0.00	0.00
5					0.01	0.00
6					0.04	0.00
7						0.00
8						0.01
9						0.01
10						0.03
11						0.05

4.5. Diskusija predloženih metoda — Discussion on proposed methods

Prvo je potrebno naglasiti da način uzimanja podataka u procesu proizvodnje mora biti isti kao što je bio u primarnom modelu.

Prva i suštinska razlika između Metode 1, s jedne strane, i Metode 2 i 3 s druge strane je u tome što su u Metodi 1 točke koje unášamo u kartu reprezentanti jedne piljenice, dok u Metodama 2 i 3 to nisu.

Druga razlika je u tome što se Metoda 1 ne služi rasponima, a ostale dvije se služe.

Rasponi su u kontrolne karte uvedeni iz dva razloga:

1. Lakše računanje varijance
2. Praćenje varijabilnosti unutar uzorka

ad 1. Uz današnju tehniku računanja ne predstavlja problem izračunati procjenu s_a^2 .

ad 2. Korišćenje raspona zahtijeva specijalne uvjete u formiranju uzoraka. Zadovoljavanje tih uvjeta dovodi do »neprirodnih« uzoraka. (Vidi metode 2 i 3).

Priklonili bismo se, dakle, najjednostavnijoj i najprirodnijoj Metodi 1. (Barem što se tiče navedenih primjera iz pilanarstva).

Ne bismo, međutim, potpuno izostavili korišćenje raspona. Postoje procesi gdje se rasponi mogu koristiti u izradi kontrolnih karata. Koji su to procesi, pokazat će praksa.

Uz primjer 1.

U primarnom modelu samo jedna točka (peta) pada izvan unutarnjih granica, što smo i očekivali. U primarnom modelu nema gomilanja točaka s jedne strane linije \bar{d} , što smo također očekivali. Varijanca je, dakle, dobro procijenjena.

U drugom dijelu karte vidimo da je od 5 točaka (7—11) svih pet iznad \bar{d} , te možemo zaključiti da se te piljenice signifikantno razlikuju od piljenica primarnog modela.

Uz primjer 2.

Ovdje smo raspolagali podacima samo za primarni model.

Uočavamo da su zadnje dvije točke pale izvan vanjskih granica. To nismo očekivali. Varijanca nije dobro procijenjena. Ovdje se izgleda radi o nehomogenom statističkom skupu. Budući da je vremenski period uzimanja uzorka bio vrlo velik, moglo se desiti da u uzorak uđu dva bitno različita skupa piljenica.

U mogućnosti smo da to ispitamo testom.

Zadovoljit ćemo se, međutim, samo promatranjem kontrolne karte. »Očito« je da je prosjek debljina prvih 10 piljenica bitno veći od prosjeka drugih 10.

Ove podatke ne bismo mogli prihvatiti kao primarni model.

Uz primjer 3.

Početak karte — primarni model — je u redu, odgovara očekivanjima. U nastavku karte od 20 točaka njih 5 se nalazi ispod d. Iz tabele 7 možemo pročitati da je vrlo malo vjerojatno da se takav događaj desi.

Zaključujemo da prosječna debljina piljenica koje su unijete u nastavak kontrolne karte nije ista kao u primarnom modelu.

4.6. Još jedan aspekt kontrolnih karata — Another aspects of Control charts

Kvaliteta proizvoda, odnosno mjerena vrijednost obilježja X, određena je standardima. Označimo s T granice tolerancije u kojima se mora kretati X da bi standard bio zadovoljen. Označimo sa σ standardnu devijaciju podataka X.

Ako i samo ako je standard načinjen tako da postoji poznata veza između T i σ , tj. ako je T izračunat pomoću σ , onda možemo kontrolne karte konstruirati i pomoću T.

Ako je

$$T = K \cdot \sigma$$

gdje je K poznata konstanta, tada 95%-tne granice za kontrolnu kartu aritmetičkih sredina \bar{x} uzoraka od n mjerenja (slučajno odabranih!) možemo izračunati na slijedeći način:

$$GUG = \bar{x} + 1.96 \sigma_x$$

$$DUG = \bar{x} - 1.96 \sigma_x$$

kako je

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{T}{K \sqrt{n}}$$

to je

$$GUG = \bar{x} - \frac{1.96 T}{K \sqrt{n}}$$

$$DUG = \bar{x} + \frac{1.96 T}{K \sqrt{n}}$$

Ako više od 5% veličina x pada izvan navedenih granica, tada možemo reći da je proces izvan kontrole u smislu standarda.

Ovdje nam primarni model nije potreban, jer je varijanca zadana. Analogno se mogu izračunati i 99%-tne granice

$$GVG = \bar{x} + \frac{2.58 T}{K \sqrt{n}}$$

$$DVG = \bar{x} - \frac{2.58 T}{K \sqrt{n}}$$

Ako toleranca T nije izračunata pomoću varijance obilježja, onda se njome ne možemo služiti za izračunavanje kontrolnih (Naravno sa namjerom da se kontrola vrši metodama matematičke statistike).

5. OPTIMALIZACIJA PILJENIH TRUPACA UPOTREBOM ELEKTRONIČKIH RAČUNALA — OPTIMIZATION OF SAWN LOGS BY USE OF COMPUTERS

Trupac se aproksimira krnjim stošcem. Srednji promjer trupca je promjer na polovini njegove duljine. Pad promjera trupca je razlika promjera baza podijeljena sa duljinom (cm/m).

Raspiljivanjem trupca dobivaju se piljenice. Piljenica je približno kvadar koji ima debljinu, širinu i duljinu. Debljina i duljina piljenice su standardizirane. Postoji konačan broj standardnih duljina odnosno debljina.

Debljina piljenice se mjeri prema JUS-u na bilo kojem (dakle može i najtanjem) mjestu. Debljina piljenice je ona standardna debljina koja je najbliža mjerenoj debljini, ali nije veća od nje.

Duljina piljenice je ona standardna duljina koja je najbliža mjerenoj duljini umanjenoj za 2 cm, ali nije veća od te veličine (2 cm je nadmjera na duljinu). Sve standardne duljine su djeljive sa veličinom koju nazivamo »porast duljine«. Kod jelovih odnosno smrekovih piljenica ta je veličina ili 25 cm ili 10 cm.

Budući da su dvije susjedne standardne debljine 18 mm odnosno 24 mm to će npr. piljenica izmjerena na najtanjem mjestu 21 mm imati standardnu (obračunsku) debljinu 18 mm.

Uz porast duljine od 25 cm piljenica izmjerena 400 cm imat će duljinu 375 cm. Duljina $(400 - (375 + 2))$ cm = 23 cm je »izgubljena« za piljenicu.

Volumno iskorišćenje trupca je kvocijent volumena piljenica i volumena trupca.

Osim piljenica, raspiljivanjem trupca dobivamo piljevinu i krupni ostatak.

Trupci, piljenice, piljevina i krupni ostatak imaju vrijednost (poeni).

Vrijednosno iskorišćenje trupca je kvocijent vrijednosti piljevine, krupnog ostatka i piljenica i vrijednosti trupca.

Raspored pila nije moguće mijenjati za svaki trupac. Budući da se trupci razlikuju po debljini, padu promjera i duljini (osim po kvaliteti), to ih je prije raspiljivanja prikladno sortirati u grupe te s obzirom na tu grupu tražiti optimalan raspored. Trupci se uglavnom sortiraju po debljini. Pitanje je kolika mora biti širina razreda i da li ih sortirati i po padu promjera i duljini, i koliko fino? Željeli bismo formirati grupe koje će biti što je moguće manje varijabilne s obzirom na volumno odnosno vrijednosno iskorišćenje kod izvjesnih optimalnih rasporeda. Naravno da je potrebno voditi računa i o praktičnosti, jer je broj mogućih grupa na stovarištu ograničen.

Kako bi mogli odlučivati o načinu sortiranja potrebno je poznavati utjecaje spomenutih faktora na iskorišćenje. Nadalje, interesantno je poznavati koliko na iskorišćenje utječe propiljak i netočnost piljenja. Propiljak i netočnost piljenja se mogu naime smanjiti uz povećane troškove.

Zbog važnosti poznavanja tih utjecaja vršena su na tom području mnoga istraživanja kod nas i u svijetu.

Tim problemima bavimo se od 1977. godine. Rezultati do kojih smo došli tiskani su odnosno prikazani u više samostalnih radova, odnosno naučnih i stručnih sastanaka u zemlji i inozemstvu (Hitrec, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983; Brežnjak, 1979).

5.1. Jedan način određivanja optimalnih rasporeda pila na jarmačama — One method for determination of the optimum saw settings on frame saws

Problem — Problem

Različiti načini raspiljivanja jelovine daju u našim prilikama oko 60 do 70% kvantitativnog iskorišćenja trupaca. Danas kada je cijena sirovine sve veća i kada je najznačajnija u strukturi cijene koštanja građe, borba za svaki postotak njenog iskorišćenja postaje sve svrsishodnija.

Navedimo ilustracije radi neke pokazatelje. Proizvodnja pilanskih trupaca četinjača kreće se u Jugoslaviji oko 3,5 miliona m³ godišnje. Ako pretpostavimo da je prosječna cijena kubičnog metra jelove građe cca 10000 Din, tada možemo lako izračunati da svaki postotak trupaca koji se preporučuje u građu vrijedi za jugoslavensku pilansku proizvodnju cca 350 miliona Din. Većina autora iz zemalja u kojima je pilanska industrija počela upotrebljavati elektronske računare za poboljšanje iskorišćenja sirovine, navodi da se tim metodama postizava poboljšanje iskorišćenja od najmanje 5%. Na primjeru proizvodnje piljene građe iz četinjača vidimo da bi to iznosilo za Jugoslaviju 1750 miliona dinara godišnje.

Računajući sa 300.000 m³ trupaca jelovine koja se pili godišnje u Hrvatskoj dolazimo do odgovarajućeg iznosa za SRH. Poboljšanje iskorišćenja za 5% donosi pilanama u Hrvatskoj koje pile četinjače dodatni prihod od 150 miliona novih dinara.

Jasno nam je da je ta računica gruba i da joj nedostaju još neki ekonomski faktori koji utječu na vrijednost građe, no smatramo da je i takva dovoljno ilustrativna da ukaže na značaj istraživanja koja imaju za cilj da povećaju postotak iskorišćenja sirovine.

Značaj problema smo prikazali na primjeru četinjača jer trupci četinjača iznose cca 60% trupaca koji se u Jugoslaviji raspiljuju.

Današnji načini piljenja odnosno sastavljanja rasporeda pila na jarmačama dobrim su se dijelom bazirali na iskustvu. Svaka proizvodna organizacija koristila je određene rasporede za piljenje sirovine kojom je raspolagala i čija se struktura nije bitno mijenjala duže vremena. Naravno da je takav način sastavljanja rasporeda podlijegao subjektivnim ocjenama i nije mogao dati najbolje rezultate.

Međutim tokom posljednjih dvadesetak godina vršena su mnoga teoretska istraživanja za iznalaženje optimalnih rasporeda pila. Ovdje smatramo za potrebnim odmah naglasiti da je rezultat svakog od tih istraživanja bio sistem određivanja optimalnog rasporeda, kod čega »optimalno« treba smatrati u izvjesnom smislu, koji opeć ovisi o tome kako se problem promatra. Istraživanja iz tog područja možemo podijeliti u dva dijela:

a) Za trupac se pretpostavilo da je rotaciono tijelo (krnji stožac ili krnji rotacioni paraboloid). Za zadane dimenzije takvog tijela teoretskim putem nađen je raspored pila na jarmači koji daje najbolje kvantitativno iskorišćenje. Rasporedi su najčešće određivani, nama se čini dosta komplikovanim grafikonima (Titkov, 1955) ili izvjesnim pravilima odnosno formulama (Knežević, 1956). Jedan od nedostataka takvog pristupa rješavanju problema optimalizacija iskorišćenja je ograničena mogućnost tabeliranja, odnosno grafičkog prikazivanja rezultata. Drugim riječima, raspodjela ulaznih podataka u takvim tabelama nije dovoljno fina. Tabele su rađene samo za izvjesne kombinacije promjera na tanjem kraju, pada promjera i duljine trupca. Koliko je važna finoća raspodjele ulaznih podataka vidljivo je iz izvjesnih istraživanja. D. F. Šapiro je prema navodima Kneževića (1956) — pokazao da kod istih promjera trupca na tanjem kraju duži trupac daje procentualno manje iskorišćenje od kraćeg trupca. Uzme li se za standardnu dužinu trupca 6,5 m tada se za svakih 0,5 m dužine otklona na više ili manje mijenja procent iskorišćenja za prosječno 0,65% na manje odnosno više. Knežević (1955) navodi da se za promjenu pada promjera od $\pm 0,2$ cm/m iskorišćenje prosječno mijenja za $\pm 0,25\%$ uz konstantne ostale uvjete.

Prema Titkovu (1955) dolazi do smanjenja iskorišćenja za 0,3% do 0,5% ako se na jarmači pile trupci po rasporedima koji su predviđeni za promjere koji se od njih razlikuju za ± 2 cm. Vlasov prema Kneževiću (1956) ističe još značajniji utjecaj sortiranja trupaca. On tvrdi da za promjenu prosječnog promjera od ± 2 cm sniženje iskorišćenja može biti i do 1,4%.

Drugi nedostatak tih metoda o kojima govore i sami autori je dosta nesigurno prenošenje svojstva optimalnosti rasporeda dobivenog na bazi nestandardiziranih (proizvoljnih) debljina na raspored koji daje »najbliže standardne debljine« (npr. Knežević, 1954).

Koliko je nama poznato sve te metode sastavljanja rasporeda pila vode računa o nadmjerama zbog utezanja, no ne i o razlikama između tangencijalnog i radijalnog utezanja. Većina autora uzima postotak utezanja kao linearnu funkciju širine odnosno debljine piljenice, što nije dovoljno tačno.

U tim istraživanjima nije se vodilo računa o nadmjerama na netočnosti piljenja i vrlo je malo rečeno o kvalitativnom odnosno kompleksnom vrijednosnom iskorišćenju.

Što se tiče zakrivljenosti debela i eliptičnosti presjeka daju se instrukcije bazirane na empiriji. Tako Titkov (1955) navodi mogućnost rezanja po krivini ili prepiljivanje trupca u dva dijela, dok Knežević (1956) navodi da duža os eliptičnog presjeka trupca mora biti kod raspiljivanja postavljena horizontalno.

Od svih istraživanja iz te grupe izdvojili bismo dva.

Kao prve autore Karnauhova i Eljkin (1960) koji su izdali Album rasporeda za propiljivanje trupaca za građevinske sortimente. Taj album za zadane dimenzije trupca daje nekoliko mogućih rasporeda sa popisom i volumenom građe koja se time dobiva te postotkom kvantitativnog iskorišćenja dotičnog trupca. Spominjemo taj rad jer je kao što će se kasnije vidjeti blizak našoj ideji o optimalizaciji.

Sasvim nov pristup problemu dao je Kugler (1965), koji ne traži optimalno kvantitativno iskorišćenje trupca, već polazi od pretpostavke da pilana mora piliti prema neposrednoj narudžbi kupca koji zahtijeva određenu količinu određenih sortimenata. Metodom linearnog programiranja Kugler rješava problem koliko kakvih trupaca treba raspiliti da bi se izradila tražena količina traženih sortimenata a da se kod toga utroši najmanje materijala. Sa stanovišta problema zadovoljenja tržišta ta je metoda primjenljiva i korisna. Očito je međutim da u tome nedostaje i kalkulacija troškova, jer će pilana za takvu narudžbu morati zaračunati više, između ostalog i zbog toga što trupce koje je raspilila nije raspilila (svakog zasebno) na optimalan način (bez obzira na narudžbu) u smislu volumnog i vrijednosnog iskorišćenja.

Sve navedene metode, iako u svoje doba vrijedne, nedovoljno su točne i nedovoljno fleksibilne s obzirom na potrebe suvremene pilanske industrije i suvremenih mogućnosti računanja rasporeda pila sa stanovišta ne samo kvantitativnog već i kvalitativnog i vrijednosnog iskorišćenja trupaca.

b) Do novih, boljih piljenja pokušalo se doći i eksperimentalno. Točnije rečeno istraživač bi zamislio određen način piljenja, te bi eksperimentalnim piljenjem pokušao dokazati ili oboriti tvrdnju da je taj novi način bolji (u izvjesnom smislu) od prethodnih. Budući da se eksperimentalno piljenje ne može provesti sa svakim strogo definiranim trupcem (vrsta drva; promjer, pad promjera, kvaliteta, dužina) pojavljuje se kod takvih metoda problem generalizacije zaključka. Naime, novu metodu možemo smatrati boljom samo za takve trupce iz kojih je izdvojen slučajni uzorak za eksperimentalno piljenje.

Osim toga, pri tom se pojavljuje i problem uzimanja dovoljno velikog uzorka, organizacijske i druge teškoće oko ekzaktne izmjere i prikupljanja potrebnih podataka te velikih troškova oko sprovođenja naučno fundiranih probnih piljenja. Nema međutim nikakve sumnje da će se probna piljenja i dalje provoditi i da će njihova vrijednost biti velika, no ona će dobiti više funkciju provjera i dopune rezultata teoretskih istraživanja na području optimalizacije iskorišćenja u pilani.

