

BILTEN



DIGITALNI REPRODUKCIJA ŠUMARSKOG FAKULTETA
2018.

S a d r ž a j

str.

Davor Borović, Vladimir Hitrec, Jovan Lončar

Boris Ljuljka

IZRADA SHEMA KROJENJA PLOČA IVERICA
POMOĆU ELEKTRONSKOG RAČUNARA..... 1

Mladen Biffi

REFRAKTOMETRIJSKO ODREĐIVANJE PEN-
TOZANA U DRVU U USPOREDBI SA STAN -
DARDNOM BROMID-BROMAT METODOM..... 22

R e d a k t o r i :

Prof.dr Stanislav Badjun

Asis.dr mr Mladen Figurić

Asis.ing Vladimir Herak

Doc.dr mr Boris Ljuljka

T e h n i č k i u r e d n i k :

Zkatko Bihar

ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

Zavod za istraživanja u drvnoj industriji

41.001 Zagreb, Šimunska 25, p.p.178

P r e d g o v o r

Znanstveno istraživački rad i primjena rezultata tog rada najznačajnija su komponenta u daljnjem razvoju i napretku svake, pa tako i industrije za preradu drva. Usitnjen i neorganiziran znanstveno-istraživački rad, ne može i ne daje one rezultate koji se mogu očekivati od integriranog, timski aktivnog, programski i tematski uključenog na potrebe privrede, čija problematika jeste u području njegove djelatnosti. Prema tome, veći dio programa znanstvenih istraživanja proizlaze iz potreba udruženog rada materijalne proizvodnje, korisnika znanstveno istraživačkih usluga. Neposredno dogovaranje programa znanstveno-istraživačkog rada na području drvne tehnike i tehnologije, uključuje potrebe i zahtjeve udruženog rada, kojega je znanost, također, sastavni dio.

Racionalna upotreba drva, kao i svakog drugog materijala, traži točno poznavanje prirode drva. Činjenica je da su primjenom znanstvenih i tehničkih dostignuća u tehnologiji i upotrebi drva ublaženi ili riješeni neki od prisutnih problema. Primjena sadašnjih ili u budućnosti ostvarenih rezultata znanstvenog rada osigurat će bolju kvalitetu drveta proizvedenog u šumi, omogućit će bolju upotrebu drva, doprinjet će iznalaženju novih načina upotrebe drva, omogućit će poboljšanje nepoželjnih svojstava drva, ostvarit će proizvode iz drva najbolje moguće kvalitete, utjecat će na smanjenje količine otpadaka, usmjerit će procesne tehnike i organizaciju drvne industrije u procesu integralnog (kompleksnog) korišćenja drvne sirovine.

Rad tiskan u ovom broju BILTENA - ZIDI, financirala je Samoupravna interesna zajednica za znanstveni rad u poljoprivredi, stočarskoj proizvodnji, veterinarstvu, šumarstvu, proizvodnji i preradi drva, prehrambenoj industriji i odgovarajućoj trgovačkoj djelatnosti SRH (SIZ IV) i Zajednica šumarstva, prerade drva i prometa drvnim proizvodima i papirrom. On je izradjen u okviru podprojekta 6.6.4, zadatka 6.6.4.4.

IZRADA SHĚMA KROJENJA PLOĀA IVERICA POMOĀU
ELEKTRONSKOG RAĀUNARA

BOROVIĆ DAVOR, HITREC VLADIMIR, LONĀAR JOVAN, LJULJKA BORIS

UVOD

Optimalno korištenje drvnih i nedravnih materijala jedan je od zadataka u podprojektu "Istraživanja na području tehnologije namještaja".

Osnovni materijal za proizvodnju namještaja može se podijeliti, s obzirom na oblik u kojem dolazi kao sirovina za obradu, u dvije grupe:

a) Materijali, koji dolaze u obliku ploča s naglašenim dvjema dimenzijama: dužina i širina. Tu dolaze:

- drvne ploče (stolarske ploče, šperploče, iverice, lesonit-vlaknaticе);
- drvne ploče površinski oplemenjene sintetskim materijalom i sintetske tvrde ploče (ultrapas i dr.);
- spužvasti materijali u obliku ploča;
- tekstilni materijal za tapecirani namještaj u obliku smotanih traka određene širine (bale);
- ostali materijali koji se proizvode u obliku ploča određenih dimenzija.

b) Materijali, koji dolaze kao nepravilan prizmatički oblik sa neravnim bridovima:

- masivno drvo u obliku okrajčenih i neokrajčenih piljenica sa naglašenom dimenzijom dužine,
- drveni materijal pravokutnog oblika minimalne debljine s naglašenom dimenzijom dužine. To su ljuštenj i rezani furniri.

Ovdje će biti govora o izradi shema krojenja i krojenju ploča iverica, iako je problem kod ostalih ploča zamjenjivih dužina i širina isti. Važnost analize i optimalizacije iskorišćenja kod krojenja ploča iverica proizlazi iz velikog učešća tog skupog materijala u gotovom proizvodu.

Doc. dr. Boris Ljuljka; mr. Vladimir Hitrec, viši predavač;
ing. Davor Borović, asistent; svi članovi Zavoda za istraživanje u drvnoj industriji. Mr. Jovan Lončar, nastavnik iz Više matematike na Višoj zrakoplovnoj školi.

Za ilustraciju važnosti iskorišćenja navedenog materijala navesti ćemo primjer iz jedne tvornice namještaja u SR Hrvatskoj, koja u godišnjem programu pored ostalog proizvodi i 2000 garnitura spavaćih soba.

Ukupna vrijednost sirovine i ostalog materijala za navedenu količinu garnitura spavaćih soba iznosi 17,158.025 Din.

Struktura troškova osnovnog materijala (cca 73% od navedene ukupne vrijednosti) prikazana je na slijedećoj tablici:

Vrsta materijala	Vrijednost
Ukočene ploče	5,237.946 Din
Rezana građa	3,611.930 "
Furniri	3,720.915 "
Ukupno	12.570.791 Din

Gruppu "Ukočene ploče" čine slijedeći materijali

Vrsta materijala	Vrijednost
Panel ploče	199.463 Din
Iverice	4,300.500 "
Šperploče	519.943 "
Lesomal	218.043 "
Ukupno	5,237.946 Din

Za navedene materijale iskorišćenje u prosjeku iznosi 89%, što znači da se od ukupno nabavljenog materijala u vrijednosti 5,237.946 Din u proizvod ugrađuje

$$5,237.946 \times 0,89$$

odnosno 4,661.772 Din, a ostatak od 576.174 Din je ukupna vrijednost otpada.

Ako od ukupnog otpada odbijemo dio otpada koji nastaje piljenjem, a koji je neminovan, a za ovaj primjer iznosi 2,5% odnosno 14.404 Din, dobivamo vrijednost dijela otpada od 561.770 Din na čije smanjenje možemo utjecati.

Za ovaj naš primjer teoretski je moguće povećati iskorišćenje materijala na 97,5%.

Navedimo još i to da svaki postotak povećanog iskorišćenja donosi korist proizvođaču u vrijednosti od 52.400 Din.

