

9  
Poštarina plaćena u gotovom

Br. 3-4 God. XXII

**DRVNA**

OŽUJAK-TRAVANI 1971.

**INDUSTRIJA**

ČASOPIS ZA PITANJA EKSPLOATACIJE SUMA, MEHANIČKE I KEMIJSKE  
PRERADE DRVA, TE TRGOVINE DRVOM I FINALNIM DRVNIM PROIZVODIMA



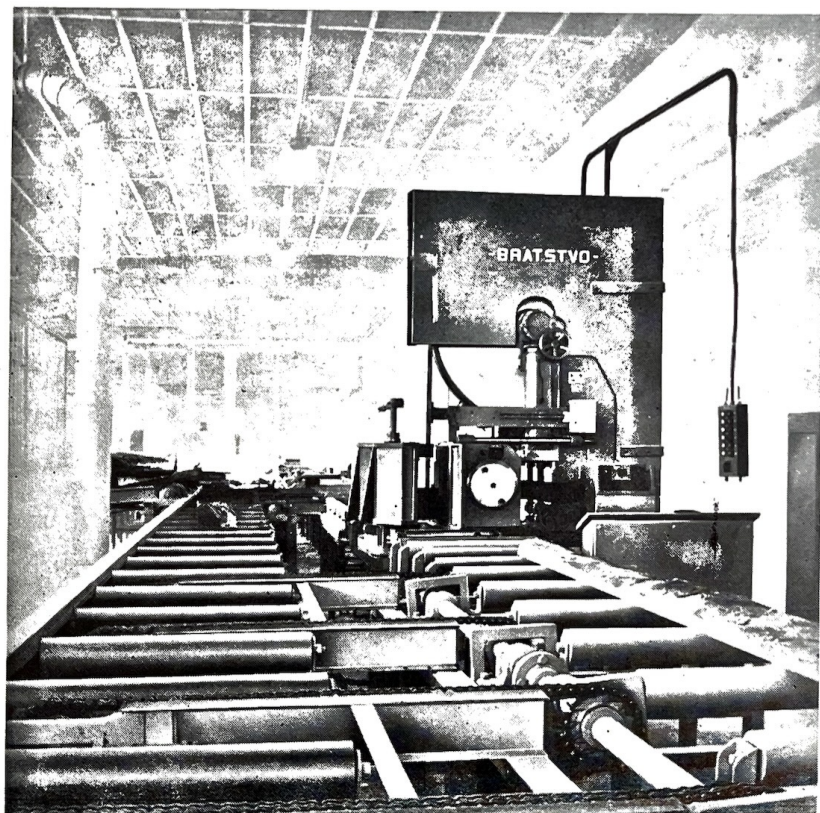
**PRVA JUGOSLAVENSKA TVORNICA STROJEVA ZA DRVO, SPECIJALIZIRANA ZA PILANSKU PROIZVODNJU, PREUZIMA INŽINJERING I OPREMANJE PILANA POTREBNOM OPREMOM**

**Proizvodi pilanske strojeve i strojeve za uređenje lista pile:**

Automatska tračna pila — trupčara	TA-1400
Tračna pila — trupčana	PAT-1100
Rastružna tračna pila	RP-1500
Univerzalna rastružna tračna pila	PO
Pilanska tračna pila	P-9
Automatski jednolični cirkular — gusjeničar	AC-1
Klatna pila	KP-4
Hidraulična podstolna klatna pila	HC-1
Cirkularni čistač reza trupčare	CCR
Automatska oštrilica pila	OP
Razmetačica pila	RU
Valjačica pila	VP-26
Brusilica kosina	BK
Aparat za lemljenje	AL-26

**Proizvodi ostale strojeve za obradu drva:**

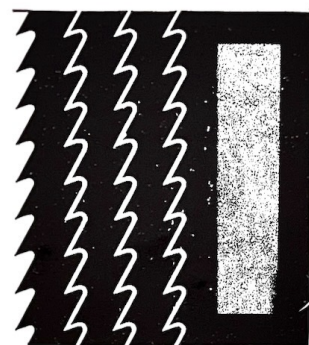
Povlačna pila	PP
Precizni cirkular	PCP-450
Tračna pila	TP-800
Blanjalica	B-63
Ravnalica	R-50
Kombinirani stroj	U-102
Glodalica	G-25
Visokoturažna glodalica	VG-25
Lančana glodalica	LG-210
Horizontalna bušilica	BS-20
Zidna bušilica za čvorove	ZB-3
Stroj za čepovanje	Č-4
Univerzalna tračna brusilica	UTB-1
Automatska tračna brusilica	ATB-1
Ručna kružna brusilica	RKB
Automatska brusilica noževa	ABN-810



TVORNICA STROJEVA

**BRATSTVO**

ZAGREB — Savski gaj, XIII put — Tel. 523-533 — Telegram »Bratstvo-Zagreb«



Svojim poslovnim partnerima s područja drvne industrije želimo

**SRETNU I USPJEŠNU NOVU GODINU 1971.**



# DRVNA INDUSTRIJA

EKSPLOATACIJA ŠUMA — MEHANICKA I KEMIJSKA  
PRERADA DRVA — TRGOVINA DRVOM I FINALNIM  
DRVNIM PROIZVODIMA

GOD. XXIII

OŽUJAK — TRAVANJ 1971.

BROJ 3—4

## IZDAVACI:

INSTITUT ZA DRVO,  
Zagreb, Ulica 8. maja 82

POSLOVNO UDRUŽENJE  
proizvođača drvne industrije  
Zagreb, Mažuranićev trg 6

SUMARSKI FAKULTET  
Zagreb, Šimunska 25

»EXPORTDRVO«  
poduzeće za proizvodnju i promet drva  
i drvnih proizvoda  
Zagreb, Marulićev trg 18

## U OVOM BROJU:

Mirko Biljan, dipl. ing. SUŠENJE DRVA ZRAKOM U SUŠIONICI . . . . .	43
Dr. Zvonko Katović, dipl. ing. Čić Đurđica, dipl. ing. Stjepan Petrović, dipl. ing. NEKA ZAPAZANJA O SINTETSKIM LJEPI- LIMA NA BAZI FENOLNIH SMOLA U PRO- IZVODNJI VODOOTPORNIH SPERPLOČA . . . . .	58
B. Floreani, dipl. ing. Dr. Mr. N. Ban, dipl. ing. RACIONALIZACIJE MANIPULACIJE PROS- TORNOG DRVA NA SKLADISTIMA . . . . .	67
Iz radnih organizacija . . . . .	73
Prilog »CHROMOS-KATRAN-KUTRILIN« . . . . .	76
Nove knjige . . . . .	77
EXPORTDRVO — Informativni bilten . . . . .	78

## IN THIS NUMBER:

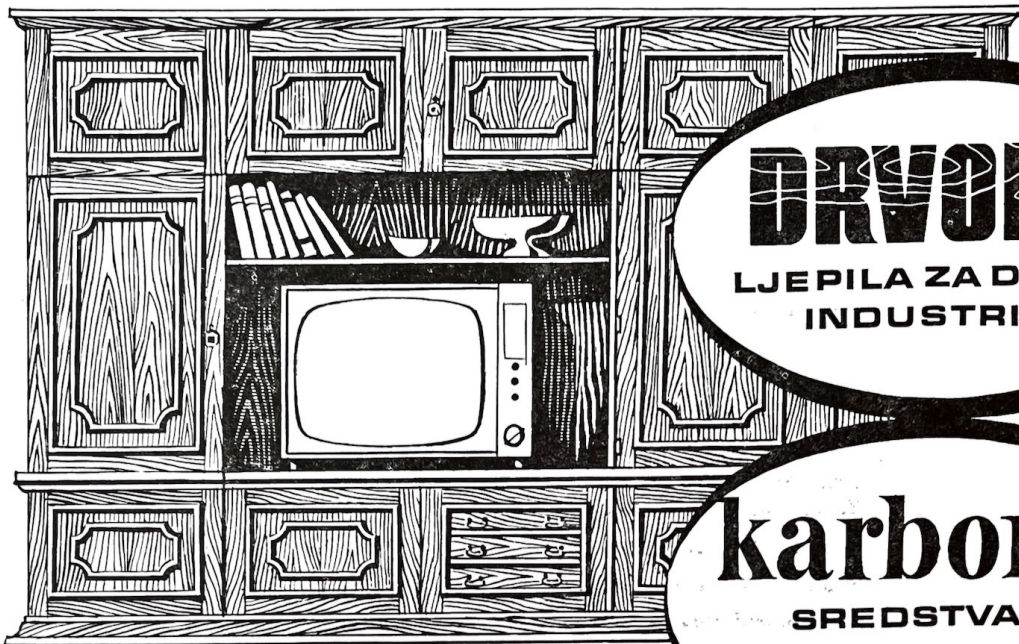
Mirko Biljan, dipl. ing. TIMBER KILN-DRYING BY MEANS OF AIR . . . . .	43
Dr. Zvonko Katović, dipl. ing. Čić Đurđica, dipl. ing. Stjepan Petrović, dipl. ing. SOME OBSERVATIONS OVER SYNTHETIC BINDERS ON PHENOL RESIN BASIS IN THE PRODUCTION OF WATER-RESISTENT PLYWOOD . . . . .	58
B. Floreani, dipl. ing. Dr. Mr. N. Ban, dipl. ing. RATIONALIZATION OF MANIPULATION IN THE PULP AND FUEL WOOD STOCKINGS . . . . .	67
From our Enterprises . . . . .	73
Information from »CHROMOS-KATRAN-KUTRILIN« . . . . .	76
New Books . . . . .	77
»EXPORTDRVO« — Information . . . . .	78

»DRVNA INDUSTRIJA«, časopis  
za pitanje eksploatacije šuma, me-  
haničke i kemijske prerade drva  
te trgovine drvom i finalnim drv-  
nim proizvodima. Izlazi mjesečno.  
Pretplata: godišnja za poje-

dince 40, a za poduzeća i ustanove  
200 novih dinara. Za inozemstvo:  
§ 30. Ziro račun broj 301-3-2419 kod  
SDK Zagreb (Institut za drvo).  
Uredništvo i uprava: Za-  
greb, Ulica 8. maja 82.

Glavni i odgovorni ured-  
nik: Franjo Štajduhar, dipl. in-  
ženjer šumarstva.  
Urednik priloga »Exportdrvo«  
(Informativni Bilten): Andrija Plić.  
Tiskara »A. G. Matoš«, Samobor





# DRVOFIX

LJEPILA ZA DRVNU  
INDUSTRIJU

# karbonit

SREDSTVA ZA  
ZAŠTITU DRVA



**Karbon**

KEMIJSKA INDUSTRIJA ZAGREB

#### DRVOFIX LJEPILA:

- izrađena su iz prvostandardne sirovine
- rezultat su petnaestogodišnjeg iskustva i suradnje s drvnom industrijom
- testirana su kod Instituta za drvo
- daju odlične čvrstoće spojeva
- kvalitetom ne zaostaju za ljepilima najrenomiranih evropskih firmi
- tipizirana su obzirom na primjenu; primjena im je široka; upotrebljavaju se za:

- stolice (tip SPECIJAL)
- stolove i kuhinjski namještaj (tip U)
- komadni i stilski namještaj (tip LP)
- građevnu stolariju (tipovi S, F i G)
- šper i panel ploče (tip F)
- klasične parkete (PARKETOFIX)
- lamel parkete (PARKETOFIX SPECIJAL)

#### KARBONIT BKB

- je fungicidno, insekticidno i protupožarno zaštitno sredstvo za drvo s mnogostranom primjenom
- naročito je prikladno za impregnaciju TT i elektrovodnih stupova, rashladnih tornjeva, krovnih konstrukcija, ograda i sl.

ANGAŽIRAJTE NAŠU SLUŽBU PRIMJENE U RJEŠAVANJU VAŠE PROBLEMATIKE LIJEPLJENJA I ZAŠTITE DRVA





# Sušenje drva zrakom u sušionici (UMJETNO TEHNIČKO SUŠENJE)

## 1. UVOD

Tehničko sušenje drva sve više prodire u tehničku praksu. Kod sušenja u sušari možemo, nezavisno od atmosferskih prilika, mijenjati režim i uvjete sušenja<sup>1</sup>. Promjenom režima i uvjeta sušenja možemo, u širokim granicama, utjecati na tok i brzinu sušenja, a u vezi s tim i na kvalitetu (opseg pogrešaka sušenja) i cijenu finalnog proizvoda.

Za tehničku praksu bit će interesantni oni uvjeti i režim sušenja pri kojima ćemo sušenjem postići najpovoljniji ekonomski efekat. Ekonomski najpovoljniji režim i uvjeti sušenja bit će oni uvjeti i režimi sušenja pri kojima je suma

troškovi sušenja (u din/m<sup>3</sup> materijala) i umanjena vrijednost materijala (u din/m<sup>3</sup> materijala), radi pogrešaka sušenja

najniža. Prema tome, najpovoljniji režim sušenja za određene uvjete sušenja možemo odrediti samo ekonomsko-tehničkom analizom procesa sušenja.

U ovom radu, obradit ćemo metode određivanja najpovoljnijih režima sušenja za izabrane uvjete sušenja?

Pri obradi problematike služiti ćemo se rezultatima rada većeg broja istraživača. Eksperimentalni rad nastojat ćemo čim više suziti, obrađujući problematiku analitički gdje je to racionalno.

U razradi predmeta upozorit ćemo na područja koja bi trebalo temeljitije proučiti (npr. utjecaj promjene t i x, pri istom u na intezitet sušenja g<sub>v</sub>, vidi poglavlje 4.21 i 4.22).

Utjecaj isijavanja sušare na složaj u sušari (može biti znatan) zanemarit ćemo u ovom radu. Spomenuti utjecaj obradit ćemo u posebnom članku.

## 2. PROCES SUŠENJA I NJEGOVO ISPITIVANJE

Na odvijanje procesa sušenja utječe razmjerno veliki broj veličina. Brojčane vrijednosti i međusobnu ovisnost nekih od ovih veličina (npr. u, t, x, g<sub>v</sub>) moći ćemo odrediti samo eksperimentalno, za određenu vrstu i debljinu piljenice. Utjecaje nekih drugih veličina (npr. u<sub>p</sub>, b/B, w, g<sub>sz</sub>) moći ćemo odrediti analitički.

<sup>1</sup> Pod »uvjetima sušenja« razumijemo niz veličina koje su određene karakteristikama sušare ili složaja u sušari (v, d, u<sub>p</sub>, g<sub>sz</sub>, w). Pod režimom sušenja razumijevamo niz veličina koje određuju toplinsko stanje zraka za sušenje (t, x) u ovisnosti od vlažnosti piljenice (u) ili vremena trajanja sušenja (z). Ukoliko se veličine t, x, u, z i g<sub>v</sub> odnose na određenu tačku u složaju, nazvat ćemo ih veličinama stanja sušenja, ili kraće »veličinama stanja«.

<sup>2</sup> Numeričke podatke (za jedan konkretni slučaj) i analizu numeričkih podataka dat ćemo u posebnom članku.

Naravno da ćemo nastojati eksperimentalno odrediti čim manji broj veličina.