Razvojem elektronskih računara otvaraju se nove mogućnosti u pronalazanju boljih načina piljenja. To tim više što je elektronski računar po svojoj cijeni već danas dostupan svakom poduzeću. Prednost elektronskog računara je u praktički neograničenim mogućnostima variranja načina piljenja i simuliranja eksperimenta bilo da se radi o raznim rasporedima pila u jarmači bilo da se radi o variranju karakteristika trupaca. Ako je priključen na primarni stroj zajedno sa odgovarajućim uređajima

elektronski računar može u dovoljno kratkom vremenu ocijeniti karakteristike svakog trupca posebno i izračunati najbolji mogući raspored na jarmači uzevši u obzir i ograničenja koja vrijede za brzu promjenu rasporeda, odnosno najpogodniji prvi rez ako se radi o tračnoj pili.

Već je Hallock (1970) nagovijestio velike mogućnosti koje pružaju elektronička računala u pronalaženju boljih načina piljenja u smislu poboljšanja iskorišćenja, dok Breznjak (1975) ispituje poboljšanja iskorišćenja trupaca automatskim podešavanjem dvostruke kružne pile. Hallock prikazuje i mogućnosti detektiranja grešaka na piljenicama te prenošenje tih podataka u kompjuter koji tada određuje način krojenja. Pliessing i Sondermann navode podatak da se piljenjem deblovine i piljenjem trupaca pomoću kompjutera, uz pomoć određenih senzora, za određivanje parametara trupaca relevantnih za njegovo raspiljivanje, iskorišćenje povećava za 3,1%. Oni već tada daju kibernetički model kretanja informacija i donošenja odluka za elektronsko vođenje prerade trupaca.

U USA je izrađen program za elektronski računar nazvan BOF (Best Opening Face, što bi u slobodnom prijevodu značilo »najbolje otvaranje trupca«), koji na temelju karakteristika trupca (promjer, pad promjera i duljina) daje optimalan način »otvaranja« trupca. Kasnije se taj program podvrgava daljnjem istraživanju koje vodi računa o zakrivljenosti trupaca (Hallock, 1976; Leslie). U razvijenim zemljama je problem »najboljeg otvaranja trupaca« već riješen i sada se intenzivno radi na preciznom određivanju svojstva (ne samo dimenzija) trupca neposredno prije njegovog raspiljivanja. To je druga faza upotrebe kompjutera u preradi oblovine. Kako je ipak još daleko dan kada ćemo zaista za svaki trupac moći odrediti baš njemu pripadni raspored, nastojanja su uperena u grupiranje trupaca prema izvjesnim svojstvima. U tim istraživanjima dolaze do izražaja teorijske pretpostavke odnosno teorijski raspored pila *zajedno* sa eksperimentalnim piljenjem. Metodama simulacije na kompjuterima možemo provesti (simulirati) eksperimente brzo i jeftino, te rezultate dobivene eksperimentom usporediti sa teoretskim (Maun, 1977; Pneumatics, 1973).

Istraživanjima u PRL (Princes Risborough Laboratory) postignuta je 98%-tna podudarnost između simuliranog i faktičnog piljenja (News of timber research from PRL, 1976). To dozvoljava da se za piljenje pojedinih grupa trupaca određuju najbolji načini piljenja metodom simulacije.

Elektronski računar dakle omogućuje da se za svaki točno definirani trupac odredi optimalan raspored pila s obzirom na kvantitativno odnosno kompleksno vrijednosno iskorišćenje, vodeći računa o dimenzijama i kvaliteti građe koju možemo, odnosno želimo dobiti. Takav pristup problemu ima naročito smisla kada znademo da već danas postoje jarmače sa djelomičnim podešavanjem razmaka pila za svaki trupac, dakle sa mogućnošću »brze reakcije«.

Niz autora navodi problem korišćenja kompjutera i sa ekonomske strane. Svi su ti izvještaji pozitivni u smislu ekonomičnosti upotrebe kompjutera. Navode se podaci (Maun, 1977) (Leslie) da se investicije u kompletnu opremu u srednjoj pilani (20.000 m³ godišnje) rentira za jednu do

dvije godine. Lewis (1978) je u referatu, održanom 1978. godine u Münchenu na Interforstu, iznio podatak da je upotrebom kompjuterskog određivanja načina piljenja u nekim pilanama u USA iskorišćenje povećano 10 do 15%.

Istraživanja su nastavljena i danas već mnoge zemlje raspolažu metodama i programima za optimalno korišćenje trupaca na pilanama.

Rangiranje rasporeda pila s obzirom na volumno iskorišćenje — Ranging of saw settings in respect to the quantity yield

Budući da je zbog tehnoloških uvjeta i propisa standarda mogući broj rasporeda konačan (čak niti ne naročito velik broj), to se javlja logična ideja da između mogućih rasporeda odaberemo najbolji.

U tu svrhu je potrebno poznavati moguće rasporede i moći izvršiti procjenu što koji od odabranih rasporeda može dati (piljenice, piljevinu i krupni ostatak). Moguće rasporede poznajemo jer su više manje određeni standardima, tehnološkim mogućnostima, a i iskustvo je uzrok izvjesnim ograničenjima. Kasnije će se vidjeti da broj mogućih rasporeda možemo praktički proizvoljno proširiti sa svim rasporedima za koje možemo smatrati da ih ima smisla »isprobati«.

Kao prvi kriterij optimalnosti odabrali smo volumno iskorišćenje trupca drva jele ili smreke.

Potrebno je dakle za svaki trupac izračunati volumen građe koju daje pojedini od odabranih rasporeda. Taj postupak nije jednostavan. Za njega smo načinili program za elektronski računar i nazvali ga RARAVO (RAn-giranje RAsporeda prema VOLumnom iskorišćenju).

Tom metodom osim najboljeg rasporeda dobivamo i položaj ostalih rasporeda u rangiranom nizu s obzirom na volumno iskorišćenje. Takva informacija svakako olakšava neposredni izbor (Iako je volumno iskorišćenje vrlo važan faktor ipak na izbor rasporeda kojim će se piliti utječu i drugi faktori)..

Program je pisan u FORTRANU, a preveden je i na BASIC.

Navest ćemo ULAZ i IZLAZ za program RARAVO

ULAZ: Podaci o trupcu, podaci o građi, širina rasiljka na jarmači, skup od N rasporeda zadanih u nominalnim debljinama odnosno širinama piljenica, dozvoljeni postotak građe ispod nominalne debljine, varijabilnost debljine građe uzrokovana netočnošću piljenja, širina rasiljka kružne pile krajčarice, širina rasiljka kružne pile rubilice, broj KNR koliko rasporeda želimo ispisati rangiranih prema volumnom iskorišćenju.

IZLAZ: Podaci o trupcu, podaci o građi, količina i struktura dobivene građe, postotak volumnog iskorišćenja, raspored dan bez nadmjera, raspored dan sa nadmjerom na utezanje i netočnost piljenja, struktura građe prema dužinskim grupama, volumen i postotak dobivene piljevine, volumen i postotak usuha, volumen i postotak izgubljen zbog netočnosti piljenja, volumen i postotak krupnog ostatka, rekapitulacija koja sadrži KNR — rasporeda ispisanih redom prema veličini volumnog iskorišćenja.

Rangiranje rasporeda pila s obzirom na vrijednosno iskorišćenje —
Ranging of saw settings in respect to the value yield

Uz maksimalno volumno iskorišćenje za kriterij optimalnosti može se odabrati i vrijednosno iskorišćenje trupca.

Piljenice, piljevina i krupni otpad imaju cijenu. Piljenice se sortiraju u dužinske grupe. Grupa u kojoj se nalazi piljenica također određuje njezinu cijenu.

Interesantno je dakle promatrati vrijednosti dobivenih proizvoda koje pripadaju trupcu raspiljenom različitim rasporedima. Program koji je u tu svrhu načinjen nazvali smo RAVIDI (RANGiranje prema Vrijednosnom iskorišćenju s obzirom na Dimenzije piljene građe). Program je također pisan u FORTRANU i preveden na BASIC. Za razliku od programa RARAVO ovdje se kao ulazni podaci pojavljuju i podaci o cijenama piljenica (prema dužinskim grupama), piljevini i krupnog otpada. U IZLAZU su rasporedi rangirani prema vrijednosti i ispisane su vrijednosti pojedine vrste produkata piljenja.

Matematičke osnove programa RARAVO — Mathematical bases of the RARAVO program

Osim ostalih koristit ćemo i slijedeće oznake.

2d = VISP — visina prizme

L = ITL — duljina trupca

R — polumjer veće baze

r — polumjer manje baze

PP = (2R-2r)/L — pad promjera trupca

c — udaljenost vanjske strane piljenice od osi trupca

K = PP/2

B — duljina piljenice

A — širina piljenice u prosušenom stanju

à — širina piljenice u vlažnom stanju

D₀ — standardna debljina piljenice (u prosušenom stanju) (nominalna debljina)

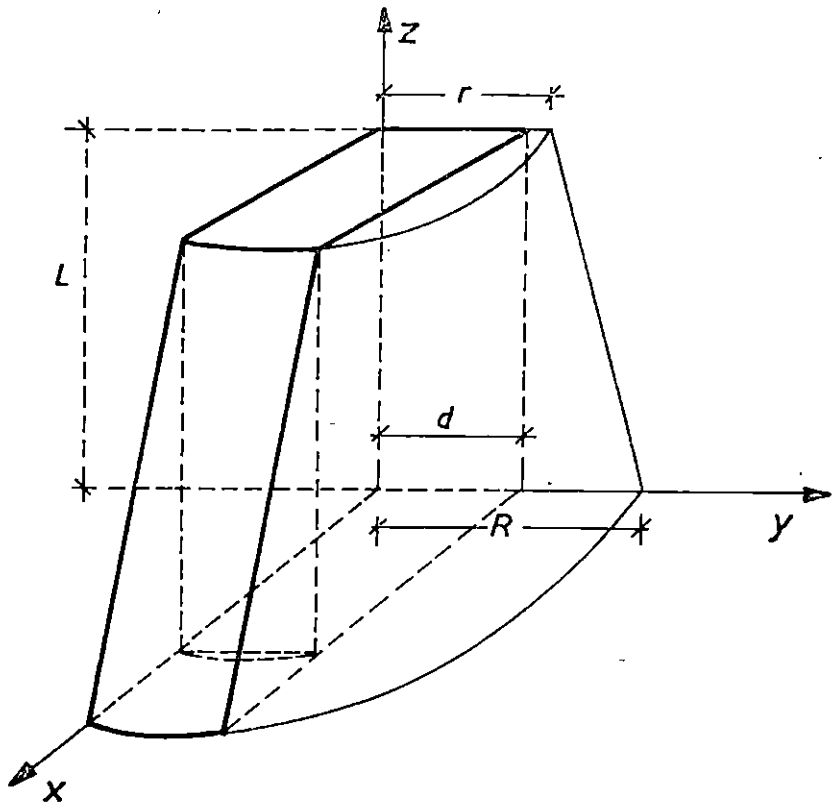
Prizma — Prism

Volumen prizme dat je izrazom

$$v = 4 \int_0^d dy \int_0^{\sqrt{r^2-y^2}} Ldx + 4 \int_0^d dy \int_0^{\sqrt{r^2-y^2}} \frac{L}{R-r} (R - \sqrt{x^2 + y^2}) dx$$

Izračunamo li taj integral dobit ćemo formulu za volumen prizme

$$V = \frac{4}{PP \cdot 10000} \left(F\left(\frac{d}{R}\right) - F\left(\frac{d}{r}\right) - G\left(\frac{d}{R}\right) + G\left(\frac{d}{r}\right) \right) m^3,$$



Sl. — Fig. 9. Četvrtina prizme — A quarter of a prism

gdje je

$$F(x) = \frac{1}{2} \left(\frac{d}{x} \right)^3 (\arcsin x + x \sqrt{1-x^2})$$

$$G(x) = \frac{d^3}{3} \ln(R \sqrt{1-x^2} + R) + R^3 \left(\frac{1}{6} \arcsin x - \frac{1}{6} x \sqrt{1-x^2} - \frac{1}{9} x^3 \right)$$

$$PP = \frac{L}{2(R-r)} \text{ m/cm}$$

Utezanje zbog usušivanja — Shrinkage due to drying out

Trupci se raspiljuju sa postotkom relativne vlage većim od onog gdje počinje utezanje drva. Piljenice se suše do vlažnosti 20% te se kod toga utežu po širini i debljini. Zakonitost po kojoj se dimenzije smanjuju tokom

sušenja nije dovoljno istražena (ovisi o drvu i drugim faktorima), te smo se poslužili podacima standarda SSSR-a (GOST 6782—58, 1961). Empirijske podatke koji su dani tabelarno izjednačili smo pravcem. Ako sa y označimo dimenziju u sirovom (vlažnom) stanju, a sa x dimenziju u prosušenom stanju (vlažnost 20%), tada je veza između tih veličina dana jednadžbom

$$y = 1,0237 x + 0,29$$

Model pretpostavlja funkcionalnu vezu, iako je jasno da je veza stohastička. No, sve dok ne budu izvršena potrebna istraživanja, morat ćemo se time zadovoljiti.

Netočnost piljenja — Sawing inaccuracy

Ako je poslije raspiljivanja debljina piljenice u sirovom stanju označena sa D , tada je D slučajna varijabla normalno distribuirana $D:N(E(D), VAR(D))$. Standardna devijacija varijabla D je mjera rasipanja dimenzija piljenice zbog netočnosti piljenja. Ta je varijabilnost kod nas već dosta istražena te rezultate tog istraživanja možemo koristiti.

Nadmjera na netočnost piljenja i utezanje u širinu — Overmeasure due to sawing inaccuracy and shrinkage in width

Razmak između pila moramo zadati sa nadmjerom kako bismo poslije raspiljivanja i usušivanja postigli standardnu (željenu) debljinu D_0 .

Debljina vlažne piljenice je slučajna varijabla (varijabilnost je uzrokovana netočnošću piljenja) $D:N(E(D), VAR(D))$. Debljina piljenice u prosušenom stanju je također slučajna varijabla $D':N(E(D'), VAR(D'))$.

Vrijedi

$$D = 1,0237 D' + 0,29$$

odnosno

$$E(D) = 1,0237 E(D') + 0,29.$$

Budući da prema standardu mora vrijediti

$$P(D' < D_0) = 0,1,$$

to proizlazi

$$P(U < U_0) = 0,1,$$

gdje je

$$U_0 = \frac{D_0 - E(D')}{\text{SQR}(VAR(D'))}, \quad U;N(0; 1),$$

odnosno

$$U_0 = -1,28.$$

Nakon sređivanja dobivamo

$$E(D) = 1,0237 D_0 + 0,29 + 1,28 \text{ SQR}(\text{VAR}(D)).$$

Veličina $E(D)$ je razmak koji moramo postaviti između pila, pa da uz zadane uvjete 10% piljenica bude tanje od nominalne debljine D_0 .

Svaki raspored zadan u nominalnim debljinama je gornjom' jednadžbom transformiran. Tako npr. želimo li iz trupca dobiti piljenice

$$4/22 \qquad 1/45 \qquad 2/22 \qquad R/16,$$

na jarmači ćemo postaviti raspored ($\text{VAR}(D') = 0,2$)

$$4/23,1 \qquad 1/4,6 \qquad 2/23,1 \qquad R/16,9.$$

Optimalno krojenje piljenice — Optimal lumber cutting

Podsjetimo se da pretpostavljamo da je trupac krnji stožac. Smjestimo li vrh stošca u ishodište koordinatnog sustava tada je jednadžba tog stošca

$$z = \frac{L}{R-r} \sqrt{x^2 + y^2}$$

Siječemo li stožac ravninom $y = c$, dobit ćemo u ravnini XOZ presjek iz kojeg moramo iskrojiti piljenicu.

Jednadžba tako dobivenog presjeka je hiperbola

$$z = \left(\frac{L}{R-r} \right) \sqrt{(x^2 + c^2)}$$

Duljini piljenice b odgovara širina a prema relaciji

$$a = 2 \sqrt{(R - Kb)^2 - c^2} \qquad K = \frac{R-r}{L}.$$

Površina piljenice u vlažnom stanju je

$$P = a \cdot B$$

Maksimalni volumen imat će ona piljenica koja ima maksimalnu površinu

$$P = A \cdot B$$

Postupak određivanja vrijednosti a i B za koje je P maksimum izvodi se tako da se za svaku moguću duljinu piljenice (uzetom sa nadmjerom na dužinu od 0,02 m) izračuna pripadna širina. Dobivena širina se utegne prema zakonima utezanja i zaokruži na više ili na niže te se dobije širina stranice u prosušenom stanju.