Iz prethodne kratke analize veličine korisno upotrijebljenog materijala i veličine otpada zaključujemo, da je dobivanje maksimalnog iskorišćenja odnosno minimalnog otpada bitan faktor u krojenju po određenom planu odnosno u izradi shema krojenja, te ćemo sve ostale faktore kojima nije cilj postizanje najvišeg iskorišćenja isključiti iz utjecaja na izradu shema krojenja. Ovo naglašavamo zbog slijedećeg:

Čest je slučaj u praksi da se iz čitavog standardnog formata ploča iverice kroji samo jedan element istih dimenzija.

Spomenuti način krojenja opravdava se brzinom dobivanja potrebnih elemenata, zatim pomanjkanjem prostora za odlaganje elemenata koji odmah ne ulaze u obradu, zaleđivanjem sredstava svih elemenata koji duže vremena čekaju na nastavak proizvodnje itd. Svakako da o svim tim razlozima treba voditi računa, no glavni je cilj dobivanje maksimalnog iskorišćenja što će se na ovaj način tj. krojenjem jednakih elemenata iz jedne ploče postići u vrlo malom broju slučajeva, pa prema tome ovakav način krojenja ne može biti opravdan. Veće se iskorišćenje postiže u slučaju kada za izradu shema krojenja raspoložemo s različitim veličinama elemenata.

Kako je već spomenuto potrebno je raditi tako da shema po kojoj se momentalno kroji sadrži što manji broj elemenata "koji čekaju". No, kako je u većini slučajeva nemoguće postići da takvih elemenata nema, potrebno je za njihovo privremeno odlaganje osigurati izvjestan međuprostor između radnog mjesta krojenja i daljnje obrade. Skrojeni elementi, koji čekaju relativno su malih dimenzija, ne zahtijevaju veliki prostor i sama

je manipulacija s njima olakšana. Ovdje postoje mogućnosti paletizacije, upotrebe viličara i time slaganje u visinu, te se tako na malom prostoru može pohraniti velika količina iskrojenih elemenata različitih dimenzija. U momentu kada se na stroju za krojenje mijenja shema krojenja odnosno započinje krojenje novih elemenata, poželjno je da već postoji izvjesna zaliha novih elemenata (iskrojenih po prethodnim shemama u manjim količinama), kako bi se bez prekida moglo nastaviti snabdijevanjem daljnjeg procesa obrade.

Dakle, prikladnim izborom sheme krojenja, koja sadrži najviše elemenata za momentalno potrebnu daljnju obradu, te vodeći računa o količinskim odnosima bitnim za završno kompletiranje svih elemenata koji sudjeluju u sastavu gotovog proizvoda, osigurava se kontinuitet snabdijevanja slijedećih faza proizvodnje i postizanje visokog iskorišćenja.

Izrada shema krojenja

Sheme krojenja stvaraju se u odjeljenju pripreme proizvodnje, a na njihovoj izradi sudjeluju obično jedna ili dvije osobe, ovisno o veličini asortimana i kapaciteta proizvodnje.

Za samu izradu shema krojenja potrebno je poznavati slijedeće elemente:

1. Plan proizvodnje,
2. Raspoložive dimenzije sirovina (ploče),
3. Tehnološke mogućnosti stroja za krojenje,
4. Mogućnost krojenja otpada.

1. Za izradu optimalne sheme krojenja potrebno je poznavati definirani plan proizvodnje za što duži vremenski period, kojim su određene potrebne količine elemenata pojedinih dimenzija, koje je potrebno iskrojiti.

2. Raspoložive dimenzije sirovine. Tržište danas raspolaže sa velikim izborom dimenzija, što međutim ne znači da su u svakom momentu sve te dimenzije dostupne proizvođaču namještaja. Zbog toga moramo voditi računa o momentalno raspoloživim dimenzijama i verica ili raditi nekoliko varijanti krojnih shema, svaku za drugu dimenziju ploče, od kojih će

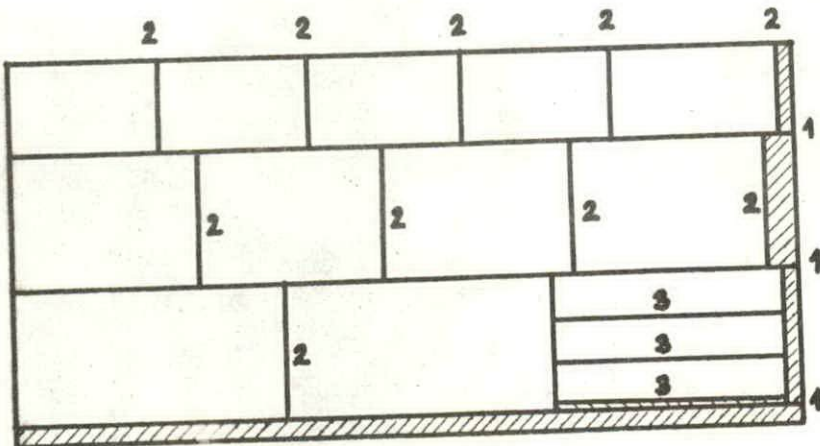
neke ili samo jedna biti na raspolaganju u momentu krojenja. Značajnu ulogu u uštedi materijala ima i mogućnost specijalne narudžbe kod proizvođača iverica.

Ovdje je svakako potrebno naglasiti, da optimalizacija krojenja u smislu smanjenja škarta, nesumnjivo daje najbolje rezultate ako se krojenje provodi u tvornici iverica.

3. Tehnološke mogućnosti stroja za krojenje. Stroj i s njim u vezi tehnologija krojenja postavlja izvjesne uvjete koje sheme krojenja moraju zadovoljavati:

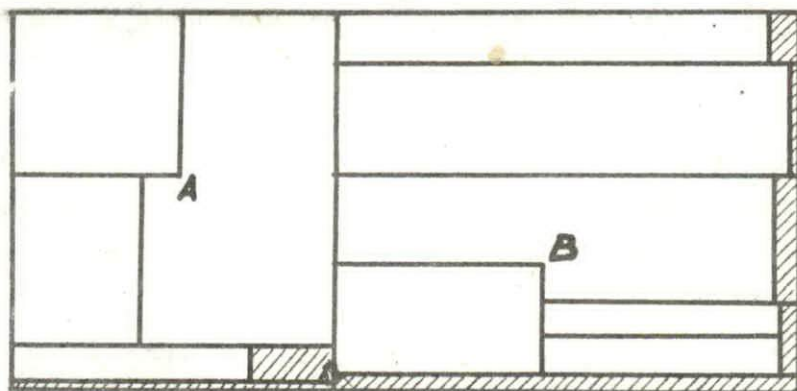
a. rezovi moraju biti međusobno okomiti

b. u pojedinim fazama krojenja ploča, počevši od prve (standardne) dimenzije, rezovi moraju prolaziti kroz čitavu dužinu odnosno širinu ploče (tzv. "giljotina problem"). Poslije izvođenja prvih rezova, zakretanjem iskrojenih međuelemenata za 90° prema ravnini lista pile ili stupanjem u rad (rezanja) poprečnih agregata (što je isto), nastavlja se postupak. Skica jedne takve sheme krojenja prikazana je sa redoslijedom rezova na Sl. 1.



Slika 1.