### 2.1 Općeniti slučaj sušenja

Međusobni utjecaj i utjecaj na proces sušenja pojedinih veličina koje utječu na proces sušenja u sušari možemo najlakše (ukoliko zanemarimo utjecaj isijavanja sušare) predstaviti simbolično jednadžbom:

$$A(u, t, x, z, g_v, b/B, v, d, u_p, w, g_{sz}) = 0$$

Za kasniju upotrebu bit će pogodnije ako prednju jednadžbu damo u obliku:

$$g_v = \frac{d(u)}{d(z)} = A_1(u, t, x, z, b/B, v, d, u_p, w, g_{sz})$$

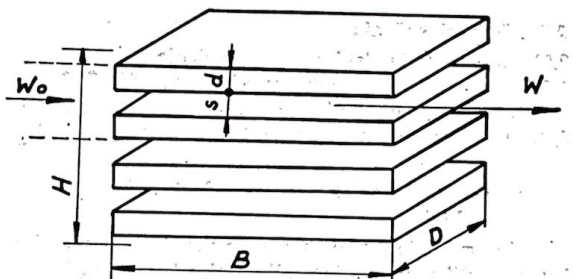
kg H<sub>2</sub>O/kgsm, h . . . . . l<sup>3</sup>

Eksperimentalno određivanje međusobnih ovisnosti promjenljivih, na osnovu jednadžbe 1, bilo bi složeno i skupo<sup>3</sup>. Rezultati ovakvih ispitivanja bili bi nepregledni i teško bi se eksploatirali.

### 2.2 Specijalni slučajevi sušenja složaja drva

Ispitivanjem pod posebnim uvjetima možemo broj varijabla smanjiti, a ispitivanja skratiti i pojednostaviti.

Naravno da ćemo ispitivanja nastojati provesti pri takvim uvjetima koji će nam olakšati ispitivanje i kasniju eksploataciju dobivenih rezultata (preračunavanje na industrijske uvjete sušenja).



Slika 1. — Složaj u sušari osnovne dimenzije i veličine

<sup>3</sup> U jednadžbi 1: u . . . kgH<sub>2</sub>O/kgsz . . . srednja vlažnost daske, g<sub>v</sub> . . . kgsz/kgsm, h . . . specifični protok suhog zraka složajem. Uvođenjem g<sub>sz</sub> u jednadžbu 1, uzimamo u obzir: geometrijski oblik složaja, karakteristike sušare i karakteristike ventilatora. Prema tome uvođenjem g<sub>sz</sub> u jednadžbu 1 bitno smanjujemo broj varijabla i pojednostavljujemo eksperimentalnu i analitičku obradu problema.

<sup>4</sup> Radi velikoga broja promjenljivih.



## 2.3 Sušenje složaja drva u industrijskoj sušari

(jednadžbe općenitog procesa sušenja)

Za geometrijski definiran složaj<sup>5</sup> u određenoj sušari<sup>6</sup> sve veličine u jednadžbi 1 nisu nezavisno promjenljive veličine.

U prednjem slučaju:

- vrsta ( $v$ ), debljina daske ( $d$ ) i početna vlažnost  $u_p$  drva u složaju su stalne veličine.
- od veličina stanja ovisne su veličine

$$w = B(t, x) \quad 2$$

$$g_{sz} = B^*(t, x) \quad 2A$$

Dakle, za određeni slučaj u određenoj sušari, nakon  $z$  sati sušenja, možemo jednadžbu 1 pisati u obliku

$$g_v = \frac{d(u)}{d(z)} = A_1(u, t, x; z, b/B, v, d, u_p, w, g_{sz}) \quad 1A$$

Po integraciji i preuređenju jednadžbe 1A, raspored vlažnosti u složaju nakon  $z$  sati sušenja bit će

$$u = A_2(t, x, g_v; z, b/B, v, d, u_p, w, g_{sz}) \quad 1B$$

U prednjim jednadžbama, veličine  $u$ ,  $t$ ,  $x$ ,  $g_v$  i  $z$  su veličine stanja sušenja<sup>7</sup>.  $b/B$  označava mjesta u složaju na koje se odnose prednje veličine, vidi sl. 3. Veličine  $v$ ,  $d$ ,  $u_p$ ,  $w$  i  $g_{sz}$  određuju uvjete pod kojim sušimo. Veličine stanja sušenja možemo samo eksperimentalno odrediti. Utjecaj veličina koje određuju uvjete sušenja možemo i analitički odrediti.

## 2.4 Sušenje složaja drva kod $g_{sz} = \infty$

(osnovni proces sušenja)

Sušimo li složaj pri  $g_{sz} = \infty$ , veličine stanja  $u$ ,  $t$ ,  $x$ ,  $g_v$ , istovremeno imat će u bilo kojoj tački složaja (za bilo koje  $b/B$ ) istu brojčanu vrijednost. Prema tome spomenute veličine, za osnovni proces sušenja, neovisne su od udaljenosti od početka složaja ( $b/B$ ) i početne vlažnosti složaja ( $u_p$ ).

Prema tome, jednadžbe osnovnog procesa sušenja iz 1A i 1B bi bile

$$g_v = \frac{d(u)}{d(z)} = A_3(u, t, x; z, v, d, g_{sz} = \infty, w) \quad 1C$$

$$u = A_4(t, x, g_v; z, v, d, g_{sz} = \infty, w) \quad 1D$$

## 2.5 Režimi sušenja

### 2.51 Analize Jednadžbi procesa sušenja

2.511 Općeniti proces sušenja vidi poglavlje 2.3.

Kod određenih uvjeta sušenja ( $v$ ,  $d$ ,  $u_p$ ,  $w$ ,  $g_{sz}$ ), intezitet sušenja bit će općenito (iz jednadžbe 1A)

$$g_v = \frac{d(u)}{d(z)} = A_1(u, t, x; z, b/B) \text{ kg H}_2\text{O/kgsm, h} \quad 1A-1$$

U gornjoj jednadžbi možemo veličine  $t$  i  $x$ , a tim i  $g_v$  po volji momentalno mijenjati. Vlažnost piljenice u ne možemo trenutno mijenjati. Promjene vlažnosti piljenice u ovisne su od inteziteta sušenja i vremena trajanja promjene ( $\Delta z$ ). Prema jednadžbi 1A

$$d(u) = g_v \cdot d(z) \quad \text{ili} \quad \Delta u = g_v \cdot \Delta z$$

<sup>5</sup> Geometrijski definiran širinom složaja  $B$ , debljinom daske  $d$  u sirovom stanju i razmakom redova dasaka  $s$  (vidi sl. 1 i sl. 3).

<sup>6</sup> Definirane aerodinamičkim osobinama sušare i složaja kao i karakteristikama ventilatora.

<sup>7</sup> Veličine stanja ( $u$ ,  $t$ ,  $x$  i  $g_v$ ) vezane su za određeno vrijeme trajanja sušenja ( $z$ ).

Pošto su  $g_v$  (za bukovinu  $g_v < 0,02$  u) i  $\Delta z$  (vrijeme potrebno za osmatranje i mjerenje,  $\Delta z < 0,02$  sata) razmjerno male veličine, možemo pretpostaviti da je za vrijeme ispitivanja

$$\Delta u = 0 \quad \text{ili} \quad u = \text{konstanta}$$

Prema tome, međusobnu ovisnost veličina stanja ( $t$ ,  $x$ ,  $g_v$ ) možemo razmatrati i ispitivati za određenu brojčanu vrijednost vlažnosti piljenice  $u$ , tj. u skladu s jednadžbom

$$g_v = \frac{d(u)}{d(z)} = A_1(t, x; u, z, b/B) \text{ kg H}_2\text{O/kgsm, h} \quad 1A-2$$

### 2.512 Osnovni proces sušenja (vidi poglavlje 2.4).

Za uvjete sušenja odgovarajuće osnovnom procesu sušenja ( $v$ ,  $d$ ,  $g_{sz} = \infty$ ,  $w$ ), međusobnu ovisnost veličina stanja sušenja ( $t$ ,  $x$ ,  $g_v$ ) možemo razmatrati i ispitivati u skladu s jednadžbom

$$g_v = \frac{d(u)}{d(z)} = A_3(t, x; u, z) \text{ kg H}_2\text{O/kgsm} \quad 1C-2$$

Jednadžbe 1A-2 i 1C-2 možemo smatrati jednadžbama veličina stanja sušenja.

## 2.52 Režimi sušenja veličina stanja ( $u$ , $t$ , $x$ , $g_v$ i $z$ )

### 2.521 Osnovni režim sušenja

Prema poglavlju 2.511, možemo veličine  $t$  i  $x$  trenutno i nezavisno mijenjati. Dakle, možemo ih mijenjati i u odnosu na vlažnost drva ( $u$ ), tj. u skladu s jednadžbama

$$t = B_1(u); \quad x = B_2(u) \quad 3A; 3B$$

Kod osnovnog procesa sušenja, sušenjem režimom određenim jednadžbama 3A i 3B, vlažnost drva nakon  $z$  sati sušenja bit će  $u = \Psi(z)$  ili

$$z = B_3(u) \quad 3C$$

Uvrštavanjem jednadžbi 3A, 3B i 3C u jednadžbu 1C-2, bit će

$$g_v = \frac{d(u)}{d(z)} = B^*(u) \quad 3D$$

Jednadžbe 3A, 3B, 3C i 3D možemo također smatrati jednadžbama veličina stanja sušenja. U budućee, ove jednadžbe nazivat ćemo jednadžbama osnovnog režima sušenja (O. R. S).

Osnovni režim sušenja važi za  $g_{sz} = \infty$  i  $v, w, d$  za koje je mjerenje izvršeno. Prema tome, neovisan je od  $u_p$  i  $b/B$  (upoređi s poglavljem 2.4 i jednadžbom 1C).

Uvažimo li prednje (da je za O, R, S  $g_{sz} = \infty$  konstanta) i da O, R, S za određeno  $w$  možemo preračunati na O, R, S odgovarajuće proizvoljno izabranom  $w_1$ ), možemo smatrati da O, R, S ovisi samo od  $v$  i  $d$  (vidi jednadžbu 1C), dakle samo od karakteristika materijala.

Osnovni režim sušenja možemo samo eksperimentalno odrediti.

Poznavajući O, R, S za određenu vrstu i debljinu piljenice, možemo (za isto  $v$  i  $d$ ) analitički odrediti standardni režim sušenja za bilo koje uvjete sušenja (vidi poglavlje 5).

Vodjenje procesa sušenja u industrijskoj sušari, na osnovu podataka osnovnog procesa sušenja, praktično ne dolazi u obzir, radi komplicirane kontrole procesa.



## 2.522 Standardni režim sušenja (režimi sušenja industrijske sušare)

Pri sušenju stvarnog složaja, veličina stanja  $u, t, x, g,$  mijenjat će se za istih uvjeta sušenja ( $v, d, u_p, g_{sz}$  i  $w$ ) i u ovisnosti od udaljenosti od početka složaja  $b/B$ . Ove promjene odvijat će se u skladu s jednadžbama 1A i 1B. Prema tome, na raznim udaljenostima od početka složaja ( $b/B$ ) imat ćemo različite osnovne režime sušenja.

### 2.5221 Standardni režim sušenja, parametar — vrijeme trajanja sušenja $z$ .

— Vlažnost drva. Raspored vlažnosti piljenice u složaju, nakon  $z$  sati sušenja, za određeni režim i uvjete sušenja, vlažnost piljenice biti će

$$u = C_1 (b/B; z) \quad 3-1$$

Temperatura zraka. Raspored temperature zraka možemo odrediti iz jednadžbe 3A i 3-1, dakle

$$t = C_3 (b/B; z) \quad 3A-1$$

— Vlažnost zraka. Analogno iz 3B i 3-1

$$x = C' (b/B; z) \quad 3B-1$$

— Intezitet sušenja. Analogno iz 3C i 3-1

$$g_v = C_2 (b/B; z) \quad 3C-1$$

Jednadžbe 3-1, 3A-1, 3B-1 i 3C-1 su jednadžbe standardnog režima sušenja S. R. S, te važe za određene uvjete sušenja ( $v, d, u_p, g_{sz}$  i  $w$ ).

Za određeno  $b/B$ , uvrštenjem jednadžbe 3D u jednadžbe 3A-1, 3B-1 i 3C-1, dobit ćemo po transformaciji jednadžbe 3A, 3B i 3C. Dakle, jednadžbe osnovnog režima sušenja. Prema tome, standardni režim sušenja određen je nizom osnovnih režima sušenja (tj. nizom osnovnih režima sušenja za razna  $b/B$ ).

Poznavajući osnovni režim u jednoj tački složaja (za određeno  $b/B$ ), možemo za određene uvjete sušenja (eksperimentalno ili analitički<sup>8</sup>) odrediti osnovni režim sušenja u bilo kojoj tački složaja (za bilo koje  $b/B$ ). Prema tome, osnovnim režimom sušenja u jednoj tački složaja određen je standardni režim sušenja u cjelini. Iz prednjeg proizlazi da standardni režim sušenja možemo voditi osnovnim režimom sušenja odgovarajućim bilo kojoj tački složaja.

### 2.5222 Standardni režim sušenja, parametar vlažnost drva $u$ .

U mnogim slučajevima bit će korisno da jednadžbe S. R. S damo u ovisnosti od  $b/B$  i vlažnosti drveta  $u$  (kao parametra). Iz praktičnih<sup>9</sup> razloga, kao parametar uzimamo

- vlažnost drva na ulazu u složaj  $u_0$  ili
- srednju vlažnost složaja  $u_s$

### 2.5222/a Standardni režim sušenja, parametar vlažnost piljenice na ulazu u složaj ( $u_0$ )

<sup>8</sup> U koliko raspoložemo potrebnim eksperimentalnim podlogama.

<sup>9</sup> Radi pojednostavljenja mjerenja i kontrole sušenja kao i pojednostavljenja matematske obrade procesa.

Nakon  $z$  sati sušenja, pri određenim uvjetima i režimu sušenja (jednadžbe 3A-1 i 3B-1), vlažnost na početku složaja bit će  $u_0$ . Općenito

$$z = E(u_0) \quad 4$$

Uvrštenje 4 u 3-1, 3A-1, 3B-1 i 3C-1 bit će:

$$u = D (b/B; u_0), \quad t = D_1 (b/B; u_0), \quad 3-2, 3A-2$$

$$x = D_2 (b/B; u_0), \quad g_v = D_3 (b/B; u_0) \quad 3B-2, 3C-2$$

Prednje jednadžbe su jednadžbe standardnog režima sušenja za parametar  $u_0$ . Ostalo analogno rečenom pod 2.5221.

### 2.5222/b Standardni režim sušenja, parametar — srednja vlažnost složaja $u_s$

Analogno izvođenju pod 2.5222/a

$$z = E(u_s) \quad 5$$

Uvrštenjem jednadžbe 5 u 3-1, 3A-1, 3B-1 i 3C-1, dobit ćemo jednadžbe standardnog režima sušenja za parametar  $u_s$ .

$$u = E (b/B; u_s), \quad t = E_1 (b/B; u_s) \quad 3-3, 3A-3$$

$$x = E_2 (b/B; u_s), \quad g_v = E_3 (b/B; u_s) \quad 3B-3, 3C-3$$

## 2.6. Optimizacija režima sušenja

Iz ekonomskih razloga<sup>10</sup> potrebno je trajanje sušenja  $z$  čim više skratiti. Kako iz jednadžbi 1A i 1C proizlazi, trajanje sušenja može se skratiti samo povećanjem inteziteta sušenja  $g_v$ .

Prema tome, interesirat će nas maksimalni intezitet sušenja kod ekonomski prihvatljivih pogrešaka sušenja.

### 2.61 Optimizacija osnovnog režima sušenja

Optimizaciju osnovnog režima sušenja možemo provesti samo eksperimentalno.