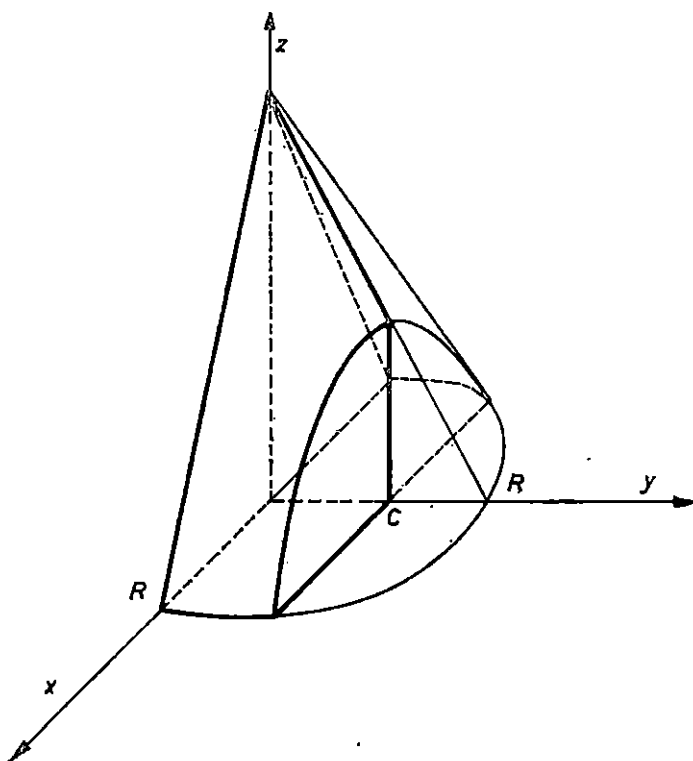
Postupak se nastavlja, dok se ne iscrpu sve moguće duljine za taj presjek. Duljina B i pripadna širina A kod kojih je površina najveća su optimalne dimenzije piljenice.

Piljevina — Saw dust

Volumen piljevine računat je nešto drugačije nego što je to običaj u pilanskim istraživanjima. Niz aproksimacija kojima se obično služimo, ovdje nismo morali upotrijebiti jer komplicirani matematički izrazi nisu problem za elektronski računar.

Prikazat ćemo način računanja piljevine piljenjem dasaka čija je udaljenost od osi trupca jednaka c .

Za računanje volumena piljevine prvo smo izveli formulu za volumen dijela stošca radiusa baze R , visine $L + \frac{1}{K}r$ omeđenog ravninom koja prolazi kroz njegovu os te njoj paralelnom ravninom na udaljenosti c od osi. Slika 10.



Sl. — Fig. 10. Dio stošca potreban za računanje volumena piljevine — A part of cone necessary for calculation of saw dust quantity

Kako je jednadžba tog stošca

$$Z = \frac{1}{K} (R - \sqrt{x^2 + y^2}),$$

to je traženi volumen

$$FOS(c, R) = \frac{2}{K} \int_0^c \sqrt{R^2 - y^2} \int_0^{\sqrt{R^2 - y^2}} (R - \sqrt{x^2 + y^2}) dx.$$

Riješimo li taj integral dobivamo izraz

$$FOS(c, R) = (2Rc \sqrt{R^2 - c^2} + R^3 \arcsin \frac{c}{R} - c^3 \ln \left(\frac{R}{c} + \sqrt{\left(\frac{R}{c} \right)^2 - 1} \right)) \frac{200}{3PP}.$$

Ako je dimenzija pada promjera PP jednaka cm/m tada je dimenzija volumena FOS jednaka kubu dimenzija koje imaju veličine c odnosno R.

Ako se radi o centralnoj zoni rasporeda pila tj. ako je udaljenost X vanjskog ruba propiljka od osi trupca manja od manjeg radiusa trupca, tada je volumen takvog propiljka jednak

$$VOL(X, R, r, c) = FOS(X, R) - FOS(X, r) - FOS(c, R) - FOS(c, r).$$

Izradom jedne prizme iz trupca dobivamo volumen piljevine

$$PILJ = 2 \cdot VOL(d + PR, R, r, d)$$

gdje je PR širina propiljka na jarmači.

Propiljak na jarmači — Saw kerf on frame saws

Izradom dviju prizama iz trupca dobivamo volumen piljevine

$$PILJ = 2(FOS\left(\frac{PR}{2}, R\right) - FOS\left(\frac{PR}{2}, r\right) + VOL\left(D + \frac{3}{2} PR, R, r, D + \frac{PR}{2}\right))$$

Budući da svaku piljenicu dobivenu na prvoj jarmači okrajčujemo, računali smo piljevinu dobivenu okrajčivanjem. Tako dobivena piljevina ovisi o duljini i debljini piljenice i o veličini propiljka na krajčarici.

$$CGD = \sqrt{R^2 - c^2},$$

tada za slučajeve od a. do e. vrijedi:

a.	$c < CG$	$T > ITL$
b.	$CG < c$ $r < CGD$	$T > ITL$
c.	$r < c < CGD$	$T < ITL$
d.	$CGD < c < r$	$T > ITL$
e.	$CGD < c$	$T < ITL$

Simulaciju piljenja provodimo na način da počevši od osi trupca prema njegovoj periferiji »vadimo« piljenicu po piljenicu. Debljine tih piljenica definirane su zadanim rasporedom pila, a postupak se nastavlja sve dok se iz preostalog dijela trupca može »izvaditi« piljenica odgovarajuće debljine i ostalih dimenzija.

Svakoj piljenici koja je dobivena na udaljenosti c od osi trupca odnosno prizme odgovara barem još jedna takva piljenica. Ako su na prvoj jarmači bile proizvedene dvije prizme i ako na drugoj jarmači postoji jedna piljenica na udaljenosti c od osi, tada postoje još tri isto takve piljenice.

U ovom pregledu računanja piljevine pokazat ćemo kako se računa piljevina za piljenice dobivene na udaljenosti c od osi prizme.

a. Piljevina iz dijela prizme gdje nema rubljenja niti krajčenja izračunata je tako da je površina piljenice pomnožena sa veličinom propiljka

$$PILJ = 2(\text{duljina} + 2 \text{ cm}) (\text{debljina}) (\text{propiljak na krajčarici})$$

a) Ako je

$$c + PR < r,$$

$$PILJ = VOL(c + PR, R, r, c).$$

b) Ako je

$$c + PR > r,$$

$$PILJ = FOS(c + PR, R) - FOS(c, R).$$

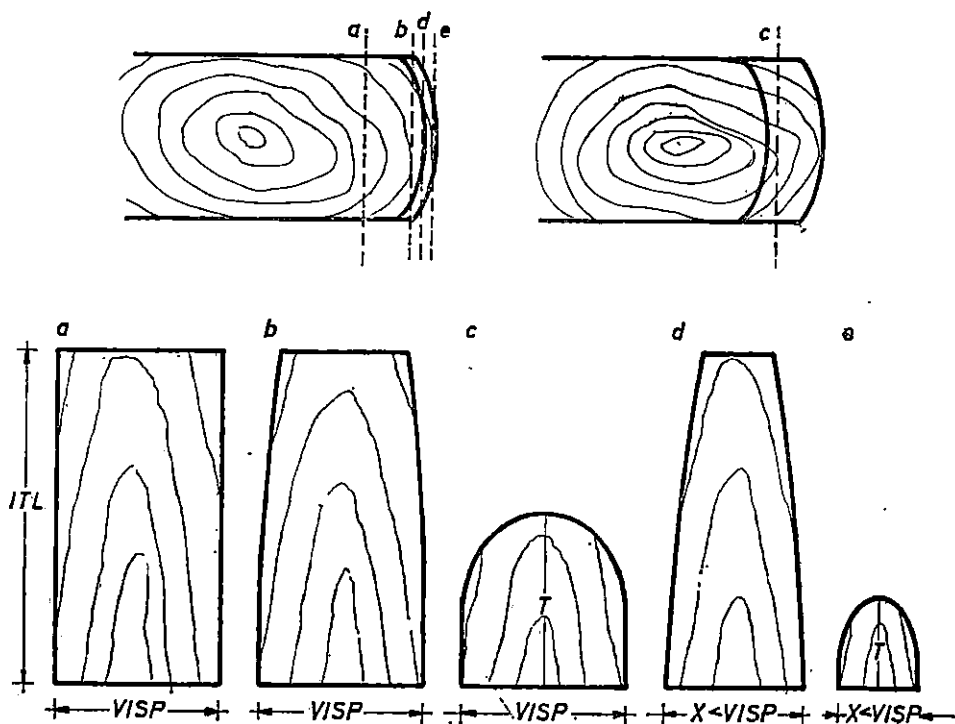
Konačno, ako je duljina piljenice manja od duljine trupca piljenica se porubljuje te se dobiva piljevina

$$PILJ = (\text{širina}) \cdot (\text{debljina}) \cdot (\text{propiljak na rubilici})$$

I kod rubljenja i kod krajčenja zanemarili smo dio piljevine dobiven prolaskom pile kroz lisičavi dio piljenice.

U slučaju kada se ne pili prizmiranjem već u cijelo postupak je analogan ovom koji je iznesen, samo što se ne radi o prizmi odnosno prizma-
ma već o jednoj odnosno dvije centralne piljenice.

Piljevinu dobivenu raspiljivanjem prizme računali smo uzevši u obzir pet mogućih slučajeva položaja reza. Shematski su ti slučajevi prikazani na slici 11.



Sl. — Fig. 11. Različiti slučajevi položaja reza — Various cases of cutting position

Označimo sa T visinu tjemena hiperbole koja se dobiva presjekom stošca, čiji je trupac jedan dio. Označimo li nadalje

$$CG = \sqrt{r^2 - c^2}, \text{ odnosno}$$

$$PE = (\text{dužina} + 2 \text{ cm}) \cdot (\text{širina}) \cdot (\text{propiljak}).$$

Tako dobiven volumen treba još pomnožiti sa brojem rezova koji imaju površinu spomenute piljenice. Na drugoj se jarmači mogu, kao rezultat piljenja na prvoj jarmači, pojaviti dvije ili jedna prizma. Svaka od tih prizama može se piliti sa neparnim ili parnim rasporedom. Kod parnog rasporeda potrebno je razlikovati da li su piljenice u centru ili nisu.

Označimo sa

- $I01 = 1$ jedna prizma na prvoj jarmači
- $I01 = 2$ dvije prizme na prvoj jarmači
- $I02 = 1$ neparan raspored na drugoj jarmači
- $I02 = 2$ paran raspored na drugoj jarmači.

Broj rezova ćemo označiti sa KOM i dati pregledno slučajeve koji se mogu pojaviti

	I01	I02	KOM
	1	2	2
	2	1	4
centralne piljenice	1	2	3
	2	2	6
piljenice izvan centra	1	2	2
	2	2	4

Piljevina dobivena u slučaju a. je dakle

$$PILJ = KOM \cdot PE$$

Za izračunavanje volumena piljevine dobivene u slučajevima od b. do e. potrebna nam je površina ispod presjeka stošca ravninom paralelnom sa njegovom osi. Smjestimo li stožac čiji je nagib izvodnice jednak $1/K$ u vrh koordinatnog sustava, tada je jednačba hiperbole koja je presjek tog stošca na udaljenosti c od osi

$$K^2z^2 = c^2 + x^2,$$

Udaljenost po osi od vrha stošca do kruga (baze trupca) radiusa R iznosi R/K . Slika 12.

$$POT(x_1) = \frac{2}{K} \int_0^{x_1} \sqrt{c^2 + x^2} dx$$

Riješimo li taj integral dobivamo

$$POT(x) = \frac{200}{pp} (x \sqrt{x^2 + c^2} + c^2 \ln(x + \sqrt{x^2 + c^2}) - c^2 \ln c)$$

Uz pomoć funkcije $POT(x)$ izrazili smo površine od b. do e. prikazane na slici 12 i slikama 13b, 13c, 13d i 13e.

U svim slučajevima od a. do e. volumen piljevine izračunava se kao

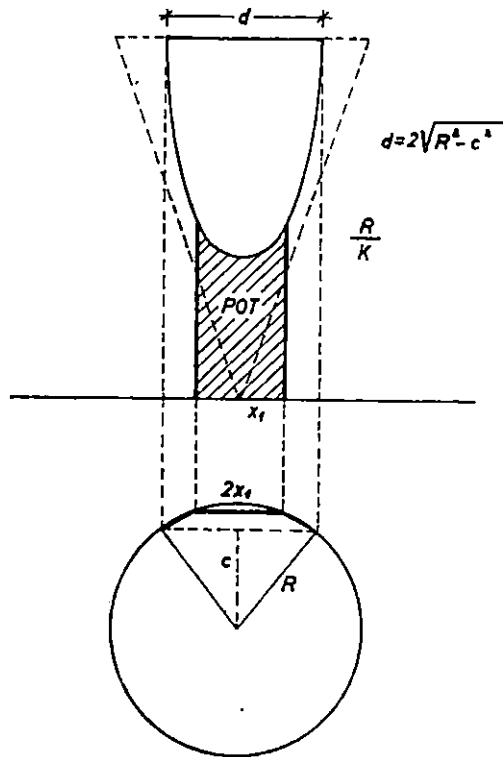
$$PILJ = POV \cdot PR - (I01 - 1) \cdot PR^2$$

Ako je duljina dobivene piljenice manja od duljine trupca, piljevini dobivenoj na jarmači dodajemo piljevinu zbog rubljenja:

$$PILJ = 2 \cdot I01 (\text{širina}) \cdot (\text{debljina}) \cdot (\text{propiljak na rubilici})$$

Konačno, ako je dobivena piljenica uža od visine prizme tada dobivenoj piljevini moramo dodati još piljevinu zbog krajčjenja

$$PILJ = 4(\text{duljina piljenice}) \cdot (\text{debljina piljenice}) \cdot (\text{propiljak na krajčarici})$$



Sl. — Fig. 12. Površina POT (x), pomoću koje se računa volumen piljevine —
The area POT (x), by which the saw dust quantity is calculated

Gubici zbog utezanja — Losses due to shrinkage

Volumen piljenice je

$$V = A \cdot B \cdot D$$

gdje je

- A širina piljenice,
- B duljina piljenice,
- D debljina piljenice.

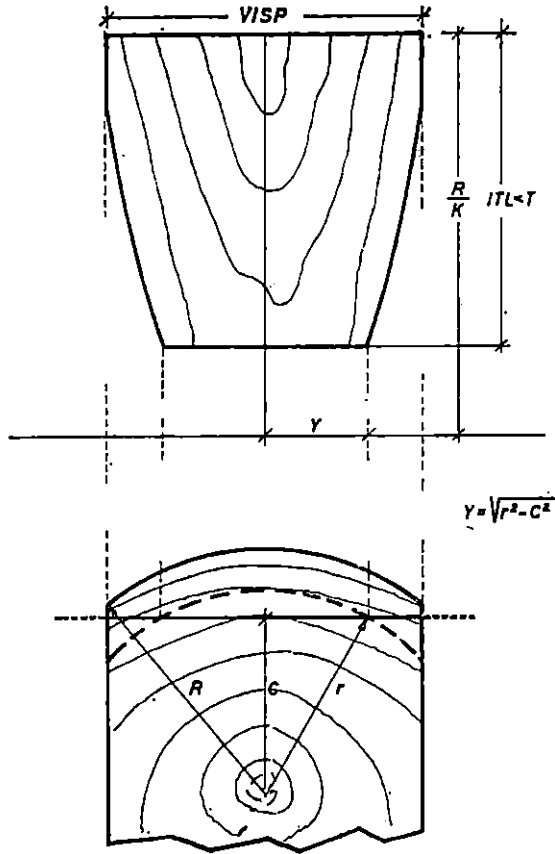
Volumen piljenice u vlažnom stanju je

$$V + \Delta V = (A + \Delta A) (D + \Delta D) \cdot B,$$

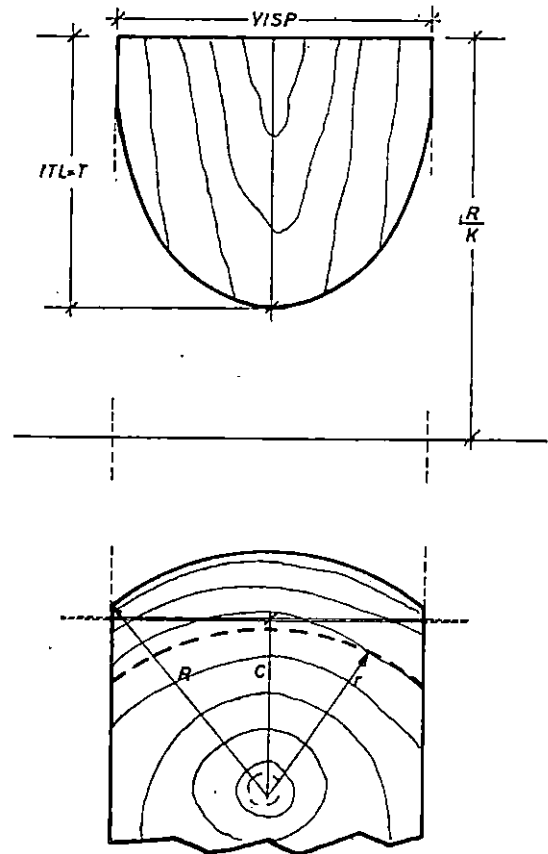
gdje je

$$\Delta A = 1,0237A + 0,29 - A, \quad i$$

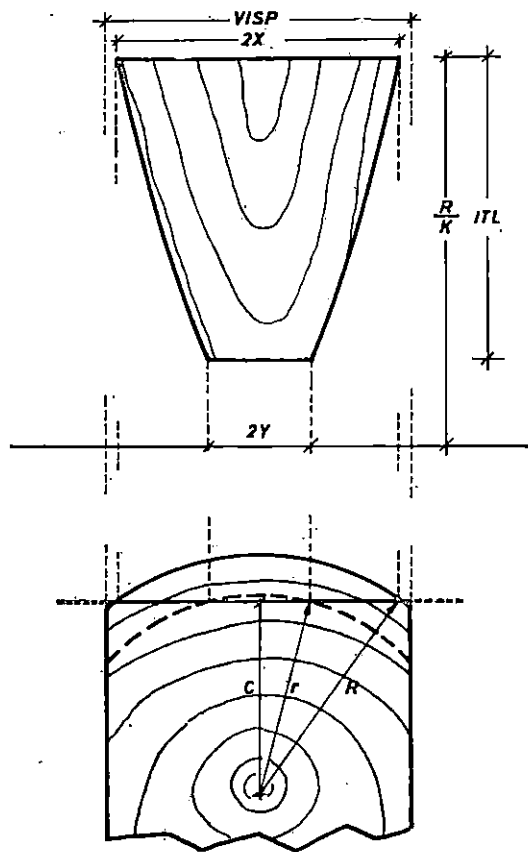
$$\Delta D = 1,0237D + 0,29 - D.$$



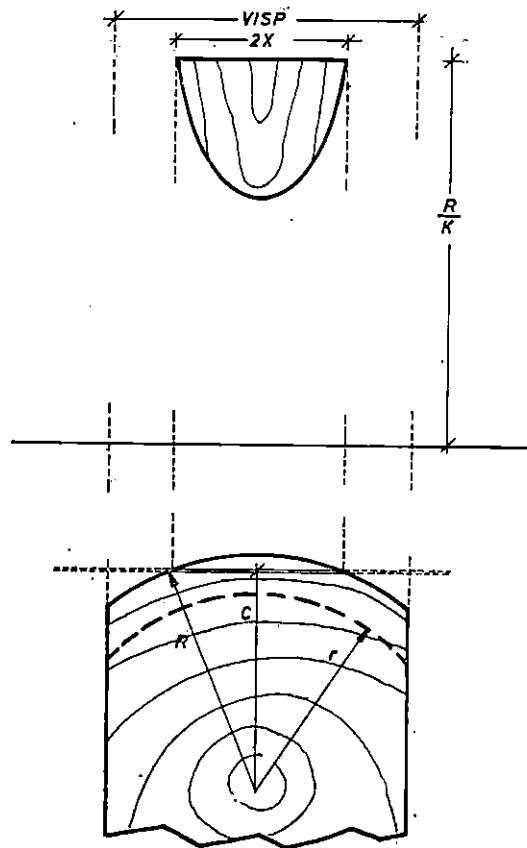
Sl. — Fig. 13b. Površina presjeka za slučaj b. sa slike 11 — The area of the section for the case b. in the fig. 11