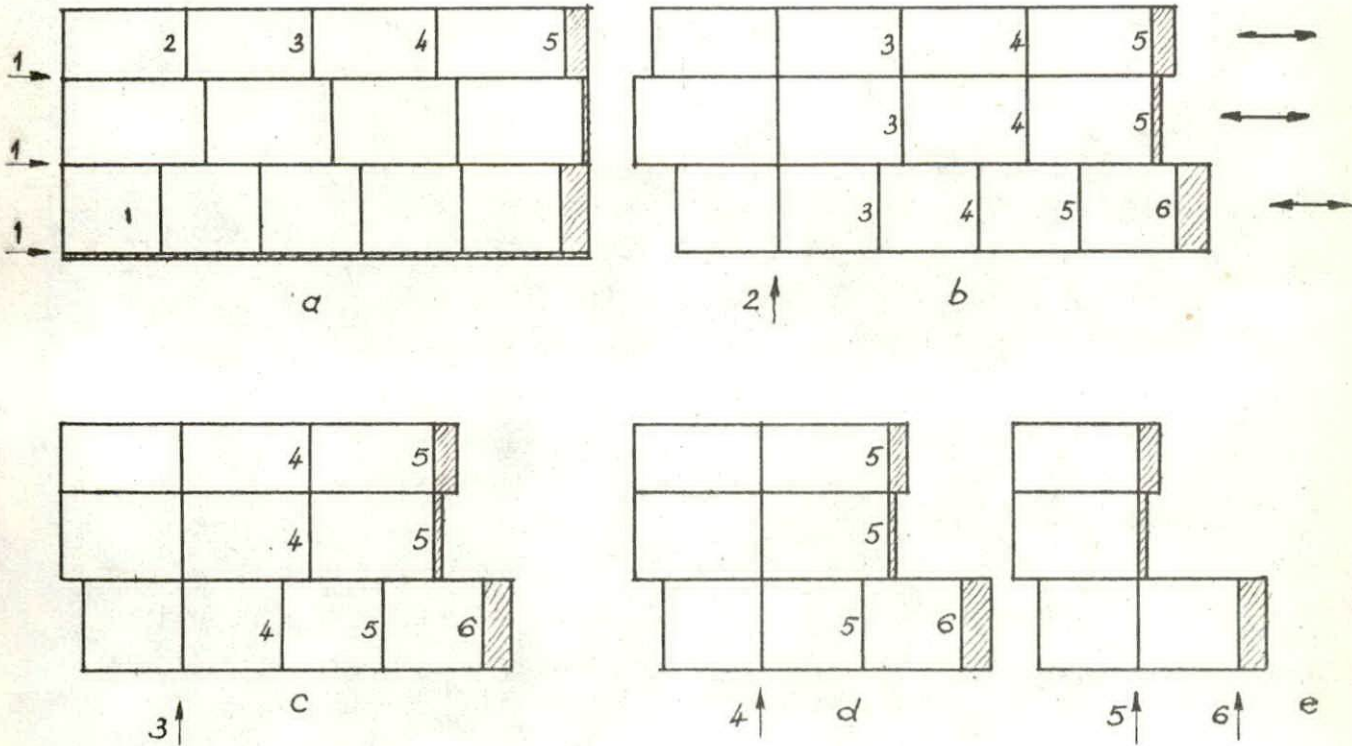
Sheme, kao npr. takva kakva je prikazana na Sl. 2. nisu prikladne za krojenje, te se niti ne upotrebljavaju.



Slika 2.

c. Što se same tehnologije krojenja ploča tiče, postoje različite izvedbe strojeva više ili manje automatiziranih, većeg ili manjeg kapaciteta. Ploče standardnog formata postavljaju se na stol stroja u horizontalni ili vertikalni položaj (jedna ili više ploča ovisno o njihovoj debljini), a rezove vrše kružne pile s umetnutom oštricom od tvrdog metala. Pomak kod rezanja izvodi se kretanjem pojedinih agregata po nosačima, koji se nalaze ispod ili iznad ploča. Kompliciraniju izvedbu ima stol na kojem leže ploče. Sastoji se od segmenata koji se nakon prethodnih rezova mogu pomicati i tako postavljati buduće poprečne rezove u pravac (npr. prema Slici 3, rez broj 2, staviti pravac nakon reza br. 1 i odjednom izvršiti cijeli rez br. 2, te nastaviti postupak).

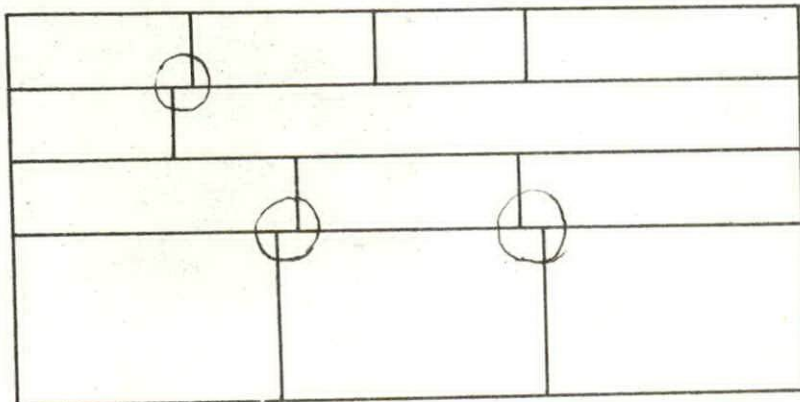
Ovakvi načini rezanja ne postavljaju nikakve dodatne uvjete na sheme krojenja, te one imaju više stupnjeva slobode, dakle mogu biti optimalnije u smislu iskorišćenja sirovine.



Slika 3.

Raspolažemo li sa strojem koji ima više poprečnih pila, željeli bi izvršiti što je više poprečnih rezova najedamput.

Kod nekih strojeva međutim nastaje tzv. problem čvorova, jer se pile za poprečne rezove nemogu namjestiti proizvoljno blizu. Takva kritična mjesta shematski su prikazana na Sl. 4.



Slika 4.

4. Mogućnost korišćenja otpada

Zbog visoke cijene sirovine, proizvodne organizacije namještaja, pokušavaju naći prikladne načine da kupljenu sirovinu što je moguće više iskoriste. Otpad koji ostaje poslije krojenja ploče pokušava se naknadnom doradom iskoristiti. Tako se pojavio pojam "koristan otpad" (iako se sav otpad na neki način koristi makar i u peći kotlovnice). Dijelovi ploča iverica, koji su za to pogodni, lijepe se na posebnom stroju te ponovno kroje u potrebne elemente. Neki proizvođači, širinski lijepe do četiri elementa za dobivanje potrebne dimenzije.