Optimizaciju provodimo u skladu s jednadžbom 1C-2 za parametar  $u$  (vidi 2.512). Prema tome, optimizaciju provodimo na osnovu preuređene jednadžbe 1C

$$g_v = \frac{d(u)}{d(z)} = A_s(t, x; u, v, d, g_{sz} = \infty, w) \quad 1C-2$$

i okolnosti, da je maksimalni intezitet sušenja  $g_v$  ograničen pojavom ekonomski prihvatljivih pogrešaka sušenja.

Optimizacijom određujemo kombinaciju  $t$  i  $x$  za određenu vlažnost drva  $u$ , pri kojoj se postiže najveći intezitet sušenja  $g_v$  kod ekonomski prihvatljivih pogrešaka sušenja (vidi poglavlje 1).

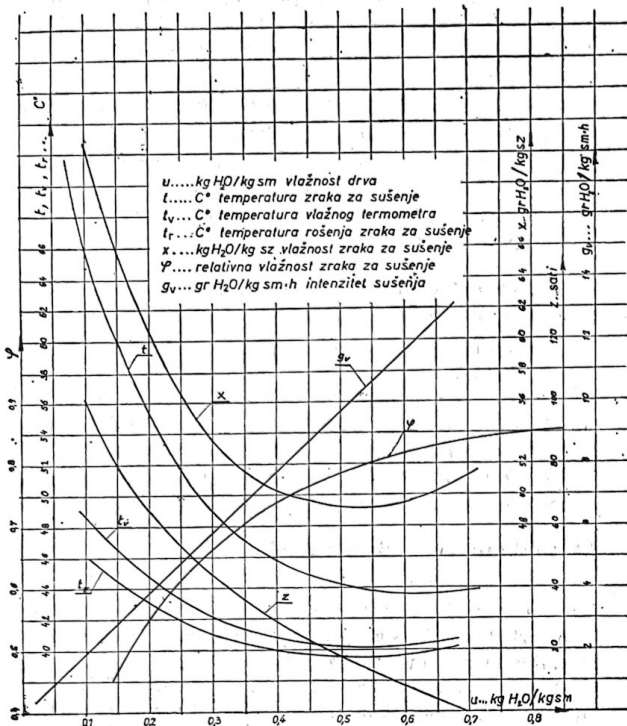
Eksperimentalno određene međusobno korespondirajuće veličine  $t, x$  i  $g_v$  za razne vrijednosti  $u$ , analogno jednadžbama osnovnog režima sušenja (3A, 3B, 3C i 3D), sređujemo u tablice (vidi tablicu I) ili dijagrame (vidi dijagram I) »osnovnog optimalnog režima sušenja« u daljnjem tekstu O. O. R. S. Ovako određeni O. O. R. S. važi naravno samo za uvjete ( $v, d, w$ ) pri kojima je ispitivanje izvršeno.

Za određenu vrstu drva  $v$  i brzinu strujanja zraka složajem  $w$ <sup>11</sup> O. O. R. S će ovisiti samo od debljine piljenice  $d$  (vidi jednadžbu 1C).

<sup>10</sup> Radi smanjenja troškova sušenja u Din/m<sup>3</sup>.

<sup>11</sup> Iz O. O. R. S. za neku određenu brzinu  $w$  zraka složajem, možemo analitički (vidi poglavlje 2.8) odrediti O. O. R. S za povoljno izabrano  $w$ .





Dijagram I

Tablica I

Podaci za optimalni osnovni režim sušenja O. O. R. S. za bukovinu  $d = 2,2$  cm i  $w = 2,4$  m<sup>2</sup>sek

u	kgH <sub>2</sub> O/kgsm	0,65	0,55	0,45	0,35	0,25	0,15
t	°C	43,50	43,72	44,74	47,00	51,50	60,00
x	grH <sub>2</sub> O/kgsz	50,18	48,99	49,64	51,48	56,49	55,71
t <sub>v</sub>	°C	42,42	40,11	40,46	41,32	43,27	46,51
g <sub>v</sub>	grH <sub>2</sub> O/kgsm · h	12,56	10,63	8,70	6,77	4,84	2,90
z	sati <sup>12</sup>	3,83	12,46	22,83	35,82	53,21	79,61
a	m <sup>2</sup> /kgsm	0,148	0,148	0,148	0,148	0,146	0,141
q	kcal/kgsm · h	7,29	6,21	5,18	4,15	3,09	1,99
q <sub>A</sub>	$\frac{q}{a}$ kcal/m <sup>2</sup> · h	49,30	41,95	35,00	28,06	21,20	14,12
α	kcal/m <sup>2</sup> °C · h	13,94	13,93	13,92	13,86	13,67	13,50
Δt	$t - t_d = q/\alpha$	3,52	2,98	2,49	1,98	1,54	0,99
t <sub>d</sub>	°C	39,98	40,74	42,25	45,02	49,96	59,01
t <sub>r</sub>	°C	39,85	39,43	39,66	40,29	41,91	44,54

Prema tome, eksperimentalni rad za određenu vrstu drva v svodi se na određivanje O. O. R. S za nekoliko (3–5) debljina piljenice d, pri određenoj brzini w strujanja zraka složajem. Vidi i poglavlje 2.521.

Raspolažemo li s naprijed spomenutim podacima, možemo grafičkom interpolacijom odrediti O. O. R. S za bilo koju debljinu piljenice d (naravno za v i w za koje su podaci rađeni). Kasnije možemo interpolacijom određene O. O. R. S (za određene v, d i w)

preračunati za bilo koju brzinu strujanja zraka složajem npr. za w<sub>1</sub>.

Iz prednjeg vidimo da je za određivanje O. O. R. S potrebno razmjerno malo eksperimentalnog rada. Eksperimentalni podaci mogu ce jeftino i vrlo tačno odrediti. Pošto je određivanje O. O. R. S razmjerno jeftino, bit će rentabilno i ispitivanje specijalnih oblika građe (npr. letvica) i time određivanje O. S. R. S u specijalnim slučajevima.

O. O. R. S ne možemo u industrijskoj sušari realizirati. Dakle, vođenje procesa sušenja na osnovu O. O. R. S ne dolazi u obzir.

Poznajući O. O. R. S, možemo analitički (vidi poglavlje 5) odrediti optimalni standardni režim sušenja (O. S. R. S) za bilo koje uvjete sušenja. Prednjim se izbjegavaju opsežni eksperimentalni radovi za određivanje O. S. R. S i olakšava, zapravo omogućuje, izbor optimalnih uvjeta sušenja.

U tablici I i dijagramu I dati su numerički podaci za O. O. R. S za bukovu piljenicu debljine  $d = 2,2$  cm, kod brzine strujanja zraka složajem  $w = 2,4$  m/sek. Spomenuti O. O. R. S određen je analitički na osnovu podataka u radu Prof. dr. J. Krpana »Utezanje i krivulja sušenja bukovine«, Zagreb 1960.

## 2.62 Optimalni standardni režim sušenja O. S. R. S

O. S. R. S možemo, za određene uvjete (v, d, u<sub>p</sub>, g<sub>sz</sub>, w), odrediti ili eksperimentalno ili analitički<sup>12</sup>.

Eksperimentalnu optimizaciju provodimo u skladu s jednadžbama 1A–2 (vidi poglavlje 2.511).

<sup>12</sup> Za sušenje od  $u = 0,7$  kgH<sub>2</sub>O/kgsm.

<sup>15</sup> Vidi poglavlje 5.



Prije početka sušenja (tj. za  $z = 0$ ), vlažnost piljenice ravnomjerno je raspoređena (tj.  $u = u_p = \text{konst.}$ ). Nakon  $z$  sati sušenja, pri optimalnom režimu sušenja i određenim uvjetima sušenja, raspored vlažnosti drva u složaju bit će:

$$u = C_1 (b/B; z) \quad 3-1$$

Ako pri gornjoj raspodjeli vlažnosti drva u složaju mijenjamo temperaturu i vlažnost zraka na ulazu<sup>16</sup> u složaj, mijenjat će se  $t$ ,  $x$  i  $g_v$  u svim tačkama uzduž strujnice zraka složajem (vidi sl. 3). Kod neke pogodne kombinacije  $t_0$ ,  $x_0$  na ulazu u složaj, u određenoj kritičnoj tački složaja  $K$  (udaljenoj  $b_K/B$  od početka složaja), ostvarit će se optimalna kombinacija<sup>17</sup> veličina stanja sušenja ( $t_K$ ,  $x_K$ ,  $u_K$ ,  $g_{vK}$ ).

Veličinama stanja u kritičnoj tački, uvjetima sušenja i rasporedom vlažnosti u složaju, određene su optimalne **veličine stanja sušenja duž strujnice zraka složajem** — vidi 2.5221.

Nakon  $z_1$  sati sušenja, analogno kao za  $z$ , bit će raspored vlažnosti u složaju

$$u = C_1 (b/B; z_1)$$

Kritična tačka bit će na odstojanju  $b_{K1}/B$  od početka složaja.

Veličine stanja u kritičnoj tački bit će  $t_{K1}$ ,  $x_{K1}$ ;  $g_{vK1}$  itd.

Ekperimentalno određene međusobno korespondirajuće veličine  $u$ ,  $t$ ,  $x$ ,  $g_v$  i  $b/B$  sredit ćemo u skladu s jednadžbama 3-1, 3A-1, 3B-1 i 3C-1 u odgovarajuće tablice ili grafikone.

Ovakvo ekperimentalno određeni O. S. R. S vrijedi naravno **samo** za one uvjete sušenja za koje je **određen**. Za neke druge uvjete sušenja potrebno je izvršiti nova ispitivanja.

Za određenu vrstu drva  $v$  i brzinu strujanja zraka složajem ovisit će O. S. R. S od  $d$ ,  $u_p$  i  $g_{sz}$ . Prema tome, ekperimentalni rad za određenu vrstu drva i brzinu zraka složajem, svodi se na određivanje O. R. S-a za niz pogodno odabranih kombinacija numeričkih vrijednosti  $d$ ,  $u_p$ ,  $g_{sz}$ .

Zadovoljimo li se kombinacijama za četiri razli čite brojčane vrijednosti veličina  $d$ ,  $u_p$  i  $g_{sz}$ , bit će potrebno izvršiti šesdesetčetiri (64) kompletna ispitivanja za jednu određenu vrstu drva. Prema tome, ekperimentalni rad bi bio veoma opsežan, skup i kompliciran (radi metoda mjerenja, ukoliko se mjerenje uopće može egzaktno provesti).

Raspolažući potrebnim ekperimentalnim podlogama, možemo O. S. R. S, za bilo koje  $d$ ,  $u_p$  i  $g_{sz}$ , odrediti grafičkom interpolacijom. Grafičkom interpolacijom određeni O. S. R. S važi za  $v$  i  $w$  za koje su podloge rađene. Za stvarnu brzinu protoka zraka složajem potrebno je izvršiti preračunavanje (vidi poglavlje 2.8). Komparativna vrijednost ovako dobivenih O. S. R. S neće biti naročita (tačnost mjerenja i tačnost grafičkih interpolacija).

Kako iz 2.5221 vidimo, kod određenih uvjeta sušenja, osnovnim režimom sušenja O. R. S u jednoj

<sup>16</sup> Radi mjerenja.

<sup>17</sup> tj. kombinacija  $t_K$  i  $x_K$ , s kojom se za vlažnost piljenice  $u_K$ , postiže maksimalni intezitet sušenja  $g_{vK}$ . Kritične veličine stanja odgovaraju O. O. R. S za  $u = u_K$ .

tački složaja određen je O. R. S u bilo kojoj tački složaja. Ukoliko, na primjer, na ulazu u složaj O. R. S odgovara O. S. R. S, možemo tim O. R. S na ulazu u složaj voditi proces sušenja. Prednje je naročito pogodno, jer na ulazu u složaj možemo jednostavno i brzo provesti mjerenja.

O. S. R. S možemo (u koliko nam je poznat odgovarajući O. O. R. S.), za bilo koje uvjete sušenja, analitički odrediti (vidi poglavlje 5). Analitički određeni O. S. R. S imaju veću komparativnu vrijednost, jer su računati **na osnovu istog O. O. R. S.**

## 2.7 Utjecaj temperature, i vlažnosti, zraka za sušenje na promjenu intenziteta sušenja $g_v$

Ukoliko ne raspoložemo potrebnim ekperimentalnim podacima

— promjenu  $g_v$  s promjenom  $t$  izračunat ćemo, prema F. Kollmanu iz jednadžbe

$$g_{vt} = g_v \cdot t_1/t \quad 6$$

— promjenu  $g_v$  s promjenom vlažnosti zraka izračunat ćemo prema T. Tuomol-u iz jednadžbe

$$g_{vx} = g_v \cdot \frac{t_1 - t_{v1}}{t - t_v} \quad 7A$$

— promjenu  $g_v$  kod istovremene promjene  $t$  i  $x$  odredit ćemo iz jednadžbe P. Kollman — T. Tuomol

$$g_{vt} = \frac{t_1 - t_{v1}}{t - t_v} \cdot g_{vt} = g_v \cdot \frac{t_1 - t_{v1}}{t - t_v} \cdot \frac{t_1}{t} \quad 7$$

U prednjim jednadžbama  $t$ ,  $(t - t_v)$  i  $g_v$  su veličine stanja odgovarajuće O. O. R. S. Veličine  $t_1$ ,  $(t_1 - t_{v1})$  i  $g_{v1}$  su veličine stanja po promjeni.

U ovom radu izračunat ćemo promjene  $g_v$  s promjenom  $t$  i  $(t - t_v)$  iz jednadžbi 6, 7 i 7A i **ako istima možemo u mnogo čemu prigovoriti.**

Vrijednosti jednadžbi 6, 7, i 7A potrebno je ekperimentalno provjeriti. Podloge za provjeru ovih jednadžbi nalaze se u ovom radu (vidi poglavlje 5).

U jednadžbama 7 i 7A operiramo s temperaturom zraka  $t$  i psihometričkom razlikom  $(t - t_v)$ . U svim ostalim jednadžbama operiramo s temperaturom  $t$  i apsolutnom vlažnosti  $x$  zraka. Prema tome, bit će potrebno preračunavanje veličina stanja  $t$  i  $x$  na  $t$  i  $t_v$ .

Prema ekperimentalno određenoj jednadžbi (vidi: Zakladi Prakticke Fysiky, Dr Nahtikal — Brno — 1927 — str. 125)

$$(P_{sv} + 7,5 \cdot t_v) = P + 7,5 \cdot t \quad A$$

možemo izvesti spomenuto preračunavanje.

U gornjoj jednadžbi  $P_{sv}$  je parcijalni pritisak zasićenih vodenih para odgovarajućih temperatura vlažnoga termometra.

Poznajemo li apsolutnu vlažnost zraka ( $x$ ), možemo iz tablice III odrediti parcijalni pritisak vodenih para u zraku ( $P$ ). Dakle, možemo iz jednadžbe A odrediti vrijednost izraza  $(P_{sv} + 7,5 \cdot t_v)$ . Za ovako određenu vrijednost

$$(P_{sv} + 7,5 \cdot t_v)$$

odgovarajuću temperaturu vlažnog zraka ( $t_v$ ) očitat ćemo iz tablice III.

Primjer proračuna vidi pod 5.211 — RED 17.