Sl. — Fig. 13c. Površina presjeka za slučaj c. sa slike 11 — The area of the section for the case c. in the fig. 11



Sl. — Fig. 13d. Površina presjeka za slučaj d. sa slike 11 — The area of the section for the case d. in the fig. 11



Sl. — Fig. 13e. Površina presjeka za slučaj e. sa slike 11 — The area of the section for the case e. in the fig. 11

Razlika ΔV je približno jednaka totalnom diferencijalu funkcije V ;

$$dV = \frac{dV}{dA} \Delta A + \frac{dV}{dD} \Delta D,$$

odnosno

$$dV = B D \Delta A + A D \Delta D.$$

Gubitak zbog usuha jednak je dakle

$$USUH = \Sigma dV,$$

gdje se sumacija provodi preko svih dobivenih piljenica.

Gubici zbog nadmjere na netočnost piljenja — Losses due to overmeasure on sawing inaccuracy

Istraživanja koja su vršena u vezi točnosti piljenja na primarnim strojevima pokazala su da su varijabilnosti debljina piljenica poslije piljenja na jarmači toliko značajne da o tome treba voditi računa kod uzimanja nadmjera zbog postizavanja željene debljine. Te varijabilnosti ovise o vrsti drva, o stroju na kojem se pili, kao i o nekim drugim faktorima. Kod nas su istraživanja o faktorima koji utječu na točnost piljenja vršena i u literaturi se mogu naći podaci o varijabilnosti debljine piljenica uzrokovanoj netočnosti piljenja.

U ovom su radu korišćeni rezultati Brežnjaka i Heraka (1970).

Kako bi izbjegli pojavu da prevelik broj piljenica ima debljinu manju od propisane standardom, a do čega može doći zbog netočnosti piljenja, pridu na usuh smo dodali i prid na netočnost.

Ako standard dozvoljava da 100% piljenica ima debljinu manju od nominalne, te ako označimo standardnu devijaciju debljina uzrokovanu netočnosti piljenja sa $VAR(D)$, tada ćemo smatrati da je prid na netočnost piljenja jednak

$$u_0 \cdot SQR(VAR(D)),$$

gdje je u_0 takva vrijednost standardizirane normalne varijable za koju je

$$P(U < u_0) = a.$$

Prid na netočnost piljenja smo »algebarski« dodali pridu na usuh iz razloga koji su već navedeni.

Volumen trupca koji se gubi zbog nadmjere na netočnost piljenja je dakle

$$TEN = \Sigma(1,0237A + 0,29) (B - 2) u_0 SQR(VAR(D))$$

gdje se sumira preko svih dobivenih piljenica, a A i B znače širinu odnosno dužinu piljenice u prosušenom stanju.

Volumen krupnog ostatka — Volume of coarse residue

Volumen krupnog ostatka dobiven je kao razlika volumena trupca i sume volumena građe, piljevine, gubitka zbog usuha i gubitka zbog netočnosti piljenja.

$$\text{OSTATAK} = \text{Volumen trupca} - (\text{GRAĐA} + \text{USUH} + \text{TEN}).$$

Rangirani rasporedi pila — Comparison of saw arrangements

Rečeno je da se svaki trupac definiranog promjera, duljine, i pada promjera, raspiljuje sa proizvodno mnogo rasporeda, bilo u cijelo bilo prizmiranjem. Neka je tih rasporeda N , i neka je I -ti raspored dao volumno iskorišćenje POIS (I).

Redni broj rasporeda koji daje najveće volumno iskorišćenje označimo sa NAJ . Pođemo li od pretpostavke da je $NAJ = 1$, te $POIS(NAJ)$ usporedimo sa $POIS(I)$, $I = 2, N$ i pridružimo NAJ onom indeksu I za koji je $POIS(I) > POIS(NAJ)$, pronašli smo redni broj rasporeda koji je povećao volumno iskorišćenje. Postupak nastavimo sa preostalim $N-1$ rasporeda, sve dok ne dobijemo redne brojeve prvih KNR rasporeda koji daju najveća volumna iskorišćenja.

Tih KNR rasporeda je ispisano redom prema rangu koji imaju u veličini volumnog iskorišćenja. Uz svaki raspored je ispisano pripadno volumno iskorišćenje, pripadni volumen piljevine, volumen zbog nadmjere, te volumen krupnog ostatka zajedno sa odgovarajućim postocima.

Veličine KNR , tj. broj rasporeda koji želimo da bude u rekapitulaciji ispisan zadaje se kao parametar zajedno sa ostalim podacima.

Skretnica ISVE odlučuje da li će izlaz sadržavati čitavu strukturu sortimenata ili samo rekapitulaciju sa KNR rangiranih rasporeda. Ta je mogućnost unesena u program zbog toga jer ćemo pomoću njega vršiti analize nekih faktora koji utječu na volumno odnosno vrijednosno iskorišćenje. Budući da su kod takve analize važni samo konačni rezultati uveli smo mogućnost izostavljanja pisanja strukture dobivene građe.

Fotokopir *izlaza* programa RARAVO prikazana je u tabeli 8.

5.2 Analiza faktora koji utječu na volumno iskorišćenje trupaca —
Analysis of factors which effect the quantity yielded of logs

Razvojem programa RARAVO ostvarene su mogućnosti za kompleksne analize piljenja trupaca na jarmačama. Jedan od najinteresantnijih problema koji se može istraživati odnosi se na utjecaj pojedinih faktora na volumno iskorišćenje trupaca odnosno na izbor optimalnog rasporeda piljenja.

Budući da se trupci prije raspiljivanja sortiraju u boksove sa namjerom da se u isti boks stavljaju trupci koji će se piliti istim rasporedom, to spomenuta istraživanja mogu doprinijeti kod donošenja odluka o načinu (kriterijima) sortiranja trupaca.

Tab. 8. Fotokopija izlaza programa RARAVO — Photocopy of the program RARAVO output

R A R A V O Z I D I
RANGIRANJE RASPOREDA PREMA VOLUMNOM ISKORISTENJU

DATE 040280

PAGE 16

MIDST DIAMETER 40 CM
BOT END DIAMETER 43,0 CM
TOP END DIAMETER 37,0 CM
LOG LENGTH 4,0 M
LOG TAPER 1,5 CM/
MINIMUM LUMBER LENGTH 100 CM
MINIMUM LUMBER WIDTH 8 CM

SAW KERF WIDTH ON FRAME SAW 4,0 MM
SAW KERF WIDTH ON CROSS CUTT SAW 5,0 MM
SAW KERF WIDTH ON RIPSAW 4,5 MM
OF UNDERSIZED LUMBER 10,0
SAWING INACCURACY .020 MM

LOG VOLUME .50269 CUBIC METERS

S A W S E T T I N G S

	LUMBER				SANDUST		OVERMEASURE		RESIDUE	
	M3	%	M3	%	M3	%	M3	%	M3	%
5 2/ 46,6 1/ 46,6 3/ 23,1 10/ 16,9	.335	66,7	.067	13,3	.027	5,5	.073	14,5		
4 1/ 46,6 2/ 46,6 2/ 23,1 10/ 16,9	.335	66,6	.067	13,7	.027	5,3	.072	14,3		
1 1/225,8 2/ 23,1 10/ 16,9 2/ 46,6 1/ 46,6 3/ 23,1 10/ 16,9	.328	65,3	.078	15,5	.022	4,5	.074	14,7		
3 1/230,9 2/ 23,1 10/ 16,9 1/ 46,6 5/ 23,1 10/ 16,9	.319	63,5	.088	17,6	.024	4,8	.071	14,1		
2 2/113,2 2/ 23,1 10/ 16,9 2/ 23,1 1/ 23,1 1/ 46,6 2/ 23,1 10/ 16,9	.313	62,2	.088	17,6	.020	3,9	.082	16,3		

Uvod — Introduction

Ovdje će biti prikazani rezultati istraživanja utjecaja na volumno iskorišćenje trupaca odnosno na izbor optimalnih rasporeda pila slijedećih faktora: promjer, dužina i pad promjera trupca te širine raspiljka i veličina netočnosti piljenja.

Prvi, nama poznati izvještaji potječu od SledECKOG (1947) odmah nakon rata.

Daljnja istraživanja Knežević (1956), Bell (1951), i dr. dala su rezultate koji su poznati te se ovdje neće detaljnije navoditi, već će se dati samo općenit prikaz metoda i rezultata tih istraživanja. Znanja o utjecaju faktora, o kojima je ovdje riječ, na volumno iskorišćenje trupaca baziraju se na dvije metode:

Teorijska istraživanja. Pretpostavivši da je trupac kružni stožac, istraživači su vršili računanje volumnog iskorišćenja za razne dimenzije trupaca, razne raspiljke i razne rasporede piljenja. Budući da su takva računanja vrlo komplicirana, morala su biti ograničena na relativno mali broj rasporeda piljenja i relativno grubu podjelu svakog od promatranih faktora na manje dijelove njegovih dimenzija. Praktički je bilo nemoguće simultano varirati ova tri faktora s promjenom širine raspiljka, nadmjerom, promjenom dozvoljenog postotka piljenica ispod nominalne debljine i mnogim mogućim rasporedima pila. Teško je također bilo uzeti u obzir posljedice usušivanja drva, kao i optimalno krojenje piljenica. Kao rezultati istraživanja davani su prosjeci, koji su bili korisni, no danas premalo precizni. Poznato je da je prosječni porast iskorišćenja po 1 cm porasta promjera oko 0,2 do 0,4%. To je prosjek za različiti pad promjera, razne rasporede, razne dužine trupaca i ostale faktore. Takav prosjek je koristan, no, kao uostalom i prosjeci uopće, nedovoljno precizan. Prednost teorijskih istraživanja leži u generalnim informacijama, no dedukcija na posebne uvjete je nesigurna.

Eksperimentalna istraživanja. Eksperimentalna istraživanja vršena su na pojedinim pilanama s određenim, više manje, reprezentativnim uzorcima trupaca. Rezultati tih istraživanja poklapaju se s onim dobijenim teorijskim putem (i to onim najopćenitijim), dok ima detalja gdje se ti rezultati i jako razlikuju. Prednost eksperimenta je u tome što, ako se pravilno provede, daje sliku o određenim trupcima, na određenoj pilani u određeno vrijeme, uz određenu tehnologiju i dr. Problem je indukcije tih rezultata na ostale pilane, odnosno strukture trupaca, ljude, tehnologiju i dr. Nedostatak eksperimenta je također njegova velika cijena. I jedna i druga metoda imaju, dakle, svojih prednosti i mana.

Metoda simulacije eksperimenta, ili kraće metoda simulacije, je kombinacija eksperimenta i teorijskih istraživanja.

Tom se metodom može vrlo precizno simulirati realni eksperiment, te tako dobiti rezultate koji su vredniji bilo od samo teorijskog ili samo eksperimentalnog istraživanja. Naravno da i simulacija (neki upotrebljavaju sinonim: oponašanje) može biti bolja ili lošija. Sve ovisi o tome koliko se

vjerno uspjelo matematičkim jezikom opisati trupac i tehnologiju njegovog raspiljavanja. Za to je u krajnjoj liniji potreban i eksperiment, no mnogo toga se može načiniti i bez eksperimenta.

Posljednjih je godina u svijetu izrađeno dosta programa za elektro- ničko računalo, pomoću kojih se može vršiti simulacija piljenja trupaca.

Istraživanja koja je proveo Butković (1979) pokazala su zadovoljavajuće slaganje između rezultata dobivenih simuliranim piljenjem pomoću programa RARAVO i rezultata dobivenih eksperimentalnim piljenjem.

U ovom radu simulacija piljenja izvršena je sa sedam debljinskih grupa trupaca.

Svakoj debljinskoj grupi je pridruženo 10 različitih rasporeda (Hitrec, 1982), kojima su trupci u toj grupi piljeni.

Utjecaj promjera, pada promjera, duljine trupca, širine raspiljka i netočnosti piljenja na volumno iskorišćenje trupca — Effect of diameter, log taper saw kerf width and sawing inaccuracy on the quantity yield of a log

Kao što je već navedeno, promatrano je 7 debljinskih grupa trupaca: 20—24 cm, 25—29 cm, . . . 50—54 cm promjera. U svakoj od navedenih debljinskih grupa izvršeno je simulirano piljenje s 10 rasporeda. Rasporedi su od grupe do grupe mijenjani. Debljina trupca je mijenjana s intervalom od 1 cm. Za svaku debljinu mijenjan je pad promjera od 0,5 cm/m do 2,5 cm/m, s pomakom od 0,5 cm/m, te dužina trupca od 3 do 6 m, s pomakom od 0,5 m.

Izvršeno je, dakle $7 \times 5 \times 5 \times 7 \times 10 = 12250$ simulacija piljenja. Za svako piljenje je izračunato volumno iskorišćenje za svaki od 10 rasporeda. Rasporedi su prema veličini volumnog iskorišćenja i rangirani. Izračunato je i prosječno volumno iskorišćenje za najboljih 5 rasporeda. Tehnološki uvjeti i metode piljenja opisani su ranije kod opisa programa RARAVO.

Rezultati dobiveni simulacijom su prikazani tabelarno, te su na temelju tih tabela načinjeni grafikoni. Ovdje su prikazani samo grafikoni.

Grafikon 1. prikazuje prosječno volumno iskorišćenje najboljih 5 rasporeda kao funkciju promjera, duljine i pada promjera trupca. Iz grafikona 1. je očito slijedeće:

a) Općenito porast volumnog iskorišćenja u odnosu na porast promjera trupca (kao teorijska postavka poznata već otprije).

b) Porast iskorišćenja s porastom promjera (jedina iznimka je kod duljine od 6 m u debljinskoj grupi 40—44 cm) unutar svake debljinske grupe.

c) Prelaskom u drugu debljinsku grupu trupaca, dakle prelaskom na nove rasporede, dolazi do stagnacije porasta, a u nekim slučajevima čak i do pada volumnog iskorišćenja.

Ta se pojava može pripisati neadekvatno odabranim rasporedima. Izgleda, naime; da je izbor rasporeda prilagođen promjeru srednjeg trupca iz pro-

matrane grupe, a taj izbor ne odgovara svim trupcima iz grupe, čiji se promjeri nalaze u intervalu od 5 cm. Iz toga je očito da se raspoređi mogu bolje odabrati, odnosno da bi trebalo razmotriti opravdanost finijeg sortiranja trupaca prema promjeru. Ta je pojava uočena već ranije (Hitrec, 1982), pa je istaknuto da izbor rasporeda može biti »osjetljiv« na svaki centimetar promjene debljine trupca. No, potrebno je navesti da se spomenuta pojava manje ispoljava, čak bi se moglo reći da ne postoji za trupce dužine 3 m.