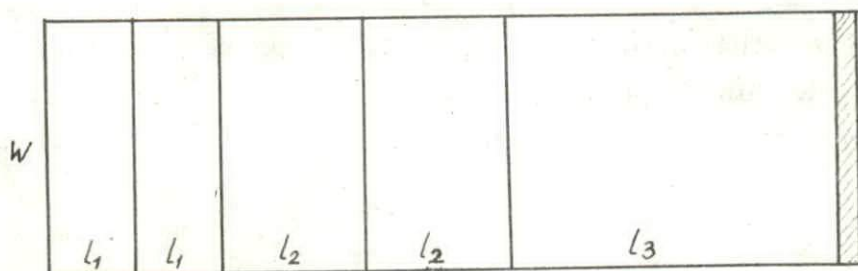
Iako je za taj posao potreban i čovjek i stroj i ljepilo i naknadna obrada to se ipak isplati, zbog skupoće materijala i zbog velikog otpada još uvijek upotrebljive iverice. Neke radne organizacije računaju sa lijepljenjem već kod izrada shema krojenja, tako da one označavaju elemente koji će se naknadno lijepiti. Druge radne organizacije, lijepljenje ne stavljaju u sheme, već od otpada koji je napadao, radnik koji na tome radi, lijepljenjem formira potrebne dimenzije. Naravno da su oni koji lijepljenje planiraju shemama u prednosti što se tiče optimalizacije krojenja.

Iako je do tačnih podataka teško doći, ipak smo zabilježili da se iskorišćenje ploča iverica zajedno sa lijepljenjem korisnog otpada, kreće negdje između 80% i 90%. Bacamo (ili znatno smanjujemo vrijednost) dakle više od 10% vrlo skupe sirovine.

II MATEMATIČKE METODE

Kod krojenja ploča susrećemo se s raznim slučajevima. Spomenimo samo neke.

1. SLUČAJ: Širine elemenata jednake su širini ploče koja se kroji Sl. 5.



Slika 5

Ovdje se traži optimalno smještanje samo po duljini. Na isto se svodi i slučaj kad je širina ploče $W < 2 \min w_i$ (w_i - širina elemenata koji se kroje). Tim je dvodimenzionalni problem reduciran na jednodimenzionalni, koji se matematički formulira na slijedeći način. Naći:

$$\max \sum C_j X_j \quad (1),$$

uz ograničenja

$$\sum l_j X_j \leq L \quad (2),$$

$$X_j \geq 0 \quad \text{i cijeli brojevi} \quad (3).$$

gdje: C_j - cijena elementa $l_j \times w_j$,
 X_j - broj elemenata, "
 l_j - duljina j-tog elementa,
 L - duljina ploče iz koje se kroji.

Jedan od načina rješenja prednjeg problema je da se definiše funkcija

$$F_k(y) = \text{Max} \sum_{j=1}^k C_j X_j \quad 1 \leq k \leq n \quad (4),$$

gdje

$$\sum l_j X_j \leq y \quad 0 \leq y \leq L \quad (5),$$

gdje $F_k(y)$ - znači maksimalnu vrijednost funkcije cilja, koju se dobije kad se elementi biraju iz prvih k -elemenata l_j , a ukupna duljina svih elemenata ne prelazi y .

$$F_0(y) = 0 \quad \text{za sve } y \quad (0 \leq y \leq L)$$

To je slučaj kad nije smješten ni jedan element.

$$F_k(0) = 0 \quad \text{za sve } k \quad (0 \leq k \leq n)$$

Imamo

$$F_1(y) = \sum_{j=1}^1 C_1 X_1 = C_1 X_1 \quad (a)$$

uz uvjet

$$\sum l_1 X_1 = y \quad (b)$$

Iz (b) dobijemo

$$X_1 = \frac{y}{l_1} \quad (c)$$

Ako izraz za X_1 iz (c) stavimo u (a) dobijemo

$$F_1(y) = C \left[\frac{y}{l_1} \right]$$

gdje $\left[\frac{y}{l_1} \right]$ označava cijeli dio od $\frac{y}{l_1}$

Tako dolazimo do rekurzivne formule pomoću koje vršimo računanje

$$F_K(y) = \max \left[F_{K-1}(y); F_K(y - l_K) + c_K \right] \quad (6).$$

Primjer: $y = 9$ $l_1 = 2$ $c_1 = 3$
 $l_2 = 3$ $c_2 = 4$

Ovdje imamo ove varijante krojenja:

VAR. I $F_1(g) = 4 \cdot 3 = 12,$
VAR. II $F_2(g) = 3 \cdot 4 = 12,$
VAR. III $F_2(g) = 3 \cdot 3 + 1 \cdot 4 = 13,$
VAR. IV $F_2(g) = 1 \cdot 3 + 2 \cdot 4 = 11.$

Vidimo da je treća varijanta optimalna jer je $F_2(g) = 13$.
U navedenom primjeru riješili smo čak općenitiji problem kad cijena nije proporcionalna veličini elementa.

2. SLUČAJ: Krojenje se vrši iz ploča različitih duljina. To je isti problem, samo što ima puno više posla i na njemu se nećemo zadržavati.

3. SLUČAJ: To je slučaj kad su širine i duljine elemenata $l_i \times w_i$ nekoliko puta manje od dimenzija ploče iz kojih se kroje. Ako se radi o iverici onda nije važno što se uzima za duljinu, a što za širinu tj. elementi mogu na ploči

rotirati. Mi se na ovom mjestu ne možemo upuštati u matematičke detalje zato ćemo dati samo globalan uvid u problem.

Pretpostavimo da imamo na raspolaganju dovoljan broj ploča slijedećih dimenzija:

$$L_1 \times W_1 ; \quad L_2 \times W_2 \quad \dots \quad L_K \times W_K$$

s pripadnim cijenama po komadu $C_1, C_2 \dots C_K$.

Recimo da treba iskrojiti slijedeće elemente:

1.	$l_1 \times w_1$	komada	g_1
2.	$l_2 \times w_2$	"	g_2
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
m	$l_m \times w_m$	"	g_m

Tražene elemente treba izrezati iz jedne od naprijed navedenih dimenzija ploča ili istovremeno iz više njih i to uz minimalne troškove.

Označimo sa $R_1, R_2 \dots R_j$ sve moguće načine krojenja odnosno sve moguće sheme krojenja. Kod rješavanja praktičnih problema broj mogućih shema krojenja kreće se i do stotinu milijuna pa i više.

Definiramo li funkciju

$$Z = \sum_j C_{p_j} X_j$$

tada je matematički problem naći minimum te funkcije tj.

$$\text{Min } Z = \sum_j C_{p_j} X_j \quad (7)$$

uz ograničenja

$$\begin{aligned}
 a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &= g_1 \\
 a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &= g_2 \\
 &\cdot \\
 &\cdot \\
 &\cdot \\
 a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n &= g_m
 \end{aligned} \tag{8}$$

$$x_j \geq 0 \quad \text{i cijeli brojevi} \tag{9}$$

To je kao što vidimo problem linearnog programiranja,

gdje: p_j - indeks ploče koju krojimo,

x_j - broj ploča koje će se krojiti po R_j shemi krojenja
(te brojeve treba tek odrediti),

a_{ij} - broj elemenata $l_i x w_i$, koji se nalazi u R_j -toj shemi krojenja.

Vidimo da (8) možemo napisati u obliku

$$\begin{pmatrix} a_{11} \\ a_{21} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ a_{m1} \end{pmatrix} x_1 + \begin{pmatrix} a_{12} \\ a_{22} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ a_{m2} \end{pmatrix} x_2 + \dots + \begin{pmatrix} a_{1n} \\ a_{2n} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ a_{mn} \end{pmatrix} x_n = \begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ g_m \end{pmatrix} \tag{8'}$$

I stupac II stupac ... n-ti stupac

Primijećujemo da svaki stupac u stvari predstavlja jednu shemu krojenja. Znači, da broj tih stupaca može biti i do 100 milijuna, u čemu i jeste problem, čak da i znamo sve moguće načine krojenja.