Tablica II

$t_v, ^\circ\text{C}$	x grH <sub>2</sub> O/kgsz	P kp/m <sup>2</sup>	(P <sub>sv</sub> + 7,5 · t <sub>v</sub> )	$t_v, ^\circ\text{C}$
39	47,8	712,9	1005,4	39
40	50,6	752,—	1052,—	40
41	53,6	793,—	1100,5	41
42	56,8	836,—	1151,—	42
43	60,1	880,9	1203,4	43
44	63,7	927,9	1257,9	44
45	67,4	977,1	1314,6	45
46	71,4	1028,4	1373,4	46
47	75,5	1082,1	1434,6	47
48	79,9	1138,2	1498,2	48
49	84,6	1196,7	1564,2	49
50	89,5	1257,8	1632,8	50
51	94,7	1321,6	1704,1	51

2.8 Utjecaj promjene brzine strujanja zraka složajem

Toplina potrebna za sušenje drva q<sub>A</sub> ... kcal/m<sup>2</sup> · h prenosi se sa zraka na površinu drva konvekcijom (u koliko se zanemari isijavanje).

Za poznatu temperaturu zraka za sušenje, toplinsko opterećenje sušene površine g<sub>A</sub> i koeficijent prelaza topline α kcal/m<sup>2</sup> · °C · h, možemo odrediti površinsku temperaturu drva iz jednadžbe

$$t_d = t - \frac{q_A}{\alpha} \quad 8$$

Izračunate vrijednosti t<sub>d</sub> za bukvinu d = 2,2 cm, brzinu protoka zraka složajem w = 2,4 m/sek (u kanalu hidraulički ekvivalentnom cijevi, promjera 4 cm), date su u tablici I.

Poznavajući korespondirajuće vrijednosti t<sub>d</sub>, u i q<sub>A</sub>, možemo za proizvoljno izabranu brzinu strujanja zraka složajem (na primjer w<sub>1</sub>) i presjek otvora za strujanje zraka složajem odrediti odgovarajuću temperaturu zraka za sušenje t:

$$t_1 = t_d + q_A/\alpha_1 = t - q_A/\alpha + q_A/\alpha_1 \quad 8A$$

Promjenom brzine strujanja zraka složajem, pri istoj vlažnosti zraka za sušenje x, mijenjat će se, u manjoj mjeri, osobine prelaznog sloja (turbulentno gibanje). Ove promjene prouzročit će neznatne promjene q<sub>A</sub> (difuzija prema sušenoj površini), koje u daljnjim razmatranjima možemo zanemariti.

Pomoću jednadžbe 8A možemo s dovoljnom tačnosti preračuna O. O. R. S određen za brzinu strujanja zraka w, na O. O. R. S za brzinu strujanja zraka w<sub>1</sub>, računajući da se od veličina stanja mijenja samo temperatura zraka za sušenje.

A.) Toplinsko opterećenje q<sub>A</sub> sušene površine.

— Toplinska energija potrebna za sušenje jednog kgsm u jedinici vremena

$$q = q_1 + q_2 + q_3 \quad \text{kcal/kgsm} \cdot \text{h} \quad A$$

q<sub>1</sub> ... toplina potrebna za otparivanje vode pri temperaturi t i zagrijavanje pare na temperaturu površine piljenice t<sub>d</sub>.

$$q_1 = g_v [r + 0,46 \cdot (t_d + t_r)/2] \quad \text{kcal/kgsm} \cdot \text{h} \quad A1$$

U gornjoj jednadžbi g<sub>v</sub> intezitet sušenja, r toplina otparavanja vode pri temperaturi otparavanja t'. S dovoljnom tačnosti temperatura otparavanja

$$t' = (t_d + t_r)/2$$

Pri tome je t<sub>r</sub> temperatura rošenja zraka u sušari.

q<sub>2</sub> ... toplina potrebna za zagrijavanje vlažnog drva po jedinici vremena

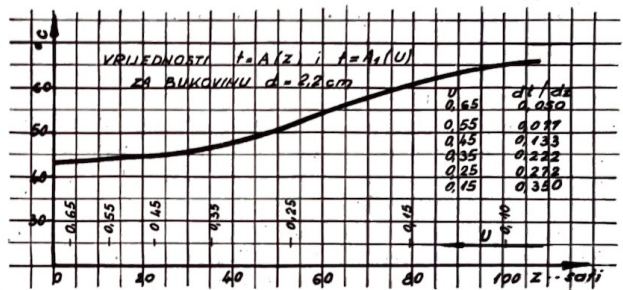
$$q_2 = u \cdot \frac{d(t)}{d(z)} \cdot c_v + \frac{d(t)}{d(z)} \cdot c_d \quad \text{kgcal/kgsm} \cdot \text{h}$$

U gornjoj jednadžbi c<sub>v</sub> = 1 ... specifična toplina vode, c<sub>d</sub> = 0,65 ... specifična toplina suhe drvene mase. Po uvrštenju u prednju jednadžbu i transformaciji

$$q_2 = (u + 0,65) \cdot \frac{d(t)}{d(z)} \quad \text{kgcal/kgsm} \cdot \text{h} \quad A2$$

gdje je d(t) porast temperature piljenica u složaju u °C/sat.

d(t)/d(z) odredit ćemo iz dijagrama t = A(z) koji je nacrtan na osnovu podataka iz O. O. R. S vidí dijagram II.



Dijagram II

g<sub>3</sub> ... toplina potrebna za razbijanje higroskopske veze.

$$q_3 = d(q_H)/d(z) \quad \text{kgcal/kgsm} \cdot \text{h} \quad A3-1$$

Toplina potrebna za razbijanje hidroskopske veze, prema Katzu

$$q_H = \frac{A \cdot u}{B + u} \quad \text{kcal/kgsm}$$

po diferenciranju

$$d(q_H) = \frac{A \cdot B}{(B + u)^2} \cdot d u$$

po uvrštenju u A3-1

$$q_3 = \frac{A \cdot B}{(B + u)^2} \cdot \frac{d(u)}{d(z)} = \frac{A \cdot B}{(B + u)^2} \cdot g_v \quad \text{kcal/kgsm} \cdot \text{h} \quad A3$$

za drvo u gornjoj jednadžbi A = 22, B = 0,07.

Izračunate vrijednosti za q, q<sub>1</sub>, q<sub>2</sub> i q<sub>3</sub> za bukvinu d = 2,2 cm i O. O. S. R prema tablici I date su u tabeli III. Vrijednosti q date su i u tablici I.



**Tablica III**

Vrijednosti  $q$ ,  $q_1$ ,  $q_2$  i  $q_3$  za bukovinu  $d = 2,2$  cm

u	$q_1$	$q_2$	$q_3$	$q^{18}$
kg HO	kcal	kcal	kcal	kcal
kgsm	kgsm · h	kgsm · h	kgsm · h	kgsm · h
0,65	7,19	0,060	0,0354	7,29
0,55	6,09	0,092	0,0326	6,21
0,45	4,99	0,146	0,0425	5,18
0,35	3,88	0,222	0,0495	4,15
0,25	2,77	0,246	0,0730	3,09
0,15	1,62	0,280	0,0923	1,99

**— Specifična površina piljenice**

Numerički podaci odnose se na bukovinu, deblji-  
na daske  $d = 2,2$  cm  $\gamma_{sm} = 680$  kg/m<sup>3</sup>.

Površina 1 kgsm (bez čela i bočnih stranica)

$$a_{sm} = \frac{2}{d \cdot \gamma_{sm}} = \frac{2}{0,022 \cdot 680} = 0,1346 \text{ m}^2/\text{kgsm}$$

Povećanje površine s vlažnosti

$$a = a_{sm} (1 + \alpha_{SA}) \cdot u \tag{A4}$$

Pri tome je

$$\alpha_{SA} = \frac{A_z - A_s}{A_s + u_z} \text{ kgsm/kg H}_2\text{O}$$

Prema podacima iz rada dr. Jure Krpana »UTE-  
ZANJE I KRIVULJA SUŠENJA BUKOVINE«, Zagreb  
1960. za bukovinu  $\alpha_{SA} = 0,3371$  kgsm/kg H<sub>2</sub>O.

Prednja jednadžba (A4) važi do tačke zasićenja  
vlakancu ( $u_z = 0,31$ ). Povećanjem u iznad  $u_z = 0,31$ ,  
specifična površina se ne mijenja.

Izračunate vrijednosti  $a$  u ovisnosti od  $u$  date  
su u tablici I.

**— Toplinsko opterećenje sušene površine**

$$q_A = \frac{q}{a} \text{ kcal/m}^2, \text{ sat} \tag{A5}$$

Izračunate vrijednosti odgovarajuće O. O. R. S.  
za bukovinu  $d = 2,2$  cm date su u tablici I.

**B.) Koeficijenti prelaza topline konvekcijom**

S dovoljnom tačnošću koeficijent prelaza topline  
dodirom

$$\alpha = 0,0325 \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot \left(\frac{d}{L}\right)^{0,054} \cdot R_0^{0,70} \tag{B10}$$

Prednja jednadžba određena je iz jednadžbe Nus-  
selt-Prantl.

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda} = C \cdot R_0^m \cdot P_r^n \cdot \left(\frac{d}{L}\right)^{0,054}$$

Potrebni podaci<sup>20</sup> za proračun po jednadžbi B  
dati su u tabeli IV. Izračunate vrijednosti za  $w =$   
 $= 2,4$  m/sek date su u tabeli I.

<sup>18</sup>  $q \dots$  date su i u tablici I

<sup>19</sup> Koeficijent (0,0325) trebalo bi tačnim mjere-  
njima provjeriti.

<sup>20</sup> Podaci dati za suhi zrak, međutim s dovoljnom  
tačnošću, važe i za vlažni zrak (mali sadržaj H<sub>2</sub>O u  
zraku).

**Tablica IV<sup>20</sup>**

t °C	$\nu, \lambda$ i $P_r$ za zrak				
	40	50	60	70	80
$10^6 \cdot \nu$ m <sup>2</sup> /sek	17,57	18,58	19,60	20,65	21,74
$10^2 \cdot \lambda$ kcal/m <sup>2</sup> · h · °C	2,34	2,40	2,46	2,51	2,58
$P_r$	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71

**3. SPECIFIČNI PROTOK SUHOGA ZRAKA SLOŽAJEM**

Specifični protok suhoga zraka složajem ( $g_{sz}$ ),  
mijenja se tokom procesa sušenja. Za analitičku ob-  
radu procesa sušenja, potrebno je poznavanje zako-  
nostosti ovih promjena.

**3.1 Cirkulacija vlažnog zraka sušarom ( $V_{vz}$ )**

Količina zraka u cirkulaciji sušarom određena  
je potisnim pritiskom ventilatora ( $\Delta p_v$ ) i hidraulič-  
kim otporima sušare ( $\Delta p_1$ ) i složaja ( $\Delta p_2$ ). Prema  
tome, količinu zraka u cirkulaciji sušarom i složaj-  
em možemo odrediti iz uvjeta

$$\Delta p_v = \gamma_{vz} \cdot F (V_{vz}; n) = \Delta p_1 + \Delta p_2 \text{ kp/m}^2 \tag{9}$$

Iz gornjeg uvjeta, za koeficijent hydr. otpora  
prema Blasiusu

$$\lambda = 0,316 \cdot R_0^{-0,25} \text{ (važi za } R_0 < 100000)$$

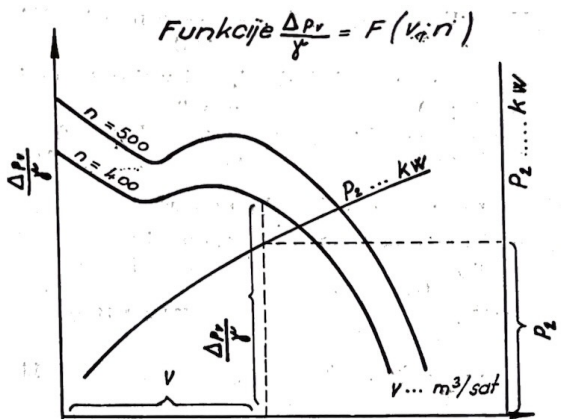
Protočni volumen sušarom i složajem

$$V_{vz} = \left( \frac{F (V_{vz}; n)^{0,572}}{y \cdot (K_1 + K_2) + K_3 \cdot V_{vz}^{0,25}} \right) = D \cdot s \cdot n \cdot w \text{ m}^3/\text{sek} \tag{10}$$

Iz gornje jednadžbe i karakteristike ventilatora  
(vidi sl. 2)

$$\frac{\Delta p_v}{\gamma_{sz}} = F (V; n) \text{ m} \tag{10A}$$

možemo metodom približavanja izračunati  $V_{vz}$ .



**Slika 2. — Karakteristika ventilatora**

S dovoljnom tačnošću ( $\pm 0,6\%$ ) možemo jedno-  
stavniije  $V_{vz}$  izračunati iz približne jednadžbe

$$V_{vz} = \left( \frac{0,982 \cdot F (V_{vz}; n)^{0,572}}{y \cdot (K_1 + K_2)} \right) \pm 0,6\% \tag{11}$$



U gornjim jednadžbama:

— karakteristika protočnog medija

$$y = 0,0161 \cdot v^{0,25} \text{ m}^{-0,6} \text{ sek}^{1,75} \quad 10A$$

— konstanta sušare

$$K_1 = \frac{\Delta L^{2,2}}{1^{1,25} \cdot A_L^{1,75}} \text{ m}^{-3,75} \quad 10B^{22}$$

— Konstante složaja<sup>23</sup>

$$K_2 = \frac{B}{2,38 \cdot s^{1,25} \cdot A^{1,75}} \text{ m}^{-3,75} \quad 10C^{23}$$

$$K_3 = \frac{\xi}{(d+s)^2} \text{ m}^{-5} \text{ sek}^2 \quad 10D^{24}$$

Konstante složaja  $K_2$  i  $K_3$  možemo, bez poteškoća, iz jednadžbi 10C i 10D izračunati.

Konstantu sušare  $K_1$  (radi kompliciranosti protočnih kanala), iz jednadžbe 10B, ne možemo dovoljno tačno odrediti.

$$\text{Iz mjerenjem}^{25} \text{ određenog } V_{vz}^{25} \text{ i } \frac{\Delta p}{\gamma_{vz}} = F(V_{vz}; n),$$

za povoljno izabrani složaj ( $K_2$  i  $K_3$ ) i stanje zraka ( $t$  i  $x$ ), možemo  $K_1$  sušare odrediti iz jednadžbe

$$K_1 = \frac{F(V_{vz}; n) - K_2 \cdot y \cdot V_{vz}^{1,75} - K_3 \cdot V_{vz}^2}{y \cdot V_{vz}^{0,25}} \text{ m}^{-3,75} \quad 12$$

### 3.11 Promjena cirkulacije vlažnog zraka u sušari s promjenom režima sušenja ( $t$ i $x$ )

U istoj sušari, s istim složajem, promjenom  $t$ ,  $x$  na  $t_1$ ,  $x_1$  mijenjat će se količina zraka u cirkulaciji sa  $V_{vz}$  na  $V_{vz1}$ . Iz jednadžbe 11A

$$V_{vz1} = V_{vz} \cdot \left(\frac{v}{v_1}\right)^{0,148} \cdot \left(\frac{F(V_{vz}; n)}{F(V_{vz1}; n_1)}\right)^{0,572} \text{ m}^3/\text{sek} \quad 11A$$

Za istu sušaru i isti složaj, s dovoljno tačnosti

$$\frac{F(V_{vz}; n)}{F(V_{vz1}; n_1)} = 1 \text{ ili } V_{vz1} = \left(\frac{v}{v_1}\right)^{0,148} \cdot V_{vz} \text{ m}^3/\text{sek} \quad 11B$$

### 3.2. Težina zraka u cirkulaciji sušarom

— Vlažni zrak temp.  $T^{\circ}K$  i vlažnosti  $x$

$$G_{vz} = \frac{v_{vz}}{273} = D \cdot s \cdot n \cdot w \cdot \gamma_{vz} = \frac{V_{vz} \cdot (1+x)}{0,7734 + 1,44 \cdot x} \text{ hgvsz/sek} \quad 13$$

<sup>22</sup>  $\Delta L \dots m \dots$  dionica trajektorije vl. zraka sušarom,  $A_T \dots m^2 \dots$  presjek trajektorijom zraka na dionici  $\Delta L \cdot l = 4A_T/U_T \dots m \dots$  presjeku trajektorije hidraulički adekvatan promjer cijevi.