Ovdje nije zadatak traženje boljih rasporeda, no to će biti potrebno učiniti u daljnjim istraživanjima.

d) Kraći trupci imaju redovno veće iskorišćenje od dužih, osim nekoliko iznimaka kod tanjih trupaca (što je već od prije poznato).

e) Pad promjera znatno utječe na volumno iskorišćenje trupaca. Taj je utjecaj značajniji kod dužih nego kod kratkih trupaca. To je vidljivo i po tome što su krivulje koje pripadaju dužim trupcima strmije (grafikon 1.). Nismo u stanju objasniti ekstremno značajan utjecaj pada promjera na volumno iskorišćenje u debljinskoj grupi 35—39 cm (grafikon 1, $V_1\%$ od 57% do 72%). Da li je to samo utjecaj odabranih rasporeda ili toj debljinskoj grupi (za mali pad promjera) naročito odgovaraju standardi o dimenzijama piljenica, o kojima je vođeno računa kao piljenja, to bi se moralo provjeriti dodatnim simulacijama.

f) Što su trupci većeg promjera, to su linije na dijagramu, koje prikazuju volumno iskorišćenje za različite promjere, građe (ima manje lomo-va). Može se reći da su promatrane veze gotovo funkcionalne. To se objašnjava većim volumnim iskorišćenjem debljih trupaca, gdje su relativno manja odstupanja, zbog neadekvatnog rasporeda, manje uočljiva.

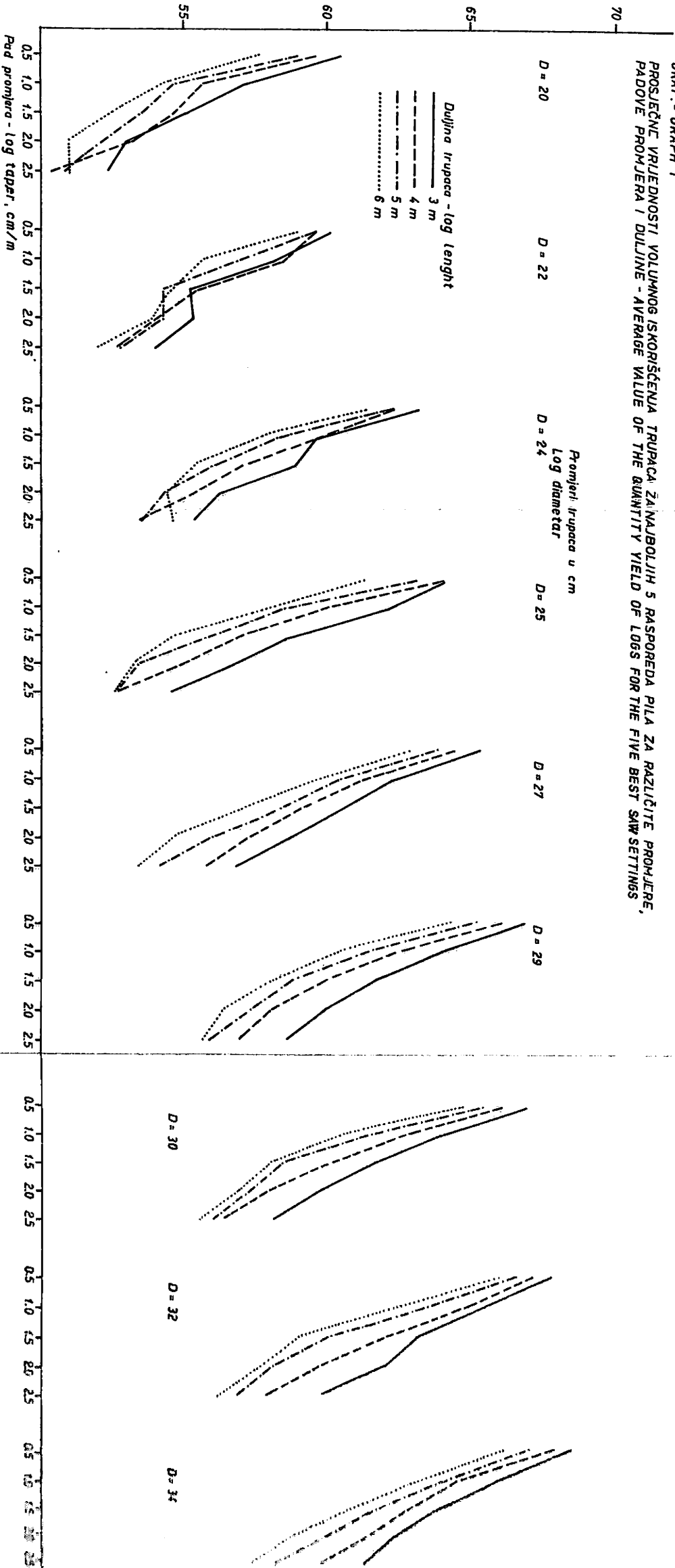
Iako se raspolaže podacima o tome kako promatrani faktori djeluju na volumno iskorišćenje, kod najboljeg od 10 promatranih rasporeda, ti rezultati ovdje nisu iznijeti, no, treba izvijestiti da su analogne linije manje glatke, što je i razumljivo jer se ne radi o prosjecima volumnih iskorišćenja najboljih 5 rasporeda, te da su volumna iskorišćenja najboljeg rasporeda za 1,5 do 2,0 postotka veća od prosječnog volumnog iskorišćenja najboljih 5 rasporeda.

Potrebno je spomenuti da se već istaknuta pojava ekstremno velikog utjecaja pada promjera na volumno iskorišćenje trupaca kod grupe 35—39 cm pojavljuje i ovdje, kada se promatra samo najbolji raspored. To svakako navodi na pomisao da uzrok toj pojavi nije izbor rasporeda.

Grafikon 2. prikazuje prosječnu promjenu volumnog iskorišćenja ($\Delta V\%$), za promjenu debljine trupca za 1 cm i naznačene četiri kombinacije pada promjera, odnosno duljine trupaca. Vidljivo je, da je porast postotka volumnog iskorišćenja, kod promjene debljine trupca za 1 cm, to manji što je trupac deblji. Povećanjem debljine trupca za 1 cm, volumno iskorišćenje se povećava za 0,7—1,0 postotka kod tanjih trupaca, dok je kod debljih trupaca to povećanje manje i ne prelazi 0,5 postotka. To smanjivanje promjene volumnog iskorišćenja, s povećanjem promjera, je izraženije kod trupaca s manjim padom promjera (linije br. III i I na grafi-

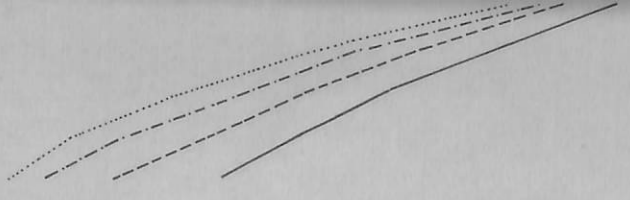
Volumno iskorišćenje - quantity yield (%)

GRAF. 1
 PROSEČNE VRIJEDNOSTI VOLUMNOM ISKORIŠĆENJA TRUPACA ZAJNAJBOĹIJIH 5 RASPOREDA PILA ZA RAZLIČITE PROMJERE, PADOVE PROMJERA I DULJINE - AVERAGE VALUE OF THE QUANTITY YIELD OF LOGS FOR THE FIVE BEST SAW SETTINGS,

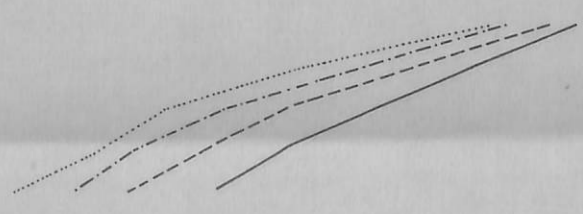


0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5

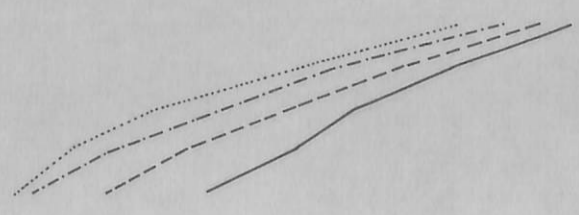
D = 35



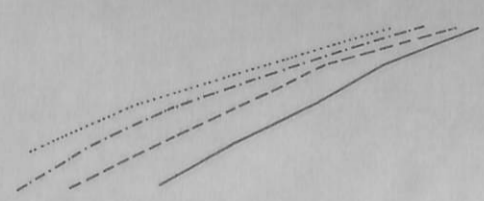
D = 37



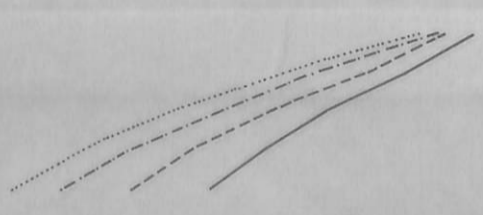
D = 39



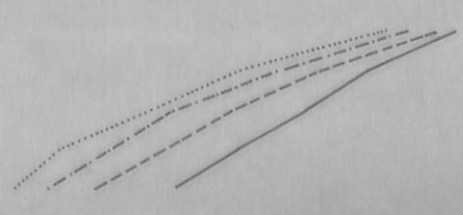
D = 40



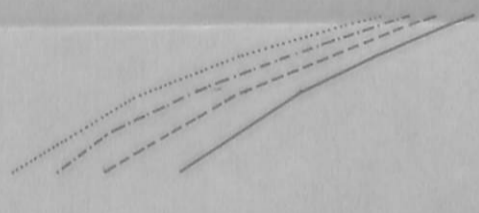
D = 42



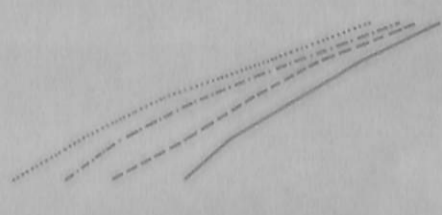
D = 44



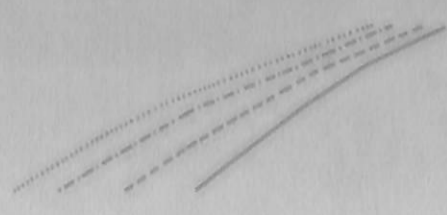
D = 45



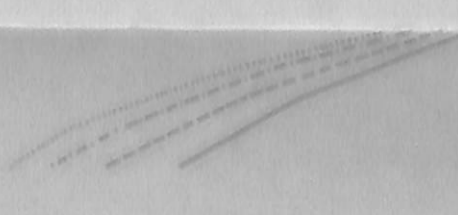
D = 47



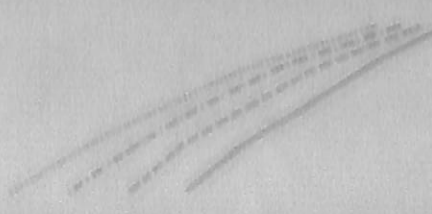
D = 49



D = 50

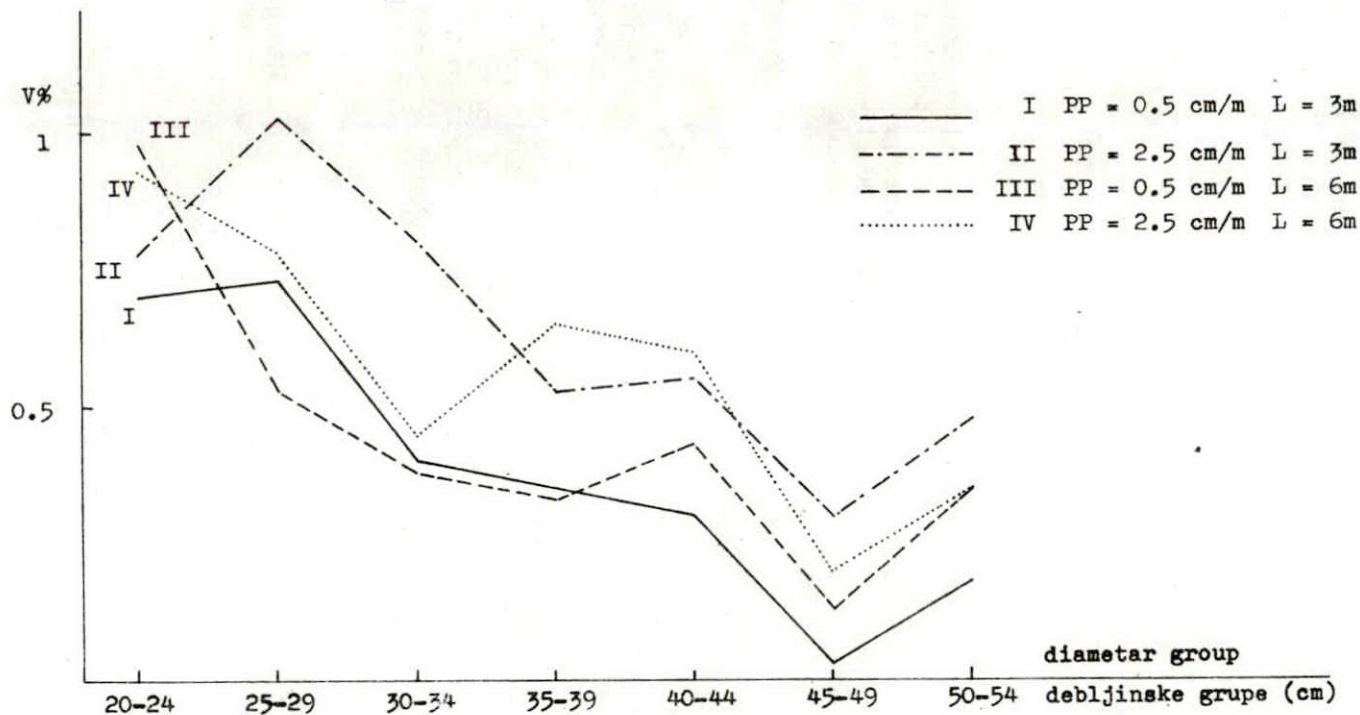


D = 52



0.5 1.0 1.5 2.0 2.5

Graf. — Graph. 2. Prosječna promjena volumnog iskorišćenja trupca kod promjene debljine trupca za 1 cm — Average change of the quantity yield of a log by change of the log thickness by 1 cm



Hirec V.: Matematički modeli i rješavanja nekih problema u šumarstvu i tehnologiji drva. Glasnik za šum. pokuse 23:25-94, Zagreb, 1985.

konu 2 su niže od linija II i IV). Odatle proizlazi opći trend, što je trupac deblji i što mu je pad promjera veći to daljnja promjena debljine manje utječe na njegovo volumno iskorišćenje. To je ilustrirano i na grafikonu 3.

Kako promjena dužine trupca od 0,5 m, odnosno promjena pada promjera za 0,5 cm/m, utječe na promjenu volumnog iskorišćenja, vidljivo je na grafikonu 4.

Označi li se sa $V_{i,j}$ volumno iskorišćenje koje pripada dužini trupca »i«, te padu promjera »j«, tada su četiri ordinate na grafikonu 4 slijedeće:

$$\begin{aligned} \text{I} \dots & (V_{3,0.5} - V_{3,2.5})/4 \\ \text{II} \dots & (V_{6,0.5} - V_{6,0.5})/4 \\ \text{III} \dots & (V_{3,0.5} - V_{6,0.5})/6 \\ \text{IV} \dots & (V_{3,0.5} - V_{6,2.5})/6 \end{aligned}$$

Te su vrijednosti računate za sve navedene promjere. Prvo što se može vidjeti iz grafikona 4 je da su promjene volumnog iskorišćenja osjetljivije na promjenu pada promjera od 0,5 cm/m, nego na promjenu dužine od 0,5 m. Prosječno promjena dužine od 1,5 m daje istu promjenu volumnog iskorišćenja kao promjena pada promjera za 0,5 cm/m. Kod promjene pada promjera za 0,5 cm/m, volumno iskorišćenje se promijeni za oko 1,8 do 3,0 postotaka (prosječno preko 2 postotka). Promjena volumnog iskorišćenja kod promjene dužine trupca za 0,5 m manja je od 1,0 postotka. Taj podatak može biti interesantan kod sortiranja trupaca, jer za bolji izbor rasporeda pila (s obzirom na volumno iskorišćenje) važnija je promjena pada promjera od 0,5 cm/m nego promjena dužine za 1,5 m.

Interesantno je da su te promjene volumnog iskorišćenja uzrokovane padom promjera i dužinom trupca neovisne od debljinske grupe, što je također vidljivo iz grafikona 4.