Uzmimo jednu konkretnu ploču $L \times W$ i nju režemo po du-
ljini na trake i to:

y_1 komada trake širine w_1 ,
 y_2 " " " w_2 ,
.
.
.
 y_m " " " w_m .

Kod rezanja traka moramo voditi računa da ukupna ši-
rina svih traka, uključujući i propiljke, mora zadovoljavati
uslov

$$\sum w_i y_i \leq W \quad (10).$$

Kad smo dobili trake onda se u njih smještaju elemen-
ti $l_i \times w_i$. Kod toga je očito da u svaku $w_i \times L$ možemo smjesti-
ti samo one elemente, čija je širina manja ili jednaka ši-
ri- ni dotične trake w_i .

Naime, mi u trake širine w_i ($i = 1, m$) smještamo na
optimalan način i režemo:

Z_{i1} - elemenata duljine l_1 , širine $\leq w_i$
 Z_{i2} - " " " l_2 , " $\leq w_i$
itd.

Očito da ukupna duljina svih elemenata smještenih u
traku širine w_i mora zadovoljavati uslov

$$\sum l_j z_{ij} \leq L \quad (11).$$

Imamo li ploče različitih dimenzija tada (10) i (11)
treba zadovoljiti za sve dimenzije.

Znamo da se ploče prvo režu u trake, a onda se trake

vrši se u dvije faze koje odgovaraju dvjema fazama samog rezanja i to:

- I-rezanju ploča u trake,
- II- " traka u elemente

Određivanje optimalnog rasporeda elemenata $l_i \times w_i$, u traci širine w_j i dužine L , ekvivalentno je rješavanju slijedećeg problema. Naći

$$\text{Max } \sum \pi_i b_i \quad b_i \leq 0 \text{ i cijeli brojevi} \quad (12),$$

uz ograničenja

$$\sum l_i b_i \leq L \quad (13).$$

Sumiranje se vrši samo po onima $l_i \times w_i$, za koje je $w_i \leq w_j$.

π_i - su cijene linearnog programa za $l_i \times w_i$ - elementa (ove cijene ne smijemo miješati s cijenama elemenata)

b_i - broj elemenata $l_i \times w_i$ u danoj traci

Kao što vidimo (12) i (13) je tzv. problem "ranca" koga treba riješiti.

Problem rješavamo pomoću izraza oblika (6) i to za sve širine w_i i dužine L_i . Tako dolazimo do tablice - matrice vrijednosti

$$P_{ij} = \max F(L) \\ 0 \leq L \leq L_j$$

To je maksimum vrijednosti od smještanja elemenata u traku širine w_i , a dužine L_j . Kad smo jednom izračunali te vrijednosti za najdulji L_j onda smo ga izračunali i za sve ostale kraće L_j .

Odredivši kako ćemo smjestiti elemente $l_i \times w_i$ u trake, prelazimo na drugu fazu, tj. određujemo koje ćemo trake koristiti. No, to je opet novi problem "ranca", koji glasi:

$$\text{Max } \sum P_{ij} y_i - C_j \quad y_i \leq 0 \quad \text{i cijeli} \quad (14),$$

uz ograničenje

$$\sum w_i y_i \leq W_j \quad \text{za neki } 1 \leq j \leq K \quad (15),$$

gdje: y_i - broj traka širine w_i , sadržanih u ploči koja se reže,

C_j - jedinična cijena ploče dimenzije $L_j \times W_j$,

W_j - širina ploče,

P_{ij} - elementi matrice P_{ij} , koje smo izračunali u prvoj fazi tj. prethodnom problemu "ranca".

Tvrdnja: Ako ne postoji vektor Y ni indeks "j", za koji je izraz u (14) pozitivan, tada je tekuće rješenje optimalno.

Problem "ranca" (14) - (15), rješava se također pomoću izraza oblika (6). Kod toga se generira još jedan vektor I iste dimenzije kao i F_K u (6) čije komponente govore koji je izraz u [] formule (6) veći, a to nam služi da odredimo koje su trake u optimalnom rješenju korištene.

Svrha ovog članka nije da se detaljno izloži matematički aparat, zato dalje nećemo ulaziti u detalje, već konstatiramo da je matematički aparat razrađen, algoritam uspješno odabran, program za elektronski računar je napravljen i po istom se već nekoliko godina uspješno vrše proračuni shema krojenja za tvornice namještaja uz otpad koji se kreće od 2-5% (uključujući i otpad na propiljke), što ovisi o pogodnosti kombinacije elemenata koji se kroje. Program je univerzalan u smislu mogućnosti krojenja bilo kakvog pravokutnog materijala u manje pravokutnike.

III PRIMJERI

Navodimo samo jedan od mnogih primjera koji su do danas praktično realizirani.

Tvornica je dala slijedeće podatke:

1. Raspoložive dimenzije ploča 4000 x 1850 i 3500 x 1850;
2. Propiljci po duljini i širini 5 mm;
3. Odnos cijena je $C_1 : C_2 = 40 : 35$ tj. cijene su proporcionalne duljinama;
4. Dimenzije elemenata i količine kako slijedi:

1.	790 x 210	komada	2620
2	1895 x 215	"	720
3	510 x 360	"	150
4	430 x 125	"	150
5	1010 x 460	"	630
6	465 x 125	"	560
7	930 x 125	"	800
8	485 x 465	"	440
9	955 x 400	"	150
10	1465 x 465	"	560
11	1010 x 560	"	350
12	955 x 530	"	350
13	955 x 310	"	560
14	970 x 295	"	1540
15	1470 x 525	"	280
16	520 x 310	"	140
17	795 x 310	"	140

Dobiveni su slijedeći rezultati:

Kada se krojilo iz ploča 4000 x 1850 otpad je bio 3,1%.

Kada se krojilo ploče dimenzija 3500 x 1850 otpad je bio također 3,1%.

Navedena podudarnost je slučajna i nije neinteresantna. Budući da je s manjim pločama lakše manipulirati ovdje će se sigurno odebrati ploče 3500 x 1850.

Interesantno je vidjeti za koliko se otpad može smanjiti, ako imamo za navedeni primjer na raspolaganju ploče 5 različitih dimenzija.

Raspolažemo li dimenzijama ploča:

1. 3300 x 1850
2. 3400 x 1850
3. 3500 x 1850
4. 3600 x 1850
5. 3700 x 1850

tada se gornji elementi mogu iskrojiti uz otpad 2,8%.

Raspolažemo li dimenzijama ploča:

1. 3800 x 1850
2. 3900 x 1850
3. 4000 x 1850
4. 4100 x 1850
5. 4200 x 1850

tada se gornji elementi mogu iskrojiti uz otpad 2,5%.

Iz ovog primjera je vidljivo da mala promjena u dimenziji ploča, odnosno kombinacija sličnih dimenzija mogu utjecati na otpad. Stvar je proizvođača iverica i tvornica namještaja, da li će i pod kojim uslovima, tvornica iverica raditi uzdužni rez prema zahtjevu potrošača.