<sup>23</sup>  $A = s \cdot D \dots m^2 \dots$  protočni presjek složajem, ostalo vidi sl. 1

<sup>24</sup>  $\xi = 0,012 \dots$  spec. gubitak na ulazu u složaj, ostalo vidi sl. 1

<sup>25</sup> Mjerenjem opterećenja na osovini pogonskog motora ventilatora ( $P_2 \dots kw$ ) i očitanjem iz karakteristike ventilatora (vidi sl. 2).

— Suhi zrak (za mokri zrak  $T$  i  $x$ )

$$G_{sz} = \frac{G_{vz}}{1+x} = \frac{V_{vz}}{0,7734 + 1,244 \cdot x} \cdot \frac{273}{T} \text{ hgsz/sek} \quad 14$$

### 3.3 Suha drvena masa u složaju

$$G_{sm} = D \cdot B \cdot d \cdot n_{sm} \text{ kg} \quad 15$$

Iz sl. 1

### 3.4 Specifični protok suhoga zraka složajem

$$g_{sz} = 3600 \cdot \frac{G_{sz}}{G_{sm}} = \frac{V_{vz}}{s \cdot w} \cdot \frac{3600}{0,7734 + 1,244 \cdot x} \cdot \frac{273}{T} = \frac{3600}{B \cdot d \cdot \gamma_{sm}} \cdot \frac{273}{0,7734 + 1,244 \cdot x} \cdot \frac{273}{T} \quad 16$$

### 3.41 Promjena $g_{sz}$ s promjenom $t$ i $x$

U istoj sušari s istim složajem, promjenom stanja zraka  $s$  i  $x$  na  $t_1$  i  $x_1$ , mijenjat će se specifični protok suhoga zraka složajem sa  $g_{sz}$  na

$$g_{sz1} = g_{sz} \cdot \left(\frac{v}{v_1}\right)^{0,148} \cdot \frac{0,7734 + 1,244 \cdot x}{0,7734 + 1,244 \cdot x_1} \cdot \frac{T}{T_1} \quad 16A$$

Prednja jednadžba izvedena je iz jednadžbi 11A i 16

### 3.5 Brzina protoka vlažnog zraka složajem

( $w \dots m, \text{ sek}^{-1}$ )

Iz 10 i 16

$$w = \frac{V_{vz}}{D \cdot s \cdot n} = g_{sz} \cdot \frac{B \cdot d \cdot \gamma_{sm}}{3600 \cdot s} \cdot \frac{T}{(0,7734 + 1,244 \cdot x)} \cdot \frac{273}{273} \text{ m/sek} \quad 17$$

### 3.51 Promjena brzine protoka vl. zraka složajem s promjenom stanja zraka

Iz 17 i 16A

$$w_1 = w \cdot \left(\frac{v}{v_1}\right)^{0,148} \text{ m/sek} \quad 18$$

Izračunate vrijednosti  $g_{sz1}$  i  $w_1$ , za bukovinu  $d = 2,2 \text{ cm}$  i  $w = 2,4 \text{ m/sek}$  (za  $u = 0,65$ ), te OORS prema tablici I, date su u tablici V.

Tablica V

vrijednosti  $g_{sz}$  za bukovinu  $d = 2,2 \text{ cm}$ ,  $s = 2 \text{ cm}$  i  $w = 2,4 \text{ m/sek}$  pri  $u = 0,65$

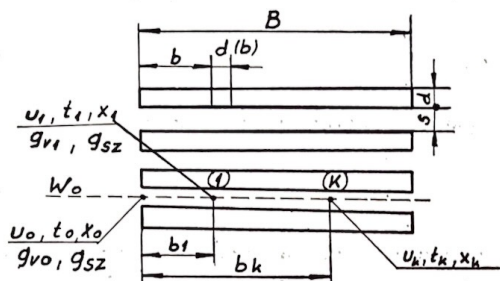
u	t	x	$10^3 \cdot v$	$g_{sz}$	w
kgH <sub>2</sub> O/sm	°C	kgH <sub>2</sub> O/kgsz	m/sek	kgzs/kgsm,h	m/sek
0,65	43,50	0,05018	17,92	8,67	2,4
0,55	43,72	0,04899	17,74	8,67	2,4
0,45	44,74	0,04964	18,04	8,65	2,398
0,35	47,00	0,05148	18,27	8,64	2,393
0,25	51,50	0,05649	18,73	8,33	2,385
0,15	60,00	0,06571	19,60	7,96	2,369

#### 4. SUŠENJE U SUŠARI ANALITIČKI

##### 4.1 Sušenje drva

- B...m...širina složaja  
 s...m...razmak između redova piljenica  
 D...m...dužina složaja  
 w...m/sek...brzina protoka vlažnoga zraka na ulazu u složaj  
 $t_0$ ;  $t_1$ ;  $t_K$ ...°C...temperatura zraka za  $b = 0$ ,  
 $b = b_1$ ,  $b = b_K$   
 $x_0$ ;  $x_1$ ;  $x_K$ ...kgH<sub>2</sub>O/kgsm...apsolutna vlažnost zraka

- $d(u)$   
 $g_v = \frac{d(u)}{d(z)}$ ...kgH<sub>2</sub>O/kgsm, h...intezitet sušenja  
 $d(z)$   
 $g_{sz}$ ...kgz/kgsm, h, specifični protok suhoga zraka složajem



Sl. 3 Složaj piljenica u sušari, — oznake:

Sušenjem drva na dionici  $d(b)$  (vidi sl. 3) oslobodi se za  $z$  sati iz složaja u sušari

$$d(G_v) = \frac{d(u)}{d(z)} \cdot d(G_{sm}) = g_v \cdot d \cdot D \cdot n \cdot \gamma_{sm} \cdot d(b) \quad \text{kgH}_2\text{O/sat} \quad 19A$$

Iz kgsm otpari se za 1 sat (iz 19A)

$$g_v = \frac{d(G_v)}{d(G_{sm})} = \frac{d(u)}{d(z)} \quad \text{kg H}_2\text{O/kgsm} \cdot \text{h} \quad 19$$

Iz 19, iz 1 kgsm drva otpari se za  $d(z)$  sati

$$d(u) = g_v \cdot d(z) \quad \text{kg H}_2\text{O/kgsm} \quad 19B$$

Vlažnost drva na dionici  $d(b)$ , nakon  $d(z)$  sati sušenja

$$u_1 = u - d(u) = u - g_v \cdot d(z) \quad \text{kg H}_2\text{O/kgsm} \quad 19C$$

U gornjim jednadžbama  $g_v = d(u)/d(z)$  odgovara veličinama stanja sušenja ( $u, t, x, z$ ) na razmatranoj dionici.

#### 4.2 Vlaženje i sniženje temperature zraka

##### 4.21 Vlaženje zraka

Protokom iznad dionice  $d(b)$  zrak se ovlažuje, tj. povećava se njegova vlažnost. Voda, oslobođena iz složaja prelazom u zrak, povećava njegovu vlažnost (vidi 19A)

$$d(x) = \frac{dG_v}{(G_{sz})} = \frac{g_v \cdot d \cdot D \cdot n \cdot \gamma_{sm}}{G_{sz}} \cdot \frac{1}{B} \cdot d(b)$$

ili

$$d(x) = g_v \cdot \frac{G_{sm}}{G_{sz}} \cdot \frac{d(b)}{B} = \frac{g_v}{g_{sz}} \cdot \frac{d(b)}{B}$$

$$\text{kg H}_2\text{O/kgsz} \quad 20$$

pri tome  $g_{sz} = G_{sz}/G_{sm}$ ...kgz/kgsm... specifični protok suhoga zraka složajem.

Vlažnost zraka na kraju dionice  $d(b)$

$$x_1 = x_0 + d(x) = x_0 + \frac{g_v}{g_{sz}} \cdot \frac{d(b)}{B} \quad \text{kg H}_2\text{O/kgsz} \quad 20A$$

##### 4.22 Sniženje temperature zraka

Entalpija zraka ispred dionice  $d(b)$  za vlažnost  $x$  i temperaturu  $t$  zraka

$$i = 0,24 \cdot t + x(597 + 0,46 \cdot t) \quad 21$$

Iza dionice  $d(b)$  bit će vlažnost  $x_1 = x + d(x)$  i temperatura  $t_1 = t + d(t)$  zraka. Entalpija zraka poslije dionice  $d(b)$  bit će

$$i_1 = i + d(i) = 0,24(t + d(t)) + (x + d(x))(597 + 0,46(t + d(t))) \quad 22$$

Sniženje temperature zraka na dionici  $d(b)$  iz 21 i 22

$$d(t) = \frac{597 + 0,46 \cdot t}{0,24 + 0,46 \cdot x + 0,46 \cdot d(x)} \cdot d(x) \quad 23$$

Određivanje  $d(i)$

$$d(i) = d(i_1) - d(i) - d(i_2) - d(i_3) \quad B$$

$-d(i_1)$ ... je toplina dovedena zraku za sušenje otparenom količinom vode  $d(x)$  pri temperaturi površine sušene plohe  $t_d$  na dionici  $d(b)$ , dakle

$$d(i_1) = (597 + 0,46 \cdot t_d) \frac{g_v}{g_{sz}} \cdot \frac{d(b)}{B} = (597 + 0,46 \cdot t_d) d(x) d(i_1) = y_1 \cdot d(x) \quad B1$$

pri tom

$$y_1 = (597 + 0,46 \cdot t_d) \quad B1-1$$

$-d(i_2)$ ... toplina utrošena na otparivanje vode pri temperaturi otparivanja  $t'$  i zagrijavanja pare na temperaturu površine drva  $t_d$  (vidi i 2.8—A) na dionici  $d(b)$

$$d(i_2) = (r + 0,46 \frac{t_d - t_r}{2}) \cdot \frac{g_v}{g_{sz}} \cdot \frac{d(b)}{B} \quad \text{kcal/kgsm} \quad B2$$

$$d(i_3) = y_1 \cdot d(x) \quad \text{kcal/kgsm} \quad B2$$

u gornjoj jednadžbi

$$y_1 = (r + 0,46 \frac{t_d - t_r}{2}) \quad \text{kcal/kg H}_2\text{O} \quad B2-1$$

$-d(i_3)$ ... toplina potrebna za zagrijavanje vlažnoga drva (vidi i 2.8—A) na dionici  $d(b)$ .

$$d(i_3) = (u + 0,65) \cdot \frac{d(t)}{d(z)} \cdot \frac{1}{g_{sz}} \cdot \frac{d(b)}{B}$$

sa  $d(x) = \frac{g_v}{g_{sz}} \cdot \frac{d(b)}{B}$ , vidi 4.21



jednadžba 20 bit će:

$$d(i_2) = \frac{q_2}{g_v} \cdot \frac{g_v}{g_{sz}} \cdot \frac{d(b)}{B} = \frac{q_2}{g_v} \cdot d(x) = y_2 \cdot d(x) = \text{kcal/kgsz} \quad \text{B3}$$

U gornjoj jednadžbi (vidi i 2.8—A)

$$q_2 = (u + 0,65) \cdot \frac{d(t)}{d(z)} \text{ kcal/kgsm} \cdot h \quad \text{B3—1}$$

$$y_2 = \frac{q_2}{g_v}$$

Prema tome, vrijednosti  $q_2$  izračunate su i date u tablici III.

Vrijednosti  $q_2$  u tablici VI prenešene su iz tablice III.

Vrijednosti  $y_2$  izračunate na osnovu podataka za O. O. R. S. datih u tablici I. Podaci za  $y_2$  važe tačno samo za spomenuti O. O. R. S. (za neki općeniti R. S. važi samo približno i mogu se upotrijebiti samo za približni proračun). Za neki općeniti R. S. potrebno je  $y_2$  odrediti iz  $q_2$  i stvarnih podataka za  $\Delta t$ ,  $\Delta z$  i  $g_v$ .

—  $d(i_2)$ ... toplina potrebna za razbijanje hidroskopske veze (vidi i 2.8—A)

$$d(i_3) = \frac{A \cdot B}{(B + u)^2} \cdot \frac{g_v}{g_{sz}} \cdot \frac{d(b)}{B} \quad \text{B4}$$

$$d(i_3) = y_3 \cdot d(x) \text{ kcal/kgsm} \quad \text{B4}$$

U gornjoj jednadžbi

$$y_3 = \frac{A \cdot B}{(B + u)^2} \text{ kcal/kg H}_2\text{O} \quad \text{B4—1}$$

Izračunate vrijednosti  $y_1$ ,  $y_1$ ,  $q_2$ ,  $y_2$  i  $y_3$  za bukovinu  $d = 2,2$  cm i O. O. R. S prema tablici I, date su u tablici VI.

**Tablica VI**

vrijednosti  $y_1$ ,  $y_1$ ,  $q_2$ ,  $y_2$  i  $y_3$  za yukovinu  $d = 2,2$  cm

u	$y_1$	$y_1$	$q_2$	$y_2 = q_2/g_v$	$y_3$	$\Sigma y^{(1)}$
kgH <sub>2</sub> O	kcal	kcal	kcal	kcal	kcal	kcal
kgsm	kgH <sub>2</sub> O	kgH <sub>2</sub> O	kgsm · h	kgH <sub>2</sub> O	kgH <sub>2</sub> O	kgH <sub>2</sub> O
0,65	615,43	573,60	0,060	4,78	2,96	34,09
0,55	615,73	573,75	0,092	8,67	4,00	29,31
0,45	616,43	573,55	0,146	16,80	5,70	20,38
0,35	617,67	573,04	0,222	32,78	8,70	3,15
0,25	619,92	572,34	0,246	50,80	15,00	—18,22
0,15	624,12	570,22	0,280	96,60	31,80	—74,70

(1) Za O. O. R. S. za bukovinu  $d = 2,2$  cm. Dovoljno tačno i za O. S. R. S. za prvu aproksimaciju.

Iz jednadžbi B, B1, B2, B3 i B4

$$d(i) = (y_1 - y_1 - y_2 - y_3) \cdot d(x) = \Sigma y \cdot d(x) \quad \text{B—1}$$

Uvrštenjem prednje jednadžbe u 23

$$d(t) = \frac{597 + 0,46 \cdot t - \Sigma y}{0,24 + 0,46 \cdot x + 0,46 \cdot d(x)} \cdot d(x) \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{23}$$

Temperatura na kraju dionice d (b)

$$t_1 = t + d(t) \quad \text{24}$$

## 5 PRORACUN O. S. R. S. IZ O. O. R. S.

### 5.1 Prilagodavanje teoretskih izvoda iz poglavlja 4 za praktičnu upotrebu

Da bismo mogli izračunati podatke za O. S. R. S. za određene uvjete sušenja ( $v$ ,  $d$ ,  $u_p$ ,  $g_{sz}$ ,  $w$ ) i poznati O. O. R. S. (vidi tablicu I), potrebno je teoretske izvode iz poglavlja 4 prilagoditi za praktičnu upotrebu.

Kod praktičnog izvođenja proračuna nećemo operirati diferencijalima (npr.  $d(z)$ ), već konačnim razlikama odgovarajućih veličina (npr.  $\Delta z$ ). Čim budemo radili s manjim konačnim razlikama (npr.  $\Delta z$ ,  $\Delta u$ ,  $\Delta t$  itd), tim će rad biti dugotrajniji ali i tačniji.