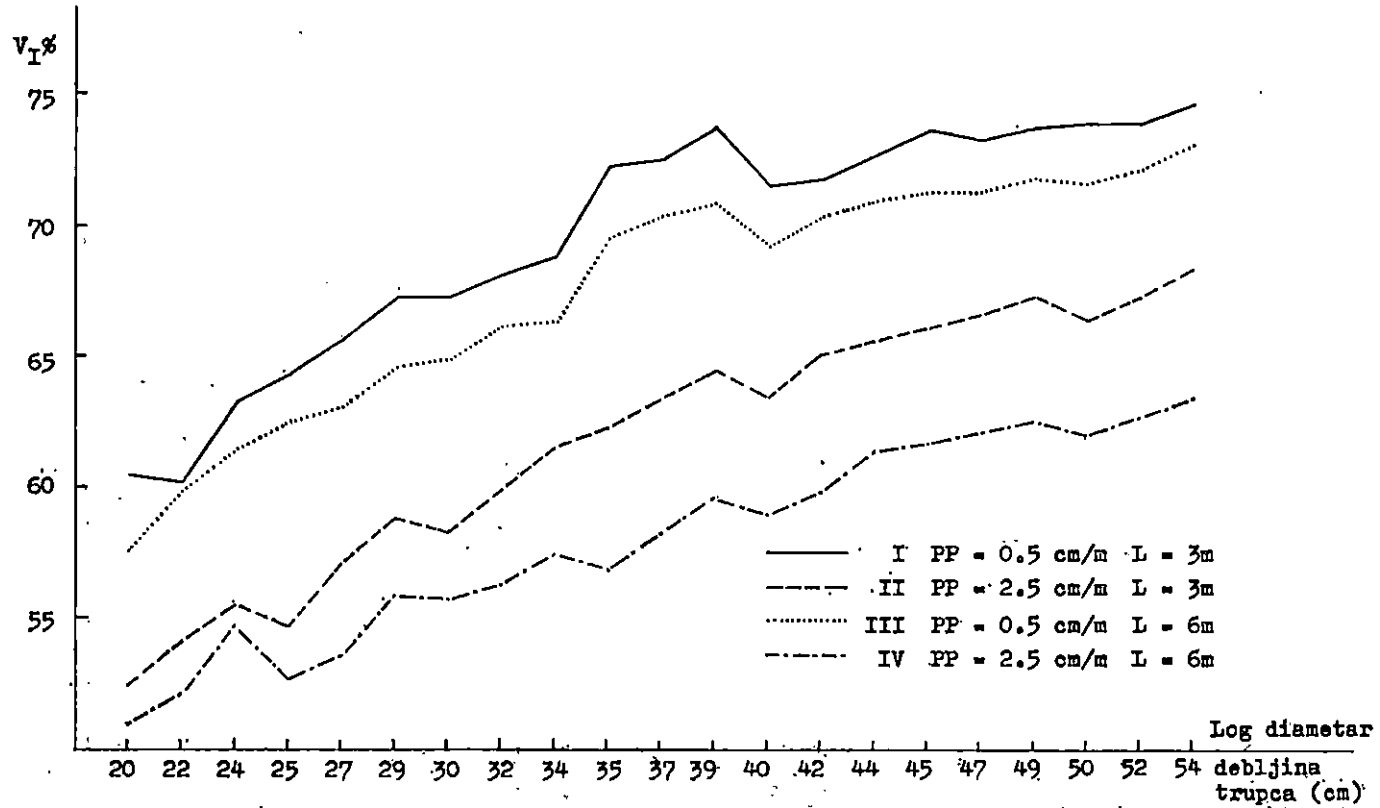
Rezultati izneseni ovdje, koji govore o utjecaju pada promjera na promjenu volumnog iskorišćenja, slažu se s rezultatima koje su dobili Klem i Karlsen (1951), dok su rezultati Kneževića (1956) znatno niži. Rezultati koji se odnose na utjecaj promjera po iznosu su ovdje različiti od rezultata koje je dobio Šapiro, prema Sledeckij (1957). Slažu se jedino u debljinskoj grupi 45—49 cm, dok je ovdje dobiven utjecaj promjera 3 do 5 puta veći.

Za slijedeći simulirani eksperiment trupci su bili podijeljeni u 7 debljinskih grupa. Uzeti su samo trupci dužine 4 metra i pada promjera 1,5 cm/m. U svakoj od 7 debljinskih grupa promatrano je 5 trupaca različitih debljina (razlika u promjeru iznosila je 1 cm). Svaki trupac iz pojedine debljinske grupe »raspiljen« je s 10 različitih rasporeda, kao što je ranije navedeno (Hitrec, 1982).

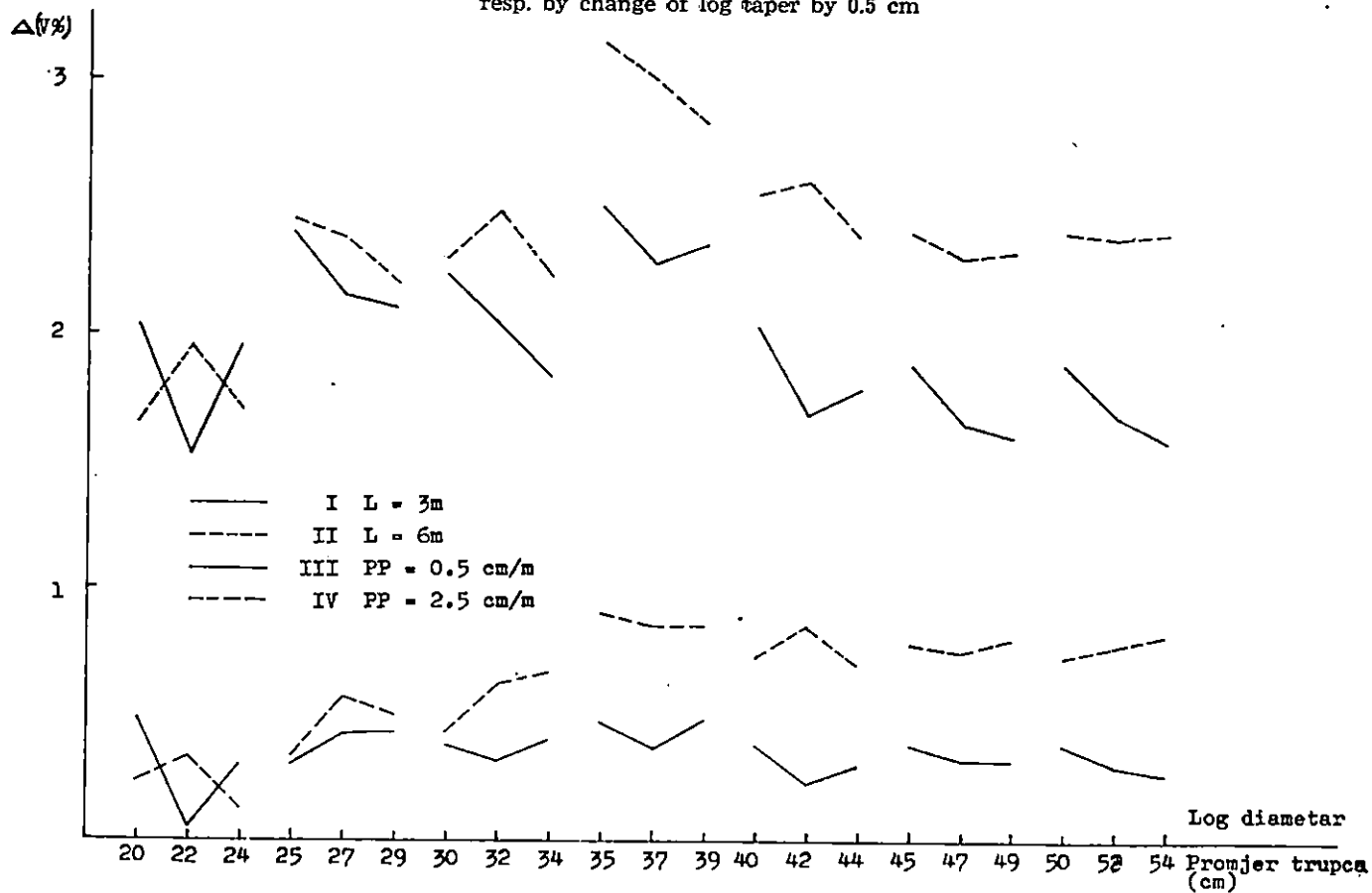
Širina raspiljka na jarmači varirala je od 3,0 do 4,0 mm, s pomakom od 0,2 mm.

Netočnost piljenja, izražena jednom standardnom devijacijom netočnosti, mijenjana je od 0,1 do 0,4 mm, s pomakom 0,1 mm. Raspiljeno je, dakle, $5 \times 7 = 35$ različitih trupaca, svaki na $6 \times 4 \times 10 = 240$ različitih načina. »Izvršeno« je $35 \times 640 = 8400$ prolaza trupaca kroz jarmaču.

Graf. — Graph. 3. Volumno iskorišćenje trupaca — The quantity yield of logs

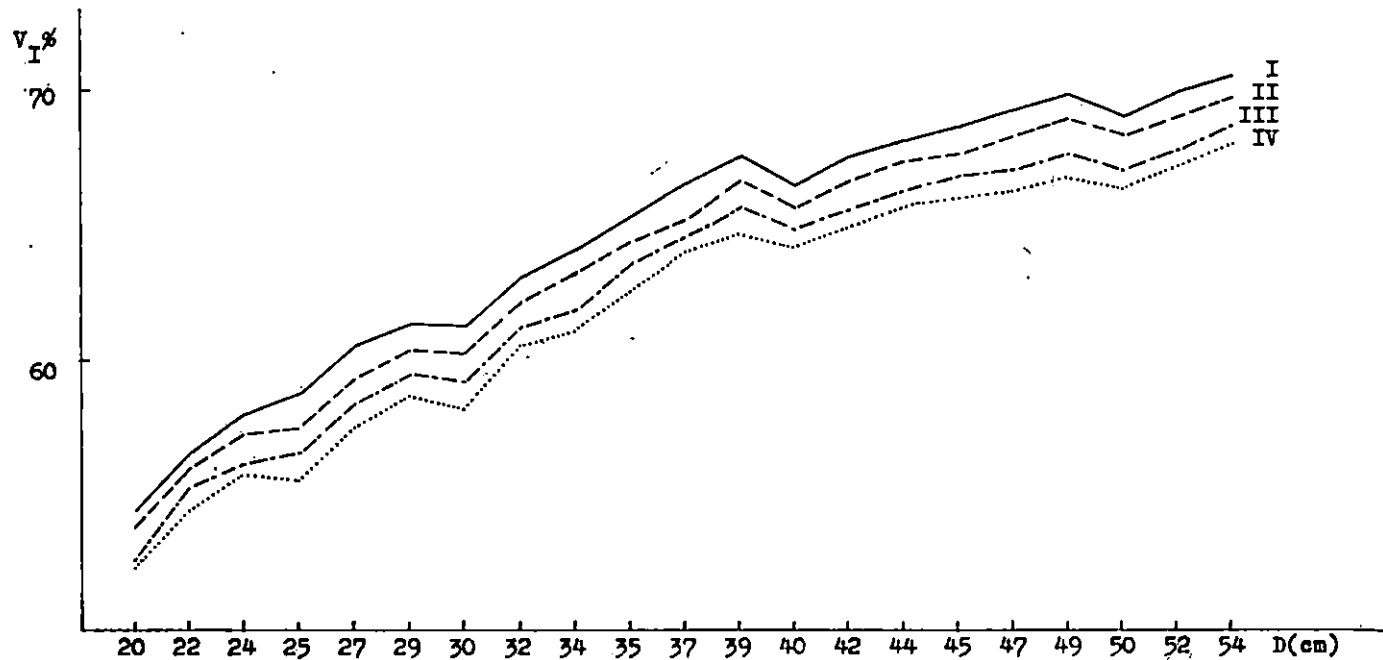


Graf. — Graph. 4. Prosječna promjena volumnog iskorišćenja trupca kod promjene dužine trupca za 0.5 m, odnosno promjene pada promjera za 0.5 cm — Average change of the quantity yield of a log by change of a log length by 0.5 m, resp. by change of log taper by 0.5 cm



Graf. — Graph. 5. Volumno iskorišćenje trupca dužine 4 m i pada promjera 1.5 cm — The quantity yield of a log of 4 m length and log taper 1.5 cm

	Netočnost piljenja Sawing inaccuracy	Propiljak Saw kerf
I	0.1 mm	3.0 mm
II	0.4 mm	3.0 mm
III	0.1 mm	4.0 mm
IV	0.4 mm	4.0 mm



Za svaki trupac je izračunato volumno iskorišćenje i rasporedi su prema tom iskorišćenju rangirani.

Rezultati se pregledno tabelirano obrađeni, te su na temelju tih tabela načinjeni odgovarajući dijagrami. Zbog ograničenog prostora tabele ovdje nisu prikazane.

Na grafikonu 5. prikazano je volumno iskorišćenje za pojedine debljine trupaca (dugih 4 m s padom promjera od 1,5 cm/m) i četiri kombinacije vrijednosti netočnosti piljenja, odnosno širine raspiljka.

Također je istraživana utjecaj promjena širine raspiljka i netočnosti piljenja na volumno iskorišćenje trupaca. Promjena volumnog iskorišćenja, uzrokovana netočnošću piljenja, odnosno veličinom raspiljka, gotovo i ne ovisi o debljini trupca. Odatle proizlazi da su ti faktori relativno manje značajni kod debljih nego kod tanjih trupaca.

Zbog konstantnosti tih promjena, ima smisla računati prosjeke. Tako promjena netočnosti piljenja za 0,1 mm uzrokuje, kod veličine raspiljka od 3,0 mm, smanjenje volumnog iskorišćenja za 0,30 postotaka, a kod veličine raspiljka od 4,0 za 0,25 postotaka.

Uz pretpostavku da se održava konstantna netočnost piljenja od 0,1 mm, promjena širine raspiljka za 0,1 mm smanjit će volumno iskorišćenje za 0,19 postotaka. Ako je netočnost piljenja 0,4 mm, tada ista promjena veličine raspiljka uzrokuje smanjenje volumnog iskorišćenja za 0,19 postotaka. Smatra se da te razlike nisu značajne.

Da 0,1 mm povećanja netočnosti piljenja uzrokuje veću promjenu volumnog iskorišćenja od povećanja širine raspiljka za 0,1 mm, jasno je, jer se veličina netočnosti piljenja množi s faktorom 1,28. Taj je faktor uzet iz tabele za normalnu distribuciju, a proizlazi iz uvjeta da 10% piljenica smije biti tanje od nominalne debljine (JUS D.CI.041, 1955).

Ovdje se ne bi moglo dati zadovoljavajuće objašnjenje zašto je promjena volumnog iskorišćenja uzrokovana netočnošću piljenja veća od veće širine raspiljka na jarmači. Ova pojava će se nastojati kasnije objasniti.

Utjecaj promjera, pada promjera, duljine trupca, širine raspiljka i netočnosti piljenja na izbor optimalnog rasporeda — Effect of diameter, log taper the log length, saw kerf width and sawing inaccuracy on selection of the optimum setting.

Prije raspiljivanja trupci se sortiraju u boksove uglavnom samo prema promjeru i to sa točnošću od 2 cm. Pitanje je da li je opravdano tako »fino« sortiranje po debljini i zanemarivanje duljine i pada promjera.

Simuliranim piljenjem može se ispitati da li je raspored koji je optimalan u smislu volumnog iskorišćenja, za trupac debljine npr. 20 cm duljine 4 m i pada promjera 1,5 cm/m optimalan i za ostale vrijednosti pada promjera.

U tu svrhu izvršeno simulirano piljenje trupaca različitih promjera, duljina i pada promjera.

Trupci su razvrstani u sedam debljinskih grupa.

Rasporedi su mijenjani za svaku grupu. U svakoj grupi varirano je pet različitih promjera, 5 pada promjera i 7 duljina. Ukupno dakle $7 \times 5 \times 5 \times 7 = 1225$ različitih trupaca.

Svakoj debljinskoj grupi pripadalo je 10 rasporeda piljenja.

Izvršeno je svega 12250 »piljenja«.

Raspiljivanje je izvršeno sa slijedećim uvjetima:

Širina propiljka na jarmači: 3,4 mm;

Širina propiljka na krajačarici: 5,0 mm;

Širina propiljka na rubilici: 4,5 mm;

Dozvoljeni postotak građe ispod nominalne debljine: 10,0;

Netočnost piljenja: $\sigma = 0,20$ mm;

Postotak vlažnosti do koje se građa suši: 20,0;

Minimalna dužina građe: 100 cm;

Minimalna širina građe: 8 cm;

Porast dužine građe po 25 cm.

Porublivanje i okrajčivanje vršeno je tako da bi se dobio maksimalni volumen građe.

Za analizu dobivenih rezultata formirane su tabele i grafikoni.

U ovom je radu iznijet samo manji dio rezultata. Zainteresiranog čitaoca upućujemo na literaturu (Hitrec, 1982, 1984).

Podaci u tabeli 9 dobiveni su tako da su za naznačenu dužinu, promjer i pad promjera trupca ispisani redni brojevi (bez točke) onih rasporeda pila koji čine prvih pet po rangu (od promatranih 10). Najbolji raspored napisan je u tabeli na najvišem mjestu i ima rang 5, zatim ispod njega drugi sa rangom 4 itd. Iz tabela je vidljivo kako se položaj rasporeda u rangiranom nizu mijenja s promjenom dimenzija trupaca. Kod čitanja tih tabela potrebno je imati u vidu da se rasporedi mijenjaju s promjenom debljinskog stupnja. Linija koja po vertikali spaja pojedine rasporede označuje da je postotak volumnog iskorišćenja tih rasporeda jednak u prvoj decimali.