Navest ćemo još jedan jednostavan primjer iz kojeg je vidljiv oblik u kojem računar daje shemu krojenja.

Naručeni su slijedeći elementi u odgovarajućem broju komada:

1.	810 x 215	komada	1600
2.	280 x 190	"	640
3.	430 x 190	"	320
4.	930 x 550	"	1440
5.	550 x 380	"	2880
6.	955 x 390	"	320
7.	1530 x 480	"	1280
8.	470 x 440	"	2500
9.	480 x 510	"	320

Izlazne podatke u obliku kako ih ispisuje računar vidimo na Sl. 6 i Sl. 7.

Na Sl. 6 vidimo da se radi o krojnoj shemi br. 3, koja se kroji iz ploče dimenzije 3600 x 1850. Daljnja tabela, na Sl. 7, sadrži podatak da se prvo kroji jedna traka širine 430 iz koje se prvo izrežu 4 elementa navedena pod rednim brojem 5. dimenzije 550 x 380, zatim 7 elemenata navedenih pod rednim brojem 3. dimenzije 430 x 190. Zatim se reže traka širine 480 mm i 930 mm u koje se smještaju elementi navedeni u tablici Sl. 6. Na dnu tabele piše koliki je otpad, na dotičnoj krajnjoj listi, koja konkretno iznosi 5,005%.

Kroj broj 3

Ploča iz zalihe

duljina 3600

širina 1850

TRAKE		ELEMENTI			
Broj	Širina	Broj	Vrsta	Duljina	Širina
1	430	4	5	550	380
		7	3	190	430
1	480	1	8	440	470
		2	7	1530	480
1	930	1	1	215	810
		6	4	550	930

OTPAD 5,005

Slika 6

Pored toga, što u tabeli na Sl. 6 imamo sve podatke na osnovu kojih se može nacrtati shema krojenja, računar još nacрта grubo shemu krojenja na kojoj točkicama označi otpad Sl. 7.

930	1	4	4	4	4	4						
480	8		7			7						
430	5	5	5	5	3	3	3	3	3	3		

Slika 7

Zbog razmjera crtanja, često nije moguće računaru da na shemi krojenja piše dimenzije smještenih elemenata, zato on ispisuje njima pripadne redne brojeve.

Tako će računar mjesto da ispiše 930 x 550, napisati samo redni broj 4, a mi vidimo da broju 4 u spisku elemenata odgovara element 930 x 550 mm itd.

Ovaj rad je samo jedan mali dio opsežne analize koja se provodi u Zavodu za istraživanje u drvenoj industriji, a krajnji joj je cilj da daje i ekonomske pokazatelje na temelju kojih bi proizvođači i potrošači iverica, kao i drugih materijala, mogli postići dogovor o mjestu i načinu sastavljanja proračuna za racionalno krojenje materijala.

REFRAKTOMETRIJSKO ODREĐIVANJE PENTOZANA U DRVU
U USPOREDBI SA STANDARDNOM BROMID-BROMAT METODOM
(Pripremna ispitivanja)

U V O D

Općenito je poznato da se osim celuloze u drvu, kao redoviti pratioci, nalaze i drugi polisaharidi koji se nazivaju drvene polioze (1). Drvene polioze imaju stupanj polimerizacije 70-150 /celuloza 800-3000/. Dijele se na kristalinične celulozane i amorfne hemiceluloze. Celulozan teško hidrolizira i čvrsto je vezan uz celulozu. Hemiceluloza je uz celulozu /40-48%/ i lignin /22-30%/ glavni sastavni dio drvene tvari. U drvetu je ima oko 22-30%, tj. otprilike kao i lignina. Hemiceluloza je sastavljena od poliuronida i nepoliuronida. Poliuronidni dio hemiceluloze je sastavljen od pentozana, heksozana i uronskih kiselina /glukuronske i galakturonske/ a nepoliuronidni dio samo od pentozana i heksozana.

Heksozana ima u drvu listača znatno manje nego pentozana, tj. drvo listača sadrži svega 3-6% heksozana, a 22-25% pentozana. U crnogoričnom drvu ima podjednako i heksozana i pentozana, tj. 10-13% heksozana i 8-12% pentozana. Iz gore navedenog se vidi da u listača pentozani predstavljaju relativno velik dio drvene mase.

Glavni predstavnik pentozana u drvnim poliozama je ksilan /90-95%/. Ksilan se nalazi u svim odrvenjelim stanicama biljke i uz celulozu je najrasprostranjeniji polisaharid. Hidrolizom daje d-ksilozu. Od pentozana dolazi i araban, ali u znatno manjoj količini. U drvu četinjača ga ima 1-2%, a u listača 2-4%.

Budući da drvene polioze predstavljaju značajan dio drvene mase, one se danas kemijski preraduju. Dio polioza koji može provreti preradjuje se u alkohol i druge produkte. Najvažniju preradu drvnih polioza predstavlja hidroliza pentozana u pentoze, odnosno transformacija pentoza u furfural. Furfural ima veliku upotrebu u kemijskoj industriji, između ostalog, posebno za rafinaciju ulja i dobivanje nekih plastičnih masa.

Za određivanje pentozana koriste se mnoge kvantitativne metode koje se temelje na hidrolizi pentozana, odnosno dobivanju i određivanju furfurala. Furfural se određuje cijelim nizom gravimetrijskih i volumetrijskih metoda o kojima je govoreno na drugom mjestu/2/. Najpoznatija i najčešće korištena je tzv. bromid-bromat metoda.

* Doc. dr M. Biffel, Šumarski fakultet-Zagreb

Ovaj rad je izradjen na Šumarskom fakultetu u Zagrebu, pri Katedri za Kemijsku preradu drva, uz suradnju i puno zalaganje Smiljke Štor, kem. tehničara.

Pored klasičnih volumetrijskih i gravimetrijskih metoda postoji i veliki broj fizikalnih i fizikalno-kemijskih metoda. Tako se furfural može odrediti kalorimetrijski nizom reagensa, kao npr. anilinom, ksilidinom i orcinolom /3/. Kao brza i točna metoda spominje se i polarografsko određivanje furfurala /4/.

Spektrofotometrijska i plinsko-kromatografska određivanja spominju se u nizu radova. Ta su određivanja vrlo precizna pa omogućuju i određivanje "nečistoća" u furfuralu. Osim furfurala, preradom sirovina bogatih pentozanima, dobiva se iz pratećih metil-pentozana i heksozana i nešto 5-metilfurfurala, odnosno 5-hidroksimetilfurfurala. Te je pratioce furfurala također moguće odrediti, na čemu je radjeno i posebno sažeto izvješteno /5/.

Posebno je interesantno refraktometrijsko određivanje furfurala. To je, za razliku od spomenutih, brza i jednostavna metoda. Autor je ispitivao tok destilacije furfurala iz kukuruznih klipova, sa i bez dodatka kiseline /1%/. Također su refraktometrijski ispitani i razni sistemi: furfural-voda-octena kiselina-aceton. Pokazalo se da se količine furfurala u destilatu može odrediti relativno brzo i točno /6/.