Iz sl. 4...u vremenskom intervalu između  $z$  i  $z + \Delta z$  sati sušenja, srednji intenzitet sušenja na početku dionice I (za vrijeme  $\Delta z$ ) bit će

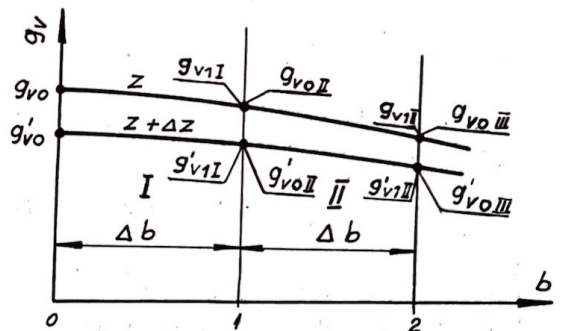
$$g_{vs0} = \frac{g_{v0} + g'_{v0}}{2} \quad \text{IA}$$

Analogno na kraju dionice I bit će

$$g_{vs1} = \frac{g_{v1} + g'_{v1}}{2} \quad \text{IB}$$

Srednji intenzitet sušenja na dionici I nakon  $z$  sati sušenja za vremenski period  $\Delta z$  bit će

$$g_{vsI} = \frac{g_{vs0} + g_{vs1}}{2} \quad \text{I}$$



Sl. 4 Raspodjela intenziteta sušenja u složaju nakon  $z$  odnosno  $z + \Delta z$  sati sušenja.

Iz sl. 5...nakon  $z$  sati sušenja, na početku dionice I u vremenskom razdoblju  $\Delta z$ , srednja vlažnost drva

$$u_{s0} = \frac{u_0 + u'_0}{2} \quad \text{II}$$

Pri tome vlažnost piljenice na kraju razmatranog vremenskog perioda ( $\Delta z$ ), analogno jednadžbi 19C

$$u'_0 = u_0 - g_{vs0} \cdot \Delta z \quad \text{IIA}$$

Iz IIA

$$\Delta z = \frac{u_0 - u'_0}{g_{vs0}} = \frac{\Delta u}{g_{vs0}} \quad \text{IV}$$

Analogno na kraju dionice I

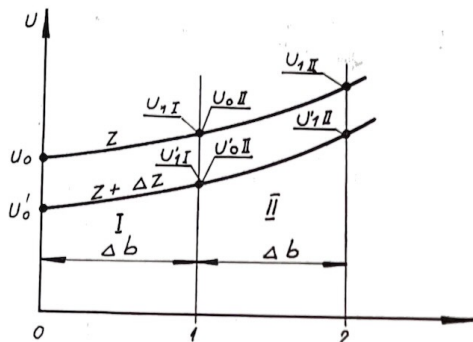
$$u_1 + u'_1 = \frac{u_{sI}}{2} \quad \text{III}$$

Pri tome analogno jednadžbi 19C

$$u'_1 = u_1 - g_{vs1} \cdot \Delta z \quad \text{IIIA}$$

Srednje povećanje vlažnosti u zraku prolazom iznad dionice I, analogno jednadžbi 20, je

$$\Delta x_1 = \frac{g_{vsI}}{g_{sz}} \cdot \frac{\Delta b}{B} \quad \text{V}$$



Sl. 5 Raspodjela vlažnosti daske u složaju nakon z odnosno z + Δz sati sušenja.

Srednja vlažnost zraka na kraju dionice I u intervalu od z do (z + Δz) (analogno 20A)

$$x_1 = x_0 + \Delta x_1 \quad \text{VI}$$

Srednji pad temperature zraka na dionici I u vremenskom razdoblju od z do (z + Δz) sati (analogno jednadžbi 23) je

$$t_1 = \frac{597 + 0,46 \cdot t_0 - \sum y}{0,24 + 0,46 \cdot x_0 + 0,46 \cdot \Delta x_1} \cdot \Delta x_1 \quad \text{VII}$$

Srednja temperatura zraka na kraju dionice I u istom vremenskom intervalu, analogno jednadžbi 23A

$$t_1 = t_0 + \Delta t_1 \quad \text{VIII}$$

## 5.2 Metodologija proračuna — primjer proračuna

Proračun ćemo izvršiti pomoću prilagođenih jednadžbi, tabelarno (vidi tabelu VIII itd).

Raspored vlažnosti drva u složaju za određeni režim, uvjete i trajanje sušenja (vidi i poglavlje 2.62), određen je jednadžbom

$$u = C_1 (b/B; z) \quad \text{3—1}$$

Tok prednje funkcije dat je šematički na sl. 6. Sl. 6 određuje nam ujedno i šematiku proračuna i oznaka.

Proračun procesa sušenja (vidi sl. 6) podijelit ćemo na više faza sušenja (A, B, C itd).

Analogno jednadžbi 3—1, faza sušenja definirana je vremenom sušenja ( $\Delta z_A = z_A - z_0$  za fazu A) potrebnim da se vlažnost drva snizi za  $\Delta u_0 = u_0 - u'_0$  na ulazu u složaj (za b/B = 0).

Vrijeme sušenja Δz za određenu fazu sušenja je konstantno.

Vlažnosti drva unutar jedne faze sušenja mijenjaju se u ovisnosti od b/B, analogno jednadžbi 3—1.

Raspored vlažnosti drva u složaju na završetku jedne faze sušenja jednak je rasporedu vlažnosti drva na početku druge faze sušenja (vidi sl. 6), ili

$$u'_{0AI} = u_{0BI}; \quad u'_{1AI} = u_{1BI} \text{ itd.}$$

Slično vlažnosti drva, i stanje zraka za sušenje na završetku jedne dionice (npr. dionice I unutar faze sušenja A) jednako je vlažnostima drva i stanju zraka na početku slijedeće dionice (npr. dionice II faze A), tj.

$$u_{II} = u_{0II}, \quad u'_{1I} = u'_{0II}, \quad u_{s1I} = u_{s0II}, \quad t_{1I} = t_{0II}, \quad x_{1I} = x_{0II} \text{ ITD.}$$

Da bi se proračun mogao provesti, moramo znati raspored vlažnosti piljenice u složaju na početku neke faze sušenja. Poznat je raspored vlažnosti složaja samo prije početka sušenja,  $u = u_p = \text{konst.}$  za  $z = 0$ . Prema tome, proračun počinjemo od toga stanja.

### 5.21 Primjer numeričkog proračuna

Kao primjer numeričkog proračuna obradili smo sušenje bukove piljenice  $d = 2,2$  cm. Početna vlažnost piljenice  $u_p = 0,7$  kg H<sub>2</sub>O/kgsm.

Specifični protok suhog zraka  $g_{sz} = 8,67$  kgsz/kg sm · h pri  $t_0 = 43,5^\circ\text{C}$  i  $x_0 = 0,05018$  kg H<sub>2</sub>O/kgsz (za  $u = 0,65$ ; za ostale vrijednosti u,  $g_{sz}$  izračunati prema jednadžbi 16 ili uzeti iz tablice V).

#### 5.211 Faza I sušenja (prema sl. 6, Faza A)

U ovoj fazi sušimo od  $u_p = u_0 = 0,7$  do  $u'_0 = 0,6$ , dakle za  $\Delta u_0 = 0,7 - 0,6 = 0,1$  kg H<sub>2</sub>O/kgsm.

Redoslijed proračuna prema tablici VIII

#### DIONICA I (0—1)

RED 1 prema jednadžbi II

$$u_{0s} = \frac{u_0 + u'_0}{2} = \frac{0,7 + 0,6}{2} = 0,65$$

RED 2, 3 i 4 iz tablice I za  $u_{0s} = 0,65$

$$t_0 = 43,5^\circ\text{C}, \quad t_{v0} = 40,42^\circ\text{C},$$

$$x_0 = 0,05018 \text{ kg H}_2\text{O/kgsm}$$

$$g_{vs0} = 0,01256 \text{ kg H}_2\text{O/kgsm} \cdot \text{h}$$

RED 5 prema jednadžbi 4

$$\Delta z = \frac{u_0 - u'_0}{g_{vs0}} = \frac{\Delta u}{g_{vs0}} = \frac{0,1}{0,01256} = 7,96 \text{ sati}$$

Važi za isto z za sve dionice.

RED 6  $g_{vs1}$  nije nam poznato; ocijenimo

$$g_{vs1} = 0,00885 \text{ kg H}_2\text{O/kgsm}$$

Tačnu vrijednost odredit ćemo metodom približavanja (vidi red 21)

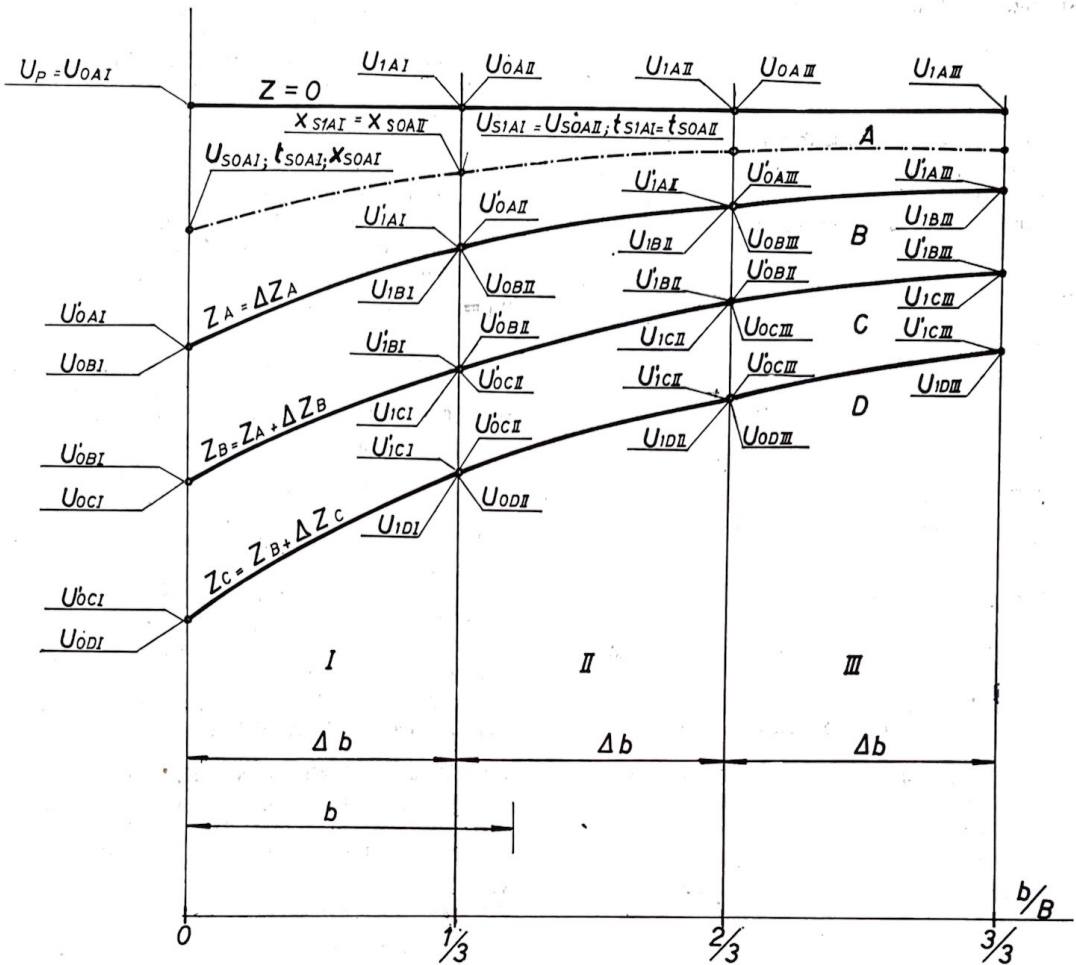
RED 7 vlažnost drva na kraju dionice I, za  $z = 0$

$$u_1 = u_p = 0,70 \text{ kg H}_2\text{O/kgsm}$$

RED 8 vlažnost drva na kraju prve dionice nakon Δz sati sušenja:

$$u'_1 = u_1 - \Delta z \cdot g_{vs1} = 0,7 - 7,96 \cdot 0,00885 = 0,6295 \text{ kg H}_2\text{O/kgsm}$$





Sl. 6 Raspored vlažnosti u složaju, te podjela na faze i dionice sušenja.

**RED 9** srednja vlažnost na kraju dionice I iz jednadžbe III:

$$u_{1s} = \frac{u_1 + u'_1}{2} = \frac{0,7000 + 0,6295}{2} = 0,6647$$

kg H<sub>2</sub>O/kgsm

**RED 10** srednji intenzitet sušenja dionice I iz jednadžbe I

$$g_{vsI} = \frac{g_{vs0} + g_{vs1}}{2} = \frac{0,01256 + 0,00885}{2} = 0,01071$$

kg H<sub>2</sub>O/kgsm · h

**RED 11** srednji porast vlažnosti zraka dionice I prema jednadžbi V

$$\Delta x_I = \frac{g_{vsI} \cdot \Delta b}{g_{sz} \cdot B} = \frac{0,01071 \cdot 0,333 \cdot b}{8,67 \cdot B} = 0,0004114$$

kg H<sub>2</sub>O/kgsm

$g_{sz} = 8,67$  iz tablice VI ili proračunom iz jednadžbe 16 ili 18

**RED 12** srednja vlažnost zraka na kraju dionice I za vrijeme sušenja  $z = 0$  i vremenski interval  $\Delta z$  iz VI

$$x_1 = x_0 + \Delta x_I = 0,05018 + 0,0004114 = 0,0505914$$

kg H<sub>2</sub>O/kgsz

**RED 13** srednji pad temperature na dionici I iz jednadžbe VII

$$\Delta t_I = \frac{597 + 0,46 \cdot t - \Sigma y}{0,24 + 0,46 \cdot (x_0 + \Delta x_I)}$$

Sa zadovoljavajućom tačnošću za  $u_{s0} = 0,65$  iz tablice VI,  $y = 34,09$  po uvrštenju

$$\Delta t_I = \frac{597 + 0,46 \cdot 43,5 - 34,09}{0,24 + 0,46 \cdot 0,0505914} - 0,0004114 = -0,7011 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**RED 14** srednja temperatura na kraju dionice I iz jednadžbe VIII

$$t_1 = t_0 + \Delta t_I = 43,5 - 0,9011 = 42,5989 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**RED 15 i 16** srednja temperatura rošnja i pritisak zasićenih vodenih para na kraju dionice I.