Promotrimo dio tabele 9 koji sadrži podatke za trupce debljinske grupe 25—29 cm. Među prvih 5 najboljih nalazi se svih 10 promatranih rasporeda. To možemo u izvjesnom smislu smatrati kao verifikaciju iskustva na temelju kojeg su rasporedi sastavljeni. No, kao optimalni dominiraju samo dva rasporeda: 1 i 8. Od 60 mogućih oni se nalaze na 55 prvih mjesta, a dominiraju i na drugom mjestu. Iako dominiraju samo dva rasporeda ipak možemo uočiti da je izbor optimalnog rasporeda osjetljiv osim na debljinu trupca i na pad promjera i na njegovu duljinu. U promatranoj debljinskoj grupi od 48 promjena pada promjera uz konstantnu duljinu i debljinu trupca u 22 (46%) slučaja došlo je do promjene optimalnog rasporeda. Slično je od 40 promjena debljina trupca (uz konstantnu duljinu i pad promjera) do promjena u optimalnom rasporedu došlo u 29 slučajeva (73%). Za duljinu trupca taj je podatak 16 od 45, dakle 36%.

Interesantno je te odnose izračunati u ostalim debljinskim grupama (tabela 10).

Tab. 9. Rasporedi po rangu s obzirom na promjer, pad promjera i duljinu trupca —
Settings by the range with respect to diameter, decrease of diameter and the log
length

	3m					4m					5m					6m				
D	1.	8	8	8	8	8	8	8	8	5	8	8	8	5	5	8	8	5	5	5
20	2.	3	3	3	3	3	3	3	3	7	3	3	3	8	7	3	3	8	7	2
cm	3.	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	3	6	1	1	3	10	6
	4.	6	10	4	4	4	10	5	4	5	10	6	4	5	1	10	5	1	6	7
	5.	9	5	9	2	9	6	10	9	7	8	10	10	7	10	2	6	4	10	5
PP	.5 1.0 1.5 2.0 2.5					.5 1.0 1.5 2.0 2.5					.5 1.0 1.5 2.0 2.5					.5 1.0 1.5 2.0 2.5				
cm/m																				
D	1.	5	5	5	8	8	4	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	5	8	3
22	2.	4	8	10	3	3	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	8	3
cm	3.	7	3	8	1	1	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1
	4.	8	1	3	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4	6
	5.	3	4	1	7	10	1	10	6	7	10	10	10	7	2	9	7	7	4	9
PP	.5 1.0 1.5 2.0 2.5					.5 1.0 1.5 2.0 2.5					.5 1.0 1.5 2.0 2.5					.5 1.0 1.5 2.0 2.5				
cm/m																				
D	1.	5	5	8	8	8	5	5	8	8	8	5	8	8	3	3	5	8	8	3
24	2.	6	7	3	3	3	6	8	3	3	3	7	3	3	8	8	8	3	3	3
cm	3.	7	10	1	1	1	7	3	1	1	1	8	1	1	1	1	3	1	1	1
	4.	10	8	2	2	9	8	1	2	4	4	3	2	9	4	5	1	2	5	4
	5.	8	3	4	4	2	3	2	4	9	9	1	5	4	2	10	7	4	4	7
PP	.5 1.0 1.5 2.0 2.5					.5 1.0 1.5 2.0 2.5					.5 1.0 1.5 2.0 2.5					.5 1.0 1.5 2.0 2.5				
cm/m																				

Rasporedi po rangu

	3m					4m					5m					6m				
D	1.	1	8	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	2	9	8	1	1	9	2
25	2.	7	1	8	8	3	8	8	8	8	6	8	8	8	3	7	1	8	2	7
cm	3.	3	7	7	3	2	3	7	5	6	2	7	7	3	6	2	7	6	6	3
	4.	8	10	5	5	5	7	10	3	3	1	9	3	6	1	10	3	5	3	2
	5.	10	3	3	10	10	10	9	7	2	10	3	2	5	5	5	10	3	5	10
PP	.5 1.0 1.5 2.0 2.5					.5 1.0 1.5 2.0 2.5					.5 1.0 1.5 2.0 2.5					.5 1.0 1.5 2.0 2.5				
cm/m																				
D	1.	8	8	8	8	8	8	8	8	1	1	8	8	8	1	1	8	8	1	1
27	2.	1	1	1	1	1	1	1	1	8	8	1	1	1	8	6	1	1	8	10
cm	3.	6	6	2	2	2	6	5	9	7	3	6	2	7	3	2	2	3	9	2
	4.	5	3	6	6	4	5	2	2	9	7	5	5	3	9	3	6	2	7	8
	5.	10	10	3	5	6	10	3	6	3	4	2	9	9	7	10	5	6	2	7
PP	.5 1.0 1.5 2.0 2.5					.5 1.0 1.5 2.0 2.5					.5 1.0 1.5 2.0 2.5					.5 1.0 1.5 2.0 2.5				
cm/m																				
D	1.	1	8	1	1	1	1	8	1	8	8	8	1	8	8	1	8	1	8	8
29	2.	8	1	8	8	8	8	1	8	1	1	1	8	1	1	8	1	8	1	1
cm	3.	4	5	7	9	2	9	5	10	10	3	4	9	10	3	3	4	5	10	2
	4.	9	4	9	10	10	4	2	9	4	2	9	2	7	4	4	7	9	2	9
	5.	7	7	5	2	4	7	9	7	2	7	2	7	2	6	5	5	7	3	3
PP	.5 1.0 1.5 2.0 2.5					.5 1.0 1.5 2.0 2.5					.5 1.0 1.5 2.0 2.5					.5 1.0 1.5 2.0 2.5				
cm/m																				

Rasporedi po rangu

Tab. 10. Broj i postotak alternacija optimalnog rasporeda zbog promjene promjera, duljine i pada promjera trupca — Number and percentage of alterations of the optimum settings with respect to change of diameter, length and log taper

Debljinske grupe Diameter groups	D		L		PP	
	n	%	n	%	n	%
20 — 24 cm	21	53	13	29	15	31
25 — 29 cm	29	73	16	36	22	46
30 — 34 cm	9	23	9	20	8	17
35 — 39 cm	15	38	20	44	21	44
40 — 44 cm	21	53	20	44	22	46
45 — 49 cm	26	65	24	53	27	58
50 — 54 cm	27	68	21	47	28	58
Ukupno — Total	148	53	123	39	143	43

Promatramo tri varijable: debljinu (D), duljinu (L) i pad promjera (PP) trupca. Neka je »alternacija« promjena bilo koje od tih varijabli uz konstantnu vrijednost ostale dvije. U svakoj debljinskoj grupi promatramo tada 40 alternacija varijable D (po 2 cm), 45 alternacija varijable L (po 1 m) i 48 alternacija varijable PP (po 0,5 cm/m). U tabeli 1 za svaku od promatranih varijabli i svaku debljinsku grupu napisan je broj alternacija n, kod kojeg je došlo do promjene u optimalnom rasporedu.

Broj, odnosno postotak upravo definiranih »alternacija« možemo prihvatiti kao mjeru osjetljivosti izbora optimalnog rasporeda na promatrane parametre trupca.

Osjetljivost je minimalna za trupce debljinske grupe 30—34 cm, dok porastom debljine osjetljivost raste.

Vjerojatno se to može pripisati izboru rasporeda, te bi svakako bilo potrebno promatrati iste rasporede za sve debljinske grupe.

Gledajući ukupno vidimo da je osjetljivost značajna i za promjenu pada promjera i za duljinu trupca, a ne samo za promjer kako se uglavnom do sada smatralo. Tome će biti posvećeno više pažnje u točki 5.3.

Slijedeći faktori čiji je utjecaj na rang rasporeda ispitan bili su širina raspiljka na jarmači i netočnost piljenja (izražena kao standardna devijacija debljina). Širina raspiljka je varirana od 3 mm do 4 mm s porastom 0,2 mm a netočnost piljenja od 0,1 mm do 0,4 mm sa porastom 0,1 mm.

Zbog jednostavnosti promatrani su samo trupci dužine 4 m, s padom promjera 1,5 cm/m.

U svakom od 7 debljinskih stupnjeva upotrebljeni su isti rasporedi koji su navedeni u literaturi (Hitrec, 1982).

Ispitano je, dakle $4 \times 6 \times 5 \times 7 = 840$ različitih trupaca, svaki s po 10 rasporeda što je ukupno 8400 piljenja.

Tab. 11. Rasporedi po rangu s obzirom na promjer i veličinu propiljka na jarmači, za netočnost piljenja od 0.1 do 0.4 mm — Settings by the range with respect to the diameter and the size of saw kerf on the frame saw, for sawing inaccuracy from 0.1 to 0.4 mm

		3.0				3.2				3.4 3.4				3.6				3.8				4.0							
D	1.	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
D	2.	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
cm	3.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
cm	4.	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	9	4
	5.	2	2	9	9	2	9	9	9	9	9	9	9	9	2	9	9	2	2	9	9	2	2	9	9	2	2	4	9
net. pilj.		0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4
D	1.	5	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
D	2.	6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
cm	3.	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
cm	4.	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	5.	6	6	10	6	6	6	6	7	6	6	7	10	7	7	7	7	6	6	10	7	6	6	7	7	6	6	7	7
net. pilj.		0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4
D	1.	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
D	2.	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
cm	3.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
cm	4.	4	4	4	4	4	4	2	4	4	2	4	5	2	2	5	5	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	9
	5.	2	2	2	2	2	2	4	9	2	4	2	4	4	4	4	4	5	2	4	9	2	2	9	5	2	2	9	5
net. pilj.		0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4
D	1.	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
D	2.	4	4	4	4	4	4	9	4	9	4	4	9	4	9	9	4	9	9	9	9	4	9	9	9	9	9	9	9
cm	3.	9	2	2	9	9	2	9	4	9	4	9	4	9	4	4	9	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
cm	4.	10	9	9	5	2	9	5	5	5	5	10	10	10	5	10	10	10	10	10	10	2	10	10	2	10	10	2	2
	5.	2	5	5	10	10	5	10	10	10	10	5	2	10	5	2	2	5	2	2	10	2	2	10	10	2	2	10	10
net. pilj.		0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4
D	1.	3	4	4	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	3	4	3	4	4	4	4	4	4
D	2.	4	3	3	9	4	2	4	4	3	4	2	4	4	4	2	4	3	4	3	4	4	3	4	4	3	4	3	9
cm	3.	9	2	2	2	2	3	2	2	9	2	4	2	2	2	4	9	9	2	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
cm	4.	2	9	9	4	9	9	9	9	2	9	9	9	9	9	2	2	9	10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	5.	8	10	10	10	5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	6	10	2	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
net. pilj.		0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4
D	1.	3	9	3	3	3	9	10	3	9	10	9	10	9	9	10	9	9	4	10	10	4	10	10	10	10	10	10	10
D	2.	9	3	9	9	10	9	10	9	10	9	10	2	2	10	2	2	10	10	9	2	10	10	9	2	10	10	9	9
cm	3.	4	10	10	10	9	2	2	2	10	2	2	3	9	10	2	4	10	2	5	2	4	9	2	2	4	9	2	2
cm	4.	10	4	2	5	4	10	4	3	5	3	3	2	3	3	3	5	3	4	2	3	5	2	3	3	3	5	2	3
	5.	2	2	5	4	2	5	3	4	4	4	4	4	4	4	4	9	4	5	9	4	9	3	5	4	4	9	3	5
net. pilj.		0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4

Dio rezultata prikazan je u tabeli 11. Lako je uočljivo da je rang rasporeda osjetljiviji na promjenu propiljka na jarmači kod debljih nego kod tanjih trupaca. Detaljnija slika o utjecaju promatranih činioca može se dobiti promatrajući odgovarajuće grafikone koje smo ovdje izostavili (Hitrec, 1982, 1984).

5.3. Razmatranje o sortiranju trupaca na stovarištu — Observation on assorting of logs in the log yard

Istražujući simulacijom utjecaj promjera, pada promjera i dužine trupca na određivanje optimalnog rasporeda pila uočili smo da su za izbor optimalnog rasporeda osim promjera značajni i duljina i pad promjera trupca. U tabeli 1 u 5.2.3. prikazana je osjetljivost promjene pojedine od tih veličina na izbor optimalnog rasporeda. Uočeno je da se izvjesni rasporedi pojavljuju kao optimalni u različitim debljinskim razredima i da za jedan razred postoji više optimalnih rasporeda (ovisno o duljini i padu promjera trupca).

Debljinski razredi dakle nisu skupovi na kojima je izbor optimalnog rasporeda definiran.

Budući da se sada sortiranje trupaca na stovarištu vrši uglavnom prema kriteriju debljine trupaca, te budući da se za tako sortirane trupce vrši izbor optimalnog rasporeda, to je zbog svega što je rečeno nužno kriterije sortiranja podvrći kritičkoj analizi.

Na kolokviju o pilanskoj preradi drva u Zalesini, na proljeće 1983. godine, izvjestili smo o tim idejama. Izvještaj je pobudio interes te su istraživanja nastavljena.

Istraživanja su ograničena na praktične probleme budući da bi općenita analiza bila doslovno glomazna i za praksu neinteresantna. Odlučili smo da simuliramo eksperiment sa uvjetima koji se najčešće pojavljuju.

Promatrali smo trupce debljine 20, 22, 24, ..., 40 cm, svaki sa padom promjera 0.25, 0.76, 1.25, 1.75 i 2.25 cm/m.

Svi promatrani trupci bili su duljine 4 m.

Ukupno smo dakle promatrali $11 \times 5 = 55$ različitih trupaca.

Svaki od tih trupaca raspilili smo sa tri različita raspiljka: 3.2, 3.4 i 3.6 mm.

— minimalna duljina građe	100 cm
— minimalna širina građe	8 cm
— propiljak na krajčarici	3.5 mm
— propiljak na rubilici	4.0 mm
— postotak građe sa debljinom ispod nominalne	10
— netočnost piljenja	0.2 mm

Prema dosadašnjem iskustvu trupci se sortiraju u razrede od po 2 cm promjera (ili u još širim grupama), te se raspiljuju rasporedima prikazanim u tabeli 12.

Tab. 12. Rasporedi pila korišćeni za simulaciju zbog analize sortiranja trupaca —
Saw settings used for simulation because of analysis of assorting of logs

20—25 cm						
1.)	1/170,	10/24		10/24		
2.)	1/170,	10/24		2/24,	2/38,	10/24
3.)	2/48,	10/24,		—		
4.)	3/38,	10/24,		—		
5.)	1/120,	10/24,		10/24		
6.)	1/150,	10/24,		10/24		
25—29 cm						
7.)	1/170,	10/24		3/48,	10/24	
8.)	2/76,	10/24		2/76,	10/24	
9.)	2/76,	10/24		—		
10.)	1/190,	1/38,	10/24	2/24,	2/38,	10/24
11.)	1/160,	10/24		1/24,	1/38,	10/24
12.)	1/70,	10/24		4/38,	10/24	
13.)	1/20,	10/24		2/34,	1/66,	10/24
30—35 cm						
14.)	1/220,	10/24		4/48,	10/24	
15.)	2/100,	10/24		15/24		
16.)	1/240,	1/38,	10/24	2/24,	2/38,	10/24
17.)	2/96,	10/24		3/48,	10/24	
18.)	1/190,	10/24		4/38,	10/24	
19.)	1/220,	10/24		5/38,	10/24	
20.)	1/210,	1/38,	10/24	2/24,	2/38,	10/24
21.)	1/220,	1/38,	10/24	3/24,	1/66,	4/24
22.)	1/160,	10/24		3/48,	10/24	
23.)	1/180,	10/24		2/24,	1/76,	10/24
24.)	1/190,	10/24		2/24,	2/38,	10/24
35—40 cm						
25.)	2/96,	10/24		2/96,	10/24	
26.)	2/96,	10/24		4/48,	10/24	
27.)	1/220,	10/24		5/38,	10/24	
28.)	1/250,	1/38,	10/24	6/38,	10/24	
29.)	1/250,	1/38,	10/24	4/48,	10/24	
30.)	1/240,	1/48,	10/24	2/24,	2/48,	10/24
31.)	1/230,	1/38,	10/24,	2/24,	2/48,	10/24
32.)	1/240,	1/38,	10/24	2/24,	2/38,	10/24
33.)	1/260,	1/48,	10/24	3/24,	2/48,	10/24
34.)	1/220,	10/24		2/24,	2/38,	10/24
35.)	1/180,	1/38,	10/24	3/24	1/76,	10/24
36.)	1/240,	10/24,		3/24,	2/38,	10/24
37.)	1/240,	10/24		4/24,	1/66,	10/24
38.)	1/240,	1/38,	10/24	4/24,	1/66,	10/24
39.)	1/250,	1/38,	10/24	3/24,	1/48,	1/38,
						10/24

Tab. 13. Rasporedi iz tabele 12 koji su postigli najbolji rang — Settings from the Table 12 which achieved the best range

PAD PROMJERA LOG TAPER (cm/m)	PP = 0.25			PP = 0.75			PP = 1.25			PP = 1.75		
	Širina raspiljka Saw kerf (mm)			Širina raspiljka Saw kerf (mm)			Širina raspiljka Saw kerf (mm)			Širina raspiljka Saw kerf. (mm)		
	3.2	3.4	3.6	3.2	3.4	3.6	3.2	3.4	3.6	3.2	3.4	3.6
20	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
22	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3
24	3	3	3	3	3	3	4	4	3	20	20	20
26	4	3	4	4	4	4	13	13	13	7	7	13
28	4	4	4	4	3	3	3	3	3	17	17	7
30	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	7	7
32	4	4	4	4	3	3	4	4	4	21	21	21
34	3	4	4	3	3	3	14	14	3	14	14	14
36	9	9	9	9	9	9	3	3	3	21	21	21
38	4	9	9	4	4	9	35	9	9	9	9	33
40	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