U ovom i slijedećim radovima pokušat će se refraktometrijska metoda primjeniti za praćenje destilacije furfurala iz drva, tj. refraktometrijski pratiti tok destilacije koji se izvodi za već poznato određivanje furfurala bromid-bromat metodom /7/ i konačno usporediti rezultate određivanja koji se dobiju bromid-bromat metodom i refraktometrijski.

EKSPERIMENTALNI DIO

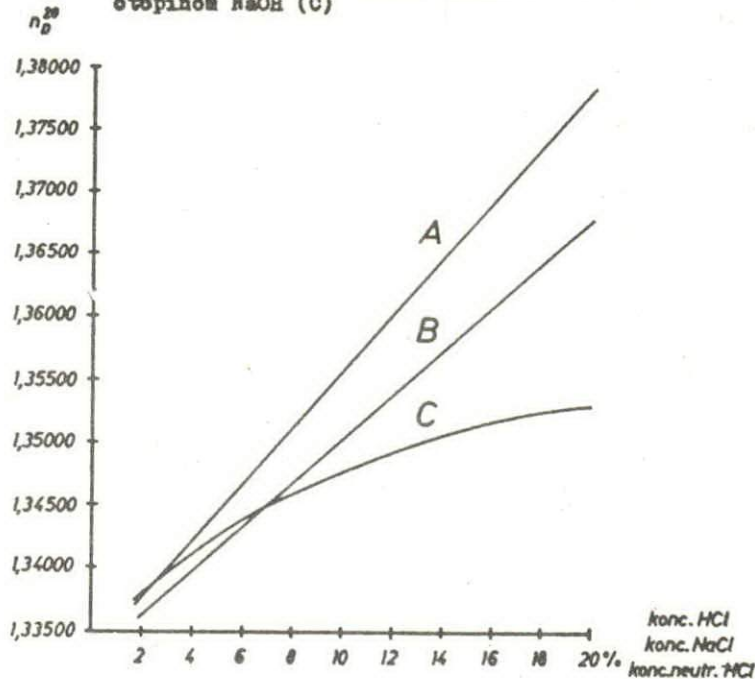
Ispitivanja su izvršena Pulfrichovim refraktometrom povezanim sa Höpplerovim termostatom. Mjerenja su vršena pri 20°C i monokromatskim Na-svjetlom /589,3 nm/.

Budući su prvi rezultati refraktometrijskog praćenja toka destilacije koja se izvodi za bromid-bromat metodu, dali vrlo neujednačene rezultate prišlo se ispitivanju onih otopina koje sudjeluju u reakciji.

Prvo su pripremljene i ispitane 2-20%-tne otopine klorovodične kiseline /p.a. "Carlo Erba"-Milano/ jer se destilacija drva (hidroliza) prema propisu izvodi s 13,15%-tnom otopinom klorovodične kiseline. Rezultate ispitivanja prikazuje pravac "A" na grafu 1.

Slika 1.

Indeksi loma (n_D^{20}) u ovisnosti o koncentraciji klorovodične kiseline (A); koncentraciji Na-klorida (B), koncentraciji klorovodične kiseline neutralizirane s 13,15 %-tnom otopinom NaOH (C)



Budući se pomišljalo da bi bilo korisno tok destilacije pratiti i u neutralnom mediju izvršena su i mjerenja raznih koncentracija otopina natrij-klorida /p.a. "Lafoma"-Skopje/, kao i raznih koncentracija otopina klorovodične kiseline neutralizirane s 13,15%-tnom otopinom natrij-hidroksida /p.a. "Alkaloid"-Skopje/.

Dobiveni rezultati prikazani su pravcem "B", odnosno krivuljom "C" na grafu 1.

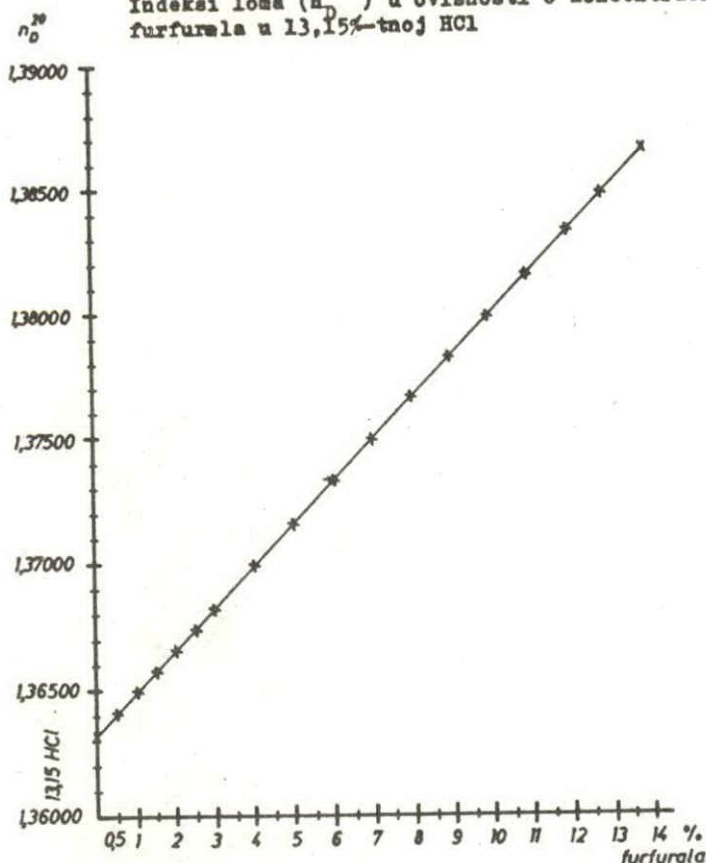
Pravci "A" i "B" ne pokazuju toliko značajnu razliku da bi koja od njih imala prednost, tj. izgleda da neutralan medij ne bi bio bitan za određivanje furfurala. Krivulja "C" učinjena je zbog toga da bi se što sigurnije odredio indeks loma u točki ekvivalencije upotrebene neutralizirane kiseline. Analogan rezultat dobiven je i za indeks loma 13,15%-tne otopine klorovodične kiseline /pravac "A"/.

Nakon tih ispitivanja prišlo se mjerenjima indeksa loma raznih koncentracija furfurala u 13,15%-tnoj otopini klorovodične kiseline. Furfural za te pokuse bio je svježe predestiliran furfural kupljen kao tvornička kemikalija /"Carlo Erba"-Milano, serija 294-22553 Cod. 439600/.

Rezultati tih ispitivanja dani su na grafu 2. Uneseni podaci predstavljaju pravac, a rezultati se mogu vrlo dobro reproducirati.

Slika 2.