Iz tablice II za  $x_1 = 0,0505914$

$$t_r = 39,995 \text{ }^\circ\text{C} \quad P_1 = P_r = 751,82 \text{ kp/m}^2$$

**RED 17** srednja temperatura vlažnog termometra na kraju dionice I — vidi 2.7. Iz A—1

$$P_1 + 7,5 \cdot t_1 = 751,82 + 7,5 \cdot 42,599 = 1,071 \cdot 0 = \\ = P_{v8} + 7,5 t_v$$

za  $P_{v8} + 7,5 t_1 = 1069, 17$  iz tablice II srednja temperatura vlažnog termometra

$$t_v = 40,398 \text{ }^\circ\text{C}$$

**RED 18, 19 i 20** srednji intenzitet sušenja  $g'_{v1}$ , temperatura zraka za sušenje  $t'_1$  i temperatura vlažnog termometra  $t'_v$  na kraju dionice I, tj. za  $u_{v1} = 0,6647$  (vidi RED 9) za O. O. R. S prema tablici I (ili dijagramu I)

$$g'_{v81} = 0,012842; \quad t'_1 = 43,55; \quad t'_v = 40,45; \\ x'1 = 0,05035$$

**RED 21** stvarni intenzitet sušenja na kraju dionice I (kontrola pretpostavki iz REDA 6). Analogno jednadžbi 7 (F. Kollman — T. Toumlon)

$$(g_{v81}) = g'_{v81} \cdot \frac{t_1 - t_{v1}}{t'_1 - t'_{v1}} \cdot \frac{t_1}{t'_1} = \\ = 0,01284 \cdot \frac{42,597 - 40,398}{43,55 - 40,45} \cdot \frac{42,597}{43,55}$$

$$(g_{v81}) = 0,00892 \text{ kg H}_2\text{O/kgsm} \cdot \text{h}$$

što se dovoljno slaže s pretpostavkama.

U koliko se pretpostavljene i izračunate vrijednosti intenziteta sušenja ne bi dovoljno slagale, proračun ponoviti (sa novo pretpostavljenim  $g_{v81}$ ) dok ne postignemo zadovoljavajuće slaganje (metoda približavanja).

**DIONICA II (1—2).** Oznake iste kao na dionici I, tj. veličine za početak dionice imaju indeks 0, a za kraj dionice indeks 1.

Vremenski period  $\Delta z = 7,96$  sati i specifični protok suhog zraka  $g_{sz} = 8,67$  kgsz/kgsm · h kao i kod dionice I.

Vlažnosti piljenica na početku dionice II iste kao na završetku dionice I, dakle:

$$u_{0II} = u_1 = 0,70, u'_{0II} = u'_1 = 0,6295, \quad u_{s0II} = u_{s1} = 0,6647$$

intenzitet sušenja analogno

$$g_{v80II} = g_{v81} = 0,00890$$

Stanje zraka na ulazu u dionicu I8 analogno

$t_{0I} = t_1 = 42,5972, t_{v0II} = t_{v1} = 40,398, x_{0II} = x_1 = 0,050591$  po unošenju prednjih vrijednosti u tabelu VII za proračun, proračun se odvija dalje kao i za dionicu I (vidi tabelu I) itd.

### 5.212 Faza II sušenja

U ovoj fazi sušenja razmatramo sušenje složaja od  $u_0 = 0,6$  do  $u'_0 = 0,5$ , dakle za  $\Delta u_0 = 0,1$  kg H<sub>2</sub>O/kgsm i  $u_{s0} = 0,55$ .

Prema 5.2, raspored vlažnosti složaja na početku faze II jednak je rasporedu vlažnosti složaja na kra-

ju faze I, dakle iz tablice VII — I (za proračun faze I)

$$u_{0B} = u'_{0A} = 0,6, \quad u_{1B} = u'_{1A} = 0,6295,$$

$$u_{sB} = u'_{sA} = 0,6473, \quad u_{sB} = u'_{sA} = 0,6634$$

ostalo kao u I fazi sušenja.

Proračun u tablici VII — II

### 5.213 Faza III sušenja

U ovoj fazi razmatramo sušenje složaja sa  $u_0 = 0,5$  na  $u'_0 = 0,4$  kg H<sub>2</sub>O/kgsm.

Postupak isti kao i za faze I i II.

### 5.214 Faza IV sušenja

U ovoj fazi razmatramo sušenje sa  $u_0 = 0,4$  na  $u'_0 = 0,3$  kg H<sub>2</sub>O/kgsm.

Tabela VII — I

Proračun faze I sušenja		$u_0 = 0,7; u'_0 = 0,6 \text{ kg H}_2\text{O/kgsm}$		
Red. broj	Dionica	I	II	III
1	$U_{s0} = \frac{u_0 + u'_0}{2}$	0,65	0,6647	0,6737
2	$t_{s0}/t_{v80}$	43,5/40,43	42,998/40,398	41,913/40,370
3	$x_{s0}$	0,05018	0,050591	0,050899
4	$g_{v80}$	0,01286	0,00890	0,00660
5	$\Delta z = \frac{u_0 - u'_0}{g_{v80}} = \frac{\Delta u}{g_{v80}}$	7,96	7,96	7,96
6	$g_{v81}$ — — — — —	0,00885	0,00662	0,00460
7	$U_1$	0,7000	0,7000	0,7000
8	$U'_1 = U_1 - \Delta z \cdot g_{v81}$	0,6295	0,6472	0,6634
9	$U_{s1} = \frac{U_1 + U'_1}{2}$	0,6647	0,6737	0,6817
10	$g_{v81} = \frac{g_{v80} + g_{v81}}{2}$	0,01071	0,00776	0,00560
11	$\Delta t_1 = \frac{g_{v81} \cdot \Delta b}{g_{sz}}$	0,006114	0,002983	0,002153
12	$x_1 = x_0 + \Delta x_1$	0,050591	0,050899	0,051106
13	$\Delta t'_1 = - \frac{397 \cdot 0,44 + y}{0,26 - 0,44 \cdot x_{s1}} \cdot \Delta x_1$	- 0,9028	- 0,8343	0,6716
14	$t'_{s1} = t_{s0} + \Delta t_1$	42,5989	41,9429	41,4712
15	$t_r$ iz tablice II za $x$	39,995	40,096	40,180
16	$P_r$ iz tablice II za $t_r$	751,82	755,92	758,89
17	$t_{v81}$ za $t_r$ i $t_{s1}$	40,398	40,379	40,370
18	$g_v^{\circ}$	0,012842	0,00890	0,00660
19	$t^{\circ}$	43,55	43,60	43,60
20	$t_v^{\circ}$	40,45	40,42	40,40
21	$g_{v81}$	0,00882	0,00659	0,00460
22	$g_{v81}$ interpolacijom	0,00890	0,00660	0,00460

<sup>o</sup> Za  $U_{s1}$  iz odgovarajućega O.O.R.S (tablica I ili dijagram I)

U fazama I, II i III sušenja imali smo kritičnu tačku složaja (vidi 2.62 i sliku 3) na početku složaja, tj. pri  $b/B = 0$ . U fazi sušenja IV, za razmatranje uvjete sušenja, kritična tačka složaja bit će pomaknuta od ulaza složaja za  $b_k/B$ . Režim sušenja u kritičnoj tački (prema 2.62) bit će optimalan (odgovarat će O. O. R. S). Režim sušenja u kritičnoj tački određuje režime sušenja u cijelom složaju. Prema tome, neophodno je odrediti položaj kritične tačke K (raspored vlažnosti složaja na početku razmatranja faze sušenja poznat je iz proračuna prethodne faze).

### I aproksimacija (približno određivanje $b_k/B$ )

Proračun u I aproksimaciji provodimo na već uobičajeni način. Na kraju nekih dionica dobit ćemo  $g_v > g_{vk}$ . Mjesto najvećeg odnosa  $g_{vk}/g_v$  odgovara približno mjestu kritične tačke  $b_k/B$ .



Tabela VII — II

Proračun faze II sušenja  $U_0 = 0,6; U'_0 = 0,5 \text{ kg H}_2\text{O/kg sm}$

Red. broj	Dionica	I 0 - 1	II 1 - 2	III 2 - 3
1	$U_{30} = \frac{U_0 + U'_0}{2}$	0,55	0,5864	0,16132
2	$t_{30} \quad t_{v30}$	43,72 / 40,11	42,8852 / 40,0234	42,1975 / 40,0971
3	$x_{30}$	0,04899	0,048369	0,049682
4	$g_{v30}$	0,010626	0,009000	0,007274
5	$\Delta Z = \frac{U_0 - U'_0}{g_{v30}} = \frac{\Delta U}{g_{v30}}$	9,4109	9,4109	9,4109
6	$g_{v31}$ --- ocjenjeno	0,00905	0,00725	0,00595
7	$U_1$	0,6295	0,6473	0,6634
8	$U'_1 = U_1 - \Delta Z \cdot g_{v30}$	0,5444	0,5791	0,6075
9	$U_{31} = \frac{U_1 + U'_1}{2}$	0,5864	0,6132	0,6355
10	$g_{v31} = \frac{g_{v30} + g_{v31}}{2}$	0,009835	0,00813	0,006617
11	$\Delta x_{31} = \frac{g_{v31}}{g_{v30}} \cdot \frac{\Delta b}{B}$	0,0003746	0,0003726	0,0003542
12	$x_{31} = x_{30} + \Delta x_{31} \quad t_{30}$	0,049369	0,049682	0,049930
13	$\Delta t_{31} = -\frac{597 + 0,46 + y}{0,24 + 0,46 \cdot x_{31}} \cdot \Delta x_{31}$	-0,8347	-0,6077	-0,8592
14	$t_{31} = t_{30} + \Delta t_{31}$	42,8852	42,1975	41,6383
15	$t_r$ iz tablice III za $x_{31}$	39,5604	39,6721	39,7630
16	$P_r$ iz tablice III za $t_r$	734,811	739,179	742,700
17	$t_{v31}$ za $t_r$ i $t_{31}$	40,0930	40,0757	40,0516
18	$g_v$ <sup>ⓐ</sup>	0,011364	0,011367	0,012278
19	$t$ <sup>ⓐ</sup>	43,6	43,57	43,50
20	$t_v$ <sup>ⓐ</sup>	40,15	40,22	40,25
21	$g_{v31}$	0,008925 0,009070	0,007270	0,00594
22	$g_{v31}$ - interpolirano	0,008925	0,007274	0,00594

<sup>ⓐ</sup> Za  $U_{31}$  i odgovarajući: O. O. R. S (tablica I ili dijagram I)

II aproksimacija, u kritičnoj tački, tj. na udaljenosti  $b_k/B$  od početka složaja za u toj tački vladajućoj vlažnosti drva  $u_k$  odredimo iz O. O. R. S. odgovarajuće vrijednosti  $t_k$  i  $x_k$ . Daljnji proračun kao za prethodne faze sušenja, računajući od  $b_k/B$  unazad (prema  $b/B = 0$ ) i unaprijed prema ( $b/B = 1$ ).

5.215 Faza V sušenja itd. prema 5.214

Prednjim je data metodologija analitičkog određivanja O. S. R. S. za poznati O. O. R. S. i proizvodljno odabrane uvjete sušenja.

6 ZAKLJUČCI

U ovom članku obrađena je toplinska problematika procesa sušenja drva toplim zrakom i data metodologija određivanja O. S. R. S. za poznati (eksperimentalno određeni) O. O. R. S. i proizvodljno uvjete sušenja.

Prvo su određene veličine koje utječu na odvijanje procesa sušenja (jednadžba 1). Uvođenjem nove veličine, specifičnoga protoka zraka složajem  $g_{sz}$   $\text{kgsz/kgsm} \cdot h$  (vidi pogl. 3.4 i sl. 2)

a) smanjujemo broj promjenljivih u osnovnoj jednadžbi procesa sušenja;

b) pojednostavljujemo matematsku i eksperimentalnu obradu problematike;

c) omogućavamo razvijanje jednostavnih metoda mjerenja veličina stanja, u bilo kojoj tački složaja i bilo kojoj fazi sušenja;

d) omogućavamo ekonomsko-tehničku analizu procesa sušenja

Na proces sušenja utječe vrlo mnogo veličina (vidi jednadžbu 1A). Prema tome **optimalizacija** (poglavlje 2.6) općeg procesa sušenja (na osnovu jednadžbe 1A) ne dolazi u obzir (veliki broj ispitivanja, nepreglednost rezultata, mala tačnost i nemogućnost dublje analize procesa sušenja).

**Optimizaciju** osnovnog režima sušenja (O. O. R. S. vidi 2.42 i 2.61) možemo jednostavno i vrlo tačno sprovesti. Dobiveni optimalni osnovni režim sušenja (O. O. R. S) predstavlja u stvarnosti međusobne odnose veličine stanja sušenja ( $t, x, u$  i  $g_v$ ) za najveći <sup>26</sup> intenzitet sušenja, za određenu vrstu (v) i debljinu drva (sve veličine stanja razumiju se u određenoj tački složaja). Određujući O. O. R. S. za nekoliko pogodno izabranih debljina određene vrste drva, možemo interpolacijom odrediti O. O. R. S. za bilo koju debljinu iste vrste drva, O. O. R. S. određen za jednu protočnu brzinu zraka složajem možemo bez poteškoća preračunati za proizvodljno izabramu protočnu brzinu (vidi 2.8).

Međusobne odnose veličina stanja možemo samo eksperimentalno odrediti.

Iz poznatog O. O. R. S. možemo odrediti veličine stanja sušenja u bilo kojoj tački složaja za bilo koje uvjete sušenja (vidi odsjeke 4 i 5).

Sistematski određene veličine stanja sušenja nazivali smo standardnim režimom sušenja (O. S. R. S). O. S. R. S. za  $b/B = 0$  služiti će nam za vođenje procesa u sušari (naravno, za uvjete sušenja za koje je O. S. R. S. određen).

Raspolažući O. S. R. S. za razne uvjete sušenja, možemo interpolacijom odrediti O. S. R. S. za bilo koje uvjete sušenja, te utvrditi utjecaje uvjeta sušenja na sam proces i ekonomiju sušenja <sup>27</sup>. Ovom problematikom zabavit ćemo se detaljnije u posebnom članku.

U poglavljima 4 i 5 date su toplinske podloge za određivanje (mjerenje) veličina stanja sušenja u bilo kojoj tački složaja, mjerenjem samo temperatura u tim tačkama i mjerenjem vlažnosti zraka na ulazu u složaj. Ovom mogućnosti mjerenja znatno pojednostavljujemo eksperimentalni rad, omogućavamo detaljno studiranje procesa sušenja, te jednostavnu kontrolu procesa sušenja i sušare. Radi obimnosti, ovu metodu mjerenja razraditi ćemo također u posebnom članku.

POPIS PRIMLJENIH OZNAKA

- a  $\text{m}^2/\text{kgs}$  specifična površina piljenice
- $a_{sm}$   $\text{m}^2/\text{kgs}$  specifična površina potpuno suhe piljenice
- b m udaljenost od početka složaja (vidi sl. 3)
- $b/B$  relativna dužina razmatrane dionice
- B m širina složaja u smjeru strujanja zraka
- $c_v$   $\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$  specifična toplina vode
- $c_d$   $\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$  specifična toplina suhog drva
- d m debljina piljenice

<sup>26</sup> Ekonomski opravdani.

<sup>27</sup> Prema tome, možemo odrediti ekonomski najpovoljnije uvjete sušenja i ekonomski najpovoljniju sušaru.