Tab. 14. Rasporedi drugi po rangu — The second settings in the range

Pad promjera Log taper (cm/m)	PP = 0,25			PP = 0,75			PP = 1,25			PP = 1,75		
	Širina raspiljka Saw kerf (mm)			Širina raspiljka Saw kerf (mm)			Širina raspiljka Saw kerf (mm)			Širina raspiljka Saw kerf (mm)		
	3,2	3,4	3,6	3,2	3,4	3,6	3,2	3,4	3,6	3,2	3,4	3,6
20	12	4	12	4	4	4	20	20	20	3	3	3
22	17	17	17	20	20	20	4	4	4	20	20	20
24	25	25	25	7	7	7	20	20	11	11	11	11
26	3	4	3	12	3	3	13	4	7	20	20	17
28	27	27	27	3	4	27	17	7	4	7	7	17
30	9	9	9	4	4	9	4	4	4	7	3	12
32	3	3	3	3	4	4	21	21	3	7	13	13
34	4	3	3	4	4	4	3	3	14	21	3	3
36	3	3	3	3	3	3	4	4	4	14	14	14
38	9	4	4	9	9	4	9	35	35	21	33	14
40	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	14	3

Tab. 15. Rasporedi treći po rangu — The third settings in the range

Pad promjera Log taper (cm/m)	PP = 0,25			PP = 0,75			PP = 1,25			PP = 1,75		
	Širina raspiljka Saw kerf (mm)			Širina raspiljka Saw kerf (mm)			Širina raspiljka Saw kerf (mm)			Širina raspiljka Saw kerf (mm)		
	3,2	3,4	3,6	3,2	3,4	3,6	3,2	3,4	3,6	3,2	3,4	3,6
20	11	12	11	11	11	11	3	3	3	13	13	13
22	3	3	3	17	3	3	20	20	20	11	11	11
24	11	9	4	4	4	4	3	3	17	4	4	4
26	30	30	12	7	12	12	4	7	4	4	4	20
28	26	26	26	27	27	4	7	4	7	13	12	20
30	14	14	14	9	9	27	7	7	7	3	12	3
32	9	9	9	9	9	9	3	3	21	23	23	14
34	9	9	9	9	9	9	4	25	4	25	25	25
36	14	14	14	4	4	4	21	14	21	4	4	4
38	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	9
40	4	4	4	4	4	4	14	4	14	14	3	14

Spomenimo ovdje da jedna od osnovnih teoretskih postavki optimalnog raspiljivanja trupaca, kod piljenja tehnikom prizmiranja, koja zahtijeva da je visina prizme $2d = 1.4r$ nije niti ovdje u praksi poštivana. Razlozi za ovakvu praksu mogu biti i drugačiji osim teoretskog postizanja maksimalnog kvantitativnog iskorišćenja.

Ne vodeći računa o dosadašnjim kriterijima izvršili smo simulirano piljenje svakog od 55 trupaca sa svih 39 rasporeda (sa svakim od tri spomenuta raspiljka).

Redne brojeve najboljih rasporeda po pojedinim kombinacijama unijeli smo u tabelu 13. Redni brojevi rasporeda koji su bili drugi odnosno treći po rangju unijeti su u tabelu 14, odnosno tabelu 15.

Dobiveni rezultati su iznenađujući.

Informacije do kojih možemo doći promatrajući spomenute tabele su sljedeće:

1. Prije svega očito je da se ne potvrđuje pravilo da je optimalan način piljenja prizmiranjem sa prizmom visokom 1.4r.

2. Dominiraju rasporedi »u cijelo«.

3. Od svih 39 promatranih rasporeda kao optimalni se pojavljuju samo njih 11 i to tri od njih su na prvom mjestu u 79% slučajeva (sva tri su piljenje u cijelo).

4. Rasporedi sa visokom prizmom se praktički ne pojavljuju.

5. Promatramo li rasporede koji zauzimaju bilo prvo bilo drugo bilo treće mjesto u rangju, ponovno dominiraju rasporedi »u cijelo«. Rasporedi 3, 4 i 9 se nalaze u 63% promatranih slučajeva bilo na prvom, bilo na drugom bilo na trećem mjestu u rangju. Ako tim rasporedima dodamo rasporede r. 14 i 20 tada je »zauzeto« 74% od prva tri mjesta.

6. Ukupno se na prva tri mjesta pojavljuju svega 18 (dakle manje od polovine) rasporeda.

7. Očito je da za kriterij izbora optimalnog rasporeda nije dovoljno promatrati samo srednji promjer trupaca.

8. Sortiranje bi bilo potrebno vršiti prema grupama koje su optimalne za isti raspored. Neke od takvih grupa su u tabeli 2 istaknute.

Naravno da zaključak zahtijeva i dublju tehnološku analizu, no to je izvan domene ovog rada.

LITERATURA — REFERENCES

- Bell, G. E., 1951.: Factor Influencing the Manufacture of Sawlogs, Into Lumber in Eastern Canada. For. Prod. Lab. Div. Canada, Bulletin No. 99, Ottawa.
- Bethel, J. S. & A. C. Barefoot & D. A. Stecher, 1951.: Quality Control in Lumber Manufacture. Proceedings of the National Annual Meeting Forest Products Research Society 5 (26—32), London.
- Bethel, J. S. & A. C. Barefoot, 1958.: Can Lumber Compete? For. Prod., Jour., 8 (7) (9A—14A), London.
- Brežnjak, M., 1960.: Statistička kontrola kvalitete u pilanskoj industriji. Drvna industrija 11 (1/2) (2—11), Zagreb.
- Brežnjak, M. & V. Herak, 1970.: Kvaliteta piljenja na suvremenim primarnim pilanskim strojevima. Drvna industrija 21 (1/2) (2—13), Zagreb.

- Brežnjak, M., A. Garnæs, S. Holyen & B. Liær, 1975.: Automatic setting of a twin circular saw, NTI, Meddelelse (52) (1—33), Blindern.
- Brežnjak, M., 1979.: Optimization Through Computer Promed Sawing of Softwood. Sixth Wood Machining Proceedings, Richmond, USA.
- Butković, Đ., 1979.: Komparativna istraživanja volumnog iskorišćenja trupaca kod simuliranog i eksperimentalnog piljenja. Bilten ZIDI 7 (5) (15—34), Zagreb.
- Eaton, N. J., 1980.: Optimising sawing schedules to best match the sawlog intake and sawn timber demand in a sawmill. Abstracts IUFRO Div. V Conference, p. 92, Oxford.
- Emrović, B., 1970.: Kontrola kvalitete — matematičko statističke osnove. Bilten ZIDI 1 (1) (1—21), Zagreb.
- Giese, J. P. & K. A. McDonald, 1982.: Optyld — A Multiple Rip-First Computer Program to Maximize Cutting Yields. USDA For. Serv. For. Prod. Lab. Res. Pap. 412.
- Hallock, H. & E. H. Bulgrin Tomorrow, 1970.: Computer — Made Sawing decision 24th Annual Meeting of FPRS, Miami Beach.
- Hallock, H. Y., A. Stern, D. W. Lewis, 1976.: How sawing methods, log factors and conversion efficiency are related. XVI IUFRO Congress, Oslo.
- Halusek, F., 1972.: Kontrola kvalitete proizvodnog procesa kao faktor industrijskog nivoa produkcije. Drvna industrija 23 (9/10) (163—173), Zagreb.
- Hitrec, V., 1973.: Izjednačenje podataka metodom najmanjih kvadrata bez Gaussovih normalnih jednadžbi. Šumarski list 97 (7/8) (293—297), Zagreb.
- Hitrec, V., 1974.: Neka teorijska pitanja konstrukcije kontrolnih karata. Drvna industrija 25 (5/6) (116—121), Zagreb.
- Hitrec, V., 1976.: Curve fitting by the Method of Least Squares Without Normal Gaussian Equations, Diskusion Paper, XVI World Congress, Oslo.
- Hitrec, V., 1978.: Optimalizacija piljenja korišćenjem kompjutorske tehnike. Rangiranje rasporeda pila za piljenje jelovih trupaca s obzirom na kvalitativno iskorišćenje. Bilten ZIDI 6 (3) (1—42), Zagreb.
- Hitrec, V., 1979.: RARAVO — ZIDI, program za elektronski računar — rangiranje rasporeda piljenja na jarmači pri volumnom iskorišćenju. Bilten ZIDI 7 (1) (1—52), Zagreb.
- Hitrec, V., 1979.: Određivanje rasporeda pila za piljenje jelovih trupaca metodom simuliranja. Bilten ZIDI 7 (5) (35—41), Zagreb.
- Hitrec, V., 1980.: Arrangement of the saw blades by using computer technique while sawing softwood on frame saws IUFRO, Division 5 Conference, Abstracts p. 94, Oxford.
- Hitrec, V., 1981.: Određivanje rasporeda pila metodom simuliranog piljenja trupaca na jarmačama. Drvna industrija 32 (1/2) (13—20), Zagreb.
- Hitrec, V., 1982.: Kvalitativna komparacija različitih rasporeda, s obzirom na volumno iskorišćenje trupaca kod piljenja na jarmačama. Utjecaj debljine, dužine i pada promjera trupca, te širine raspiljka i netočnosti piljenja. Drvna industrija 33 (3/4) (59—73), Zagreb.
- Hitrec, V., 1983.: Utjecaj debljine, dužine i pada promjera trupca, te širine raspiljka i netočnosti piljenja na volumno iskorišćenje trupca kod piljenja na jarmačama te neke ideje za sortiranje trupaca. Bilten ZIDI 11 (4) (49—64), Zagreb.
- Hitrec, V., 1984.: Matematički modeli i rješenja nekih problema u šumarstvu i tehnologiji drva. Disertacija, Prirodoslovno matematički fakultet, Zagreb.
- Karnauhova, Z. M. & G. A. Elkin, 1960.: Album postavov dlja raspilovki breven na stroiteljnije pilomaterijali, GOSLESBUMIZDAT, Moskva.
- Klem, G. G. & O. Karlsen, 1951.: Skurutbyttets vark. NTI., Nr. 1. Meddelelser.
- Knežević, M., 1954.: Najbolje kvalitativno iskorišćenje trupaca pri rezanju jed-nakih debljina dasaka, Glasnik za šum. pokuse 8 (43—62), Zagreb.
- Knežević, M., 1956.: Racionalna prerada drveta na gateru. Institut za ispitivanje materijala NR Srbije, »Građevinska knjiga«, Beograd.
- Kugler, M., 1965.: Linearno programiranje u proizvodnji piljenog drva. Drvna industrija 16 (1/2) (8—13), Zagreb.
- Leslie, H. C.: Increased lumber recovery with computerized sawing, FPL, Madison. (Separat kod autora ovog rada, bez podataka o izvoru).

- Lewis, D. W., 1977.: Einsatz der elektronischen Datenverarbeitung (Computerisierung) zur komplexen Leistung — und Kostenerfassung von der Sortenkalkulation, Internationaler Kongress für die Sägenindustrie, München.
- Maun, K. W., 1977.: An economically viable computer-aided conversion system for British sawmills. Bre information PRL. Backinghamshire.
- Pearson, E. S., 1926.: A further note on the distribution of Range in samples taken from a normal population. *Biometrika* 18 (173—195), Cambridge.
- Pliessing, H. & E. Sondermann: Cutting for maximum value using computer programming techniques. (Separat kod autora ovog rada, bez podataka o izvoru).
- Pranjić, A., 1970.: Sastojinske visinske krivulje hrasta lužnjaka. *Šumarski list* 94 (7/8) (201—220), Zagreb.
- Sledeckij, I. F., 1947.: Postava na raspilovku breven. Moskva-Leningrad.
- Tippet, L. H. C., 1925.: On the Extreme Individuals and the Range of Samples taken from a Normal Population, *Biometrika* 7 (364—388), Cambridge.
- Titkov, G.G., 1955.: Kratkoe rukovodstvo po sostavljeniu i rasčotu postavov. GOSLESBUMIZDAT, Moskva.

VLADIMIR HITREC

MATHEMATICAL MODELS AND SOLUTION
OF CERTAIN PROBLEMS IN FORESTRY
AND WOOD TECHNOLOGY

Summary

1. About four methods of determining volume of all logs in a pile

Since an accurate measurements of certain objects is never possible, we must always be satisfied with approximations. An approximation becomes sufficient information only when the information of error stands by it. If there is no information of error, then only a half-truth is available, which can cause more damage than lack of information.

In saw-milling the volume of logs in a pile is estimated by four different methods.

$$V = \frac{\pi}{4} \sum h_i \cdot d_i^2 \quad (1)$$

$$V_1 = N \cdot \frac{\pi}{4} \left(\frac{1}{N} \cdot \sum h_i \right) \cdot \frac{1}{N} \sum d_i^2 \quad (2)$$

$$V_2 = N \cdot \frac{\pi}{4} \left(\frac{1}{N} \cdot \sum h_i \right) \cdot \left(\frac{1}{N} \sum d_i \right)^2 \quad (3)$$

$$V_3 = \frac{\pi}{3} \sum h_i (R_i^2 + R_i r_i + r_i^2). \quad (4)$$

It is summed up by i over all N logs and h_i , d_i , R_i , resp. r_i are length, diameter in the length midst and the diameter of a larger or smaller i -th log.

The use of relation (1) is given by standard. Relations (2) and (3) are often used for simplicity, because we have available data about the average diameter, resp. the average length of logs. Relation (4) is used recently because of a need for an accurate calculation and the possibilities which the computers offer.

We showed that

$$\Delta = V - V_1 = \frac{N \cdot \pi \cdot \text{rod}^2 \cdot \text{ch}}{4}$$

and we made some estimates for a relative error Δ/V .

We also made an estimate for the error $\delta = V_3 - V$. In the end, it is underlined that $V_1 \geq V_2$ are always valid.

2. About one method of estimation

In practice we can often find the term »coefficient« meaning a certain constant by which »transformations« are performed from one value into another. In forestry and in timber industry practice we speak for inst. about the »coefficient of capacity yield«, »coefficient of material flow«, coefficient of quantity yield of logs«, »coefficient for calculation of fuel consumption«, etc. It relates to the following: On the elements of a basic statistical set the two features are defined: X and Y. On n elements of samples the values (x_i, y_i) , $(i = 1, \dots, n.)$ are measured. Then the value k is calculated in one of the following two ways:

$$k = \frac{\sum y_i}{\sum x_i} \quad \text{or} \quad k = \sum \frac{y_i}{x_i},$$

and it is considered that

$$Y = kX$$

is valid.

We know that this is applied in other professions as well.

It is obvious that such an estimate is often erroneous.

It is pointed out, in this study, that such estimates might be erroneous and why they might be erroneous.

It is stated that correct models for such problems are models of regression analysis.

The models proposed attracted attention of researches and specialists.

3. Fitting of measuring data by functions of the form $y = C + Af(x, B)$

A set of points has been given $T(x_i, y_i)$, $(i = 1, \dots, n)$.

It is necessary to determine A, B and C so that

$$SS = \sum (Y_i - C - Af(x_i, B))^2. \rightarrow \text{minimum}$$

If the function $f(x, B)$ is such that it does not lead to a linear system of the Gaussian equations, then certain transformations should take place which »linearize« the problem, however there is no more the optimum solution, because the minimum deviation of measuring data is not required, but for inst. the minimum deviations of their logarithms or reciprocal values.

In forestry practice such non-optimum solutions are corrected by so-called Mayer's corrections, however the optimum results still have not been obtained.

In this work, a method for arbitrarily accurate fitting for a very wide class of functions $f(x, B)$ has been described. The method is based on the possibilities offered by computers.

4. About construction and interpretation of control charts

The use of control charts as a statistical method for production process control requires fulfilment of certain conditions from theory of samples. In practice they are often neglected and frequently it is impossible to fulfill them completely.

The study discusses certain models used in practice and suggests new models. A notion »PRIMARY MODEL« has been introduced. A doubt has been expressed in useful application of so-called R-chart and it has been pointed out that contemporary calculation possibilities decrease the advantage of use of ranges as variables for the variance estimate.

A table has been attached which can be used in decisionmaking whether the process is out of control.

5. Optimization of sawing of logs by use of computers

A program for simulation of sawing on computers was made.

The program for optimization of sawing according to the quantity yield criterion was named RARAVO, and the program for optimization of sawing according to the value yield was named RAVIDI.

Both programs were developed by taking into account numerous relevant technological factors for sawing fir logs on frame saws.

For a defined log and defined technology of sawing and standards of lumber using these programs we can calculate the quantity of the obtained wood assortments, coarse residue, saw dust and the values of the loss in respect to shrinkage and sawing inaccuracy. Such calculations are feasible for arbitrary saw settings. If for a given log and technology different saw settings are given we can use these programs to calculate the ranged sequence of saw settings concerning the quantity or the value yield.

By changing the factors which effect the quantity yield of logs sawn on frame saws (average diameter, log taper, length) by simulation of sawing we can obtain very detailed data concerning the effects of each of individual factors. Among other results the most interesting is the result of a very significant action of log taper. From these results some facts about assorting of logs prior to conversion logically follow. »Fine« assorting by average diameter (of 2 cms) is not so efficient as when assorting also by log taper.

Received February 11, 1985.

Accepted March 31, 1985.

Author's address:
Faculty of Forestry
Department of Forest
Mensuration
41001 Zagreb, Box 178
Yugoslavia