Indeksi loma (n_D^{20}) u ovisnosti o koncentraciji furfurala u 13,15%-tnoj HCl

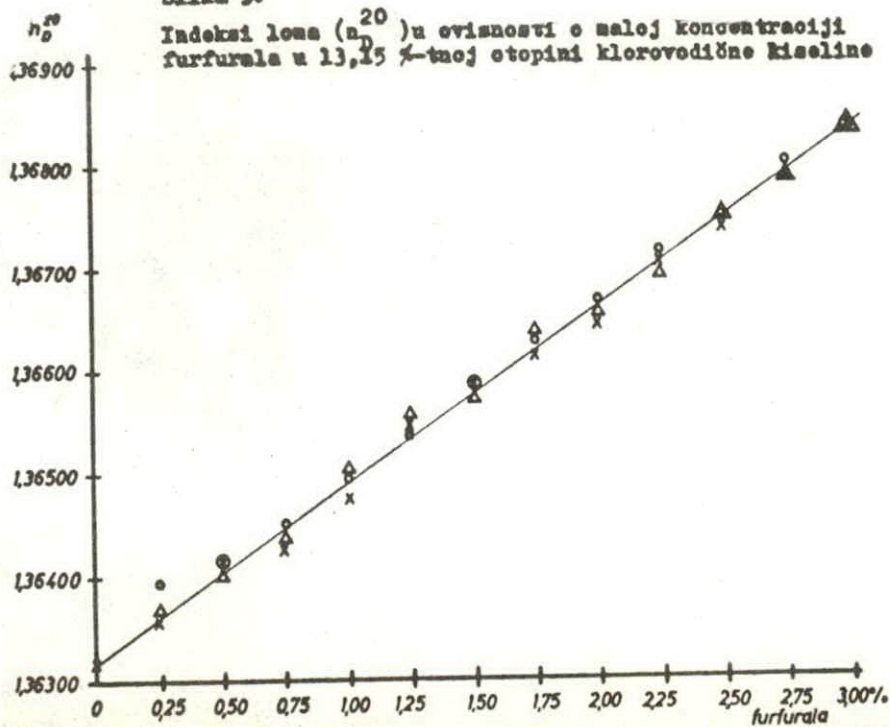


Daljnija mjerenja izvršena su nakon što se primjetilo da su koncentracije furfurala dobivene destilacijom za bromid-bromat postupak malene. Zato je posebno ispitano područje od 0-3% furfurala u 13,15%-tnoj otopini klorovodične kiseline. Rezultati su prikazani na grafu 3.

I ovi podaci ukazuju na pravčasti karakter odnosa između indeksa loma i koncentracije furfurala, ali zbog znatno povećanog mjerila dolazi do izražaja i statističko rasipanje rezultata. Ovaj graf pokazuje rezultate tri niza mjerenja.

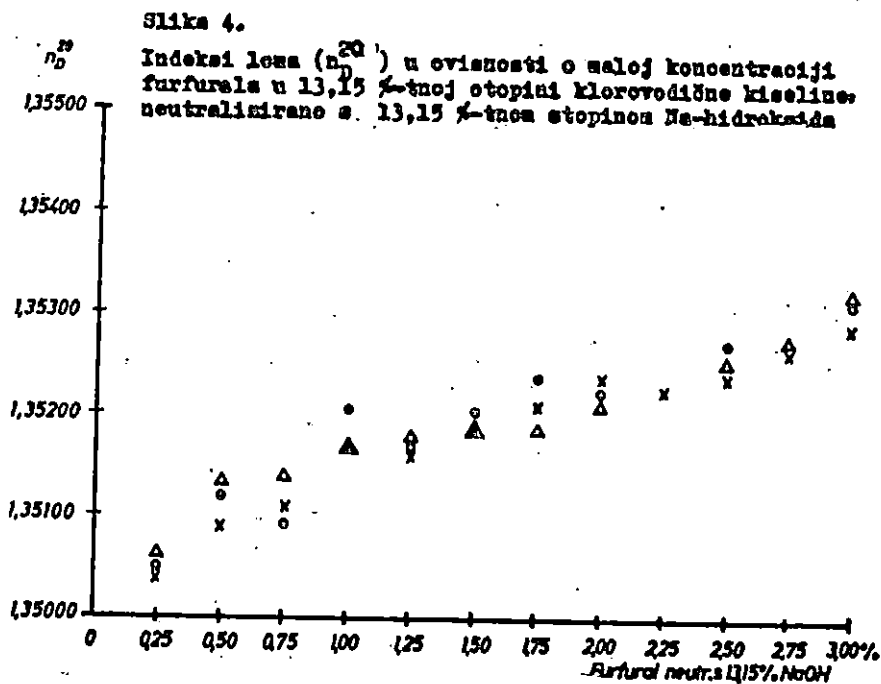
Slika 3.

Indeksi loma (n_D^{20}) u ovisnosti o maloj koncentraciji furfurala u 13,15 %-tnoj otopini klorovodične kiseline



Ispitano je i područje malih koncentracija furfurala u 13,15%-tnoj otopini klorovodične kiseline, s tim da se indeks loma određivao tek nakon neutralizacije s 13,15%-tnom otopinom natrij-hidroksida. Rezultati ovih ispitivanja prikazani su na grafu 4.

U ovom slučaju rasipanje rezultata dolazi do izražaja u velikoj mjeri. Uzrok tome je neutralizacija. Naime, neutralizacija je izvršena s malenim količinama relativno velike koncentracije lužine, tako da je nepreciznost takve neutralizacije logična posljedica. Osim toga, dodatak lužine doprinosi razrjeđivanju ionako male koncentracije furfurala. Rasipanje rezultata i blaga zakrivljenost područja rezultata ukazuje na tešku mogućnost reprodukcije rezultata, odnosno neprikladnost neutralizacije za daljnja ispitivanja.



ZAKLJUČAK

Na temelju izvršenih ispitivanja može se zaključiti da je moguće refraktometrijski odrediti relativno male koncentracije furfurala u vrlo kiselom mediju /13,15%-tna HCl/. Eventualna neutralizacija ne bi doprinjela poboljšanju rezultata, nego bi ga pogoršala. Stoga je u daljnjim ispitivanjima ne bi bilo uputno koristiti.

SAŽETAK

Izvršeno se refraktometrijsko ispitivanje sistema furfural-13,15%-tna otopina klorovodične kiseline, kao i istog sistema neutraliziranog s 13,15%-tnom otopinom natrij-hidroksida.

Rezultati pokazuju da je moguće odrediti i relativno mali postotak furfurala u vrlo kiselom mediju /13,15%-tna HCl/, dok neutralizacija daje slabije rezultate.

LITERATURA

1. Opačić, I.: *Kemijska prerada drva*, Zagreb, 1967.
2. Biffi, M.: *Spektrofotometrijsko i plinsko-kromatografsko ispitivanje furfurala*. Habilitacijski rad, Zagreb, 1969.
3. Dunlop, A.P., Peters, F.N.: "The Furans", Reinhold Publishing Corp., New York, 1953.
4. Stepan, R.A., Holkin, Ju.I., Počapskaja, N.P.: *Gidroliznaja i lesohimičeskaja promišljenost* 16, 23.
5. Biffi, M.: *Spektrofotometrijsko i plinsko-kromatografsko ispitivanje furfurala*. *Glasnik za šumske pokuse*, XVIII, pp 77-123, Zagreb, 1975.
6. Biffi, M.: *Refraktometrijsko određivanje furfurala*, *Bilten Zavoda za istraživanje u drvnoj industriji* br. 2, str. 1-9, Šumarski fakultet, Zagreb, 1973.
7. Opačić, I.: *Određivanje furfurala u sirovinama i vodenim otopinama*, Zagreb, 1968.