**D** m dužina složaja  
**g<sub>sz</sub>** kgsz/kgsm, h specifični protok suhoga zraka složajem  
**g<sub>v</sub>** kgH<sub>2</sub>O/kgsm · h intenzitet sušenja  
**i** kcal/kg entalpija  
**N<sub>u</sub>** Nusselt-ov broj  
**P** kp/m<sup>2</sup> parcijalni pritisak vodenih para u zraku  
**P<sub>sv</sub>** kp/m<sup>2</sup> parcijalni pritisak zasićenih vodenih para u zraku  
**P<sub>r</sub>** Prantlov broj  
**q** kcal/kgsm · h toplina potrebna za sušenje kgsm za sat  
**q<sub>A</sub>** kcal/m<sup>2</sup> · h toplinsko opterećenje sušene površine  
**r** kcal/kg toplina otparivanja  
**s** m razmak između redova piljenice u složaju  
**t** °C temperatura zraka za sušenje  
**t<sub>r</sub>** °C temperatura rošenja vl. zraka  
**t<sub>v</sub>** °C temperatura vlažnog termometra  
**u** kgH<sub>2</sub>O/kgsm vlažnost piljenica  
**u<sub>p</sub>** kgH<sub>2</sub>O/kgsm početna vlažnost drva  
**u<sub>o</sub>** kgH<sub>2</sub>O/kgsmvlažnost drva na ulazu u složaj (za b = 0)  
**u<sub>s</sub>** kgH<sub>2</sub>O/kgsm srednja vlažnost složaja  
**v** vrsta drva  
**V<sub>vz</sub>** m<sup>3</sup>/sek protočni volumen vlažnoga zraka sušarom i složajem  
**w** m/sek brzina strujanja mokroga zraka složajem  
**x** kgH<sub>2</sub>O/kgsz apsolutna vlažnost zraka  
**z** sati vrijeme trajanja sušenja  
**α** kcal/m<sup>2</sup> · °C · h koeficijent prelaza topline dodirom  
**α<sub>SA</sub>** kgsm/kgH<sub>2</sub>O koeficijent utezanja površine drva  
**λ** kcal/m · °C · h toplinska vodljivost  
**ν** m<sup>2</sup>/sek kinetički viskozitet

## Literatura

- 1.) **Krpan, J.:** Sušenje i parenje drva. Šumarski Fakultet, Zagreb 1965.
- 2.) **Krpan, J.:** Utezanje i krivulja sušenja bukovine, Zagreb 1960.
- 3.) **Kollmann, F.:** Rechnerische Verfolgung der kuenstlichen Holzrocknung, Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesens, Juli/Aug. Berlin 1935.
- 4.) **Bošnjaković, F.:** Nauka o toplini, Tehnička knjiga, Zagreb 1950.
- 5.) **Dubbel, H.:** Taschenbuch fuer den Maschinenbau, Elfte Auflage, Berlin 1953.
- 6.) **Horvat, I.; Krpan, J.:** Drvno industrijski priručnik, Tehnička knjiga, Zagreb 1967.
- 7.) **Krag, R.:** Schleudergeblaease, Muenchen — Berlin 1926.
- 8.) Spravočnik mašinstrojitelja, Gosudarstvenoe naučno — tehničkoje izdateljstvo, Moskva 1963.
- 9.) **Macku, B.; Novak V.; Nachtikal, F.:** Základy Praktické Fysiky, II izdanje, Brno 1927.
- 10.) **Horvat, I.; B. Emrović.:** Režimi sušenja drveta, Šumarski list 1951, 8/10.
- 11.) **Merkel, F.:** Die Grudnlagen der Waermeuebertragung, Drezden, Th. Steinkopff 1927.
- 12.) **Kraussold, H.:** Der konvektive Waermeuebergang. Die Technik, Bd. 3, 1948.
- 13.) **Wiecke:** Einige Probleme des Stoff-u. Waermeuebergangs an Grezflaechen. Chem. — Ing. — Techn. Bd. 23/1951.
- 14.) **Nusselt, W.:** Gesundheitsing. Bd. 38/1915.

## Napomena:

U ovom članku obrađena su opširnije neka područja (npr. pogl. 3, a djelomično i pogl. 4), nego što bi to odgovaralo karakteru ovakvog članka. Ovim proširenjem gubi se na preglednosti članka, ali se znatno povećaje njegova praktična upotrebljivost.

M. BILJAN, dipl. ing.

## TIMBER KILN-DRYING BY MEANS OF AIR

### SUMMARY

Magnitudes influencing the process of drying in kiln and their classification. Magnitudes of drying and conditions of drying. Drying regimes. Optimization of drying regime.

Analytical treatment of drying process. Analytical determination of drying regime for industrial kiln drier (numerical example). Theoretical bases for the methods of measurement.



Dr KATOVIĆ ZVONKO, dipl. ing.  
Kemijski kombinat »Chromos-Katran-Kutrilin«  
ČIČ ĐURĐICA, dipl. ing.  
Kemijski kombinat »Chromos-Katran-Kutrilin«  
PETROVIĆ STJEPAN, dipl. ing.  
Institut za drvo

## Neka zapažanja o sintetskim ljepilima na bazi fenolnih smola u proizvodnji vodootpornih šperploča\*

### 1.0. Uvod:

Sintetska ljepila na bazi fenol-formaldehidnih smola svakim danom nalaze sve veću primjenu u drvenoj industriji. Zbog svojih izvanrednih svojstava, kao npr. vodootpornost, relativno niske cijene u odnosu na neke druge smole, jednostavna primjena, otpornost prema znatnim varijacijama u toplini, otpornost prema insektima i mikroorganizmima, područje njihove primjene je mnogo šire nego što to izgleda.

Na tržištu se danas može naći cijeli niz fenolnih ljepila na bazi raznih fenola i aldehida. Njihova svojstva mogu biti slična, ali se reakcijom nekog od fenola s određenim aldehidom mogu dobiti ljepila potpuno individualnih karakteristika. Tako je npr. moguće dobiti ljepila koja otvrdnjavaju u širokom temperaturnom intervalu, zatim, koja duboko penetriraju i polako otvrdnjavaju ili pak takve formulacije ljepila koje slabo penetriraju i brzo otvrdnjavaju itd.

Kao najekonomičnija vodootporna ljepila za proizvodnju šperploča pokazale su se termoreaktivne fenol-formaldehidne smole.

To su produkti kemijske kondenzacije fenola i formaldehida u lužnatoj sredini. Proces kondenzacije prekida se još u fazi dok je smola vodotopiva. Njeno omrežavanje, kojim se stvara netopiva trodimenzionalna povezana struktura smole, odvija se u toku prešanja ljepila pod utjecajem topline. Pritom lužina prisutna u smoli djeluje kao katalizator reakcije.

Najveću primjenu ovaj tip ljepila danas nalazi u proizvodnji tzv. vodootpornih šperploča. Pritom ona zahtijeva podešavanje osnovnih tehnoloških parametara u relativno uskim granicama. Posljedica neodržavanja tih uvjeta u propisanim granicama u pravilu su greške u lijepljenju (9), što ponekad navodi proizvođače šperploča na krivi zaključak da krivca za greške u lijepljenju isključivo traže u samom ljepilu. S porastom proizvodnje ovih ploča, prvenstveno zahvaljujući većoj primjeni u građevinarstvu, mogla se uočiti veća učestalost pojave izvjesnih grešaka u lijepljenju.

\* Pod ovim naslovom izneseno je i saopćenje na Jugoslavenskom simpoziju o kemiji i tehnologiji makromolekula, u okviru sastanka kemičara Hrvatske održanom 23—27. III 1971. Saopćenje je obuhvatilo kratki pregled naših dosadašnjih rezultata ispitivanja izvršenih tokom 1970. g.

U vezi toga poduzeta su ispitivanja, koja su imala za cilj pronalaženje i definiranje određenih grešaka i pojava u proizvodnji vodootpornih šperploča. Ovaj rad obuhvaća ispitivanje utjecaja na kvalitet lijepljenja slijedećih tehnoloških parametara:

- a) vlaga furnira neposredno prije nanosa ljepila,
- b) specifični nanos ljepila,
- c) specifični pritisak prešanja,
- d) temperatura na etažama preše,
- e) viskozitet ljepila,
- f) zatvoreno vrijeme čekanja,
- g) vrijeme prešanja,
- h) vrsta i količina punila,
- i) kvalitet površine furnira,
- j) temperatura furnira neposredno prije nanosa ljepila,
- k) temperatura Al. limova neposredno prije slaganja furnira s nanešenim ljepilom,
- l) stupanj kondenzacije ljepila.

Obzirom da se neki od navedenih tehnoloških parametara pojavljuju kao bitni u proizvodnji šperploča i sa znatno većom učestalošću nego ostali, u ovom izlaganju dat im je prioritetni značaj. Ostali tehnološki parametri bit će spomenuti ukoliko se u komentarima rezultata budu doveli u vezu s bitnim faktorima. Prema tome, u nastavku se daje metodika rada i rezultati ispitivanja utjecaja prije spomenutih faktora pod a, b, i l na kvalitet lijepljenja vodootpornih šperploča.

### 2.0. Metodika rada

#### 1.2. Ispitivanje utjecaja vlage furnira (drva)

Termoreaktivna fenolformaldehidna ljepila su neobično osjetljiva na količinu vlage prisutne u furniru (drvu). Iskustveni podaci pokazuju da bi se za kvalitetno lijepljenje vlaga trebala kretati u granicama 4—8% (4,9). Međutim, u praksi upravo u ovoj fazi sušenja furnira nastaju odstupanja koja kasnije mogu imati negativan utjecaj na kvalitet spoja. Odstupanja od postavljenih uvjeta mogu biti posljedica više faktora, kao npr. konstruktivnih karakteristika sušara, dotrajalosti sušara, nepravilnog vođenja sušenja, nepostojanja kontrole vlažnosti furnira. Iskustva pokazuju da su znatno češći slučajevi povećane vlage furnira. Bez obzira na uzrok pojave furnira s povećanom vlažnosti, posljedice su iste. U pravilu dolazi do smanjenja viskoziteta razređenjem nanešenog ljepila na furnire, što ima za posljedicu njego-



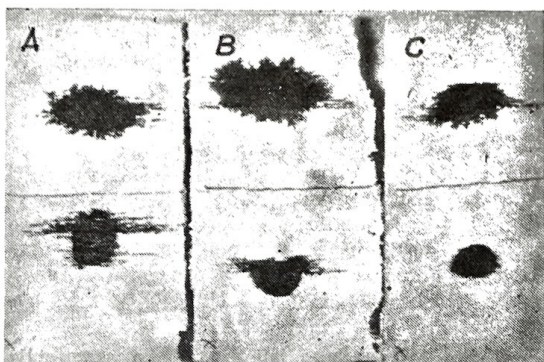
vu preduboku penetraciju u strukturu drva, tako da ga u samom spoju (ljepivoj fugi) ostane premalo za postizanje kvalitetnog spoja (4).

Osim toga, u fazi sušenja, u ovisnosti od primijenjenog režima, može doći do izvjesne hidrofobizacije površina furnira. Uočeno je da takva stanja površina u praksi obično uzrokuju teškoće u nanosu ljepljiva. Posljedica toga je smanjenje ili potpuno odsustvo čvrstoće u lijepljenom spoju. Kod opisa tih pojava uvriježilo se engleski naziv »case hardening« (3,6). Suština ove pojave nije do danas u potpunosti objašnjena. Vjerojatno je ona posljedica više morfoloških nego kemijskih promjena površine, iako ovu pretpostavku nije bilo moguće potvrditi ni nakon mikroskopskih promatranja takvih površina. Čak nisu uvijek jasni ni agensi, koji uzrokuju efekt »case hardening«. On se ponekad pojavljuje ako se površine obrađuju neprikladnim alatom, iako na nekoj drugoj površini drva, obrađenoj istim alatom, ovaj efekt može izostati. Dosta često je uočen efekt »case hardeninga« kod tretiranja tankih furnira pri visokim temperaturama.

Bez obzira na uzrok ove pojave, za sada je sigurno da je ona ograničena na vrlo tanak sloj površine oko (0,25 mm), i dovoljno je već lagano struganje površine da se otklone negativne posljedice ove pojave. Pojava »case hardeninga« se na površini furnira može relativno jednostavno diagnosticirati. U tu svrhu načinjeni su pokusi s otopinama metilenskog plavila. Pokusi su se sastojali u promatranju oblika i brzine rasprostiranja jedne kapi indikatora na površini osušenog furnira u toku 1 min.

Bukovi furniri sušeni su kod 100°C, 120°C i 140°C.

Ako postoji efekt »case hardeninga«, kap indikatora će i nakon 1 min zadržati svoje početne dimenzije, dok će se u odsutnosti te pojave ona znatno povećati i pokazivati nejednoliko obojene rubove. Rezultati pokusa prikazani su na sl. 1.



Slika 1. — A — furnir sušen 1 h kod 100°C; B — furnir sušen 1 h kod 120°C; C — furnir sušen 1 h kod 140°C.

Na gornjim polovinama furnira A, B i C, tanki hidrofobni sloj drva skinut laganim brušenjem.

Polazeći od evidentnih postavki da vlaga furnira ima znatan utjecaj na kvalitet lijepljenja, postavljen je plan laboratorijskog ispitivanja u smislu dobivanja apsolutnih vrijednosti čvrstoća na smicanje lijepljenog spoja kod raznih sadržaja vlage.

Za ova ispitivanja upotrebljene su bukove pločice, dimenzija 450 × 150 × 50 mm, približno radijalnog reza, da se izbjegne utjecaj eventualnih razlika u porozitetu površina drva koje opet ovise o kutu presjecanja vlakana i drvnih sudova.

Uzorci bukovih pločica su prethodno kondicionirani na određeni sadržaj vlage u klima — komori tipa »Köttermann«.

Nakon kondicioniranja, bukove se pločice hermetički zatvaraju u polietilenske vreće.

Sadržaj vlage određen je gravimetrijskom metodom. Uzorci za mjerenje vlage uzeti su neposredno prije nanosa ljepljiva. Dobiveni rezultati prikazani su u tabeli broj 1.

Tabela 1.

Oznaka ploča	sadržaj vlage %		
	min	x	max
1	7,1	7,8	8,4
2	3,9	4,0	4,1
3	11,5	11,9	12,1
4	18,0	20,1	22,5

Ostali tehnološki parametri u toku lijepljenja bukovih pločica bili su konstantni, kako slijedi:

- specifični nanos ljepljiva 180 gr/m<sup>2</sup>
- specifični pritisak prešanja 18 kp/cm<sup>2</sup>
- temperatura na etažama preše 130°C
- zatvoreno vrijeme čekanja 20 min
- vrijeme prešanja 5 min temeljno + min 1 mm do srednjeg sloja ljepljiva
- dimenzija bukovih pločica 450 × 150 + 50 mm.

Za pripremu ljepljiva upotrebljena je slijedeća receptura:

Fenolno ljepljivo — »Fenofix 120« 100 t. d.  
 Kontakt B\* 30 t. d.

Jednoličan nanos pripremljenog ljepljiva postignut je s nazubljenom plastičnom pločicom. Dubina ovog nazubljenja imitira utore na valjcima, tj. uvjete nanošenja ljepljiva u tvornicama šperploča.

Nakon prešanja ploče su kondicionirane 7 dana u uvjetima normalne klime (65%/20°C). Iz svake ploče izrezano je 15 epruveta za ispitivanje čvrstoće na smicanje. Ispitivanje je izvršeno na univerzalnom stroju, tipa »O. Wolpert«, pri brzini pomaka od 10 mm/min.

Za dobivanje stvarnog uvida u penetraciju ljepljiva u ovisnosti od vlage u drvu, izvršena su također i anatomska ispitivanja. Izrađeni su mikrotomski vezovi lijepljenih spojeva ploča s raznim vlagama. Komparativan prikaz anatomskih i mehaničkih ispitivanja bit će dat u točki 3.0.

## 2.2. Ispitivanje utjecaja specifičnog nanosa ljepljiva

Za ispitivanje utjecaja specifičnog nanosa ljepljiva proizvedene su troslojne bukove šperploče sa specifičnim nanošom od 140, 180, 250 i 360 gr/m<sup>2</sup> ljepljiva. Ovakvo široke varijacije u nanosu odabrane su iz razloga što se isti i u proizvodnji obično kreću u

\* Proizvodi tvornice plastičnih masa Kemijskog kombinata »Chromos-Katran-Kutrilin« — Zagreb.



ovim granicama. Tehnološki parametri u izradi ovih ploča bili su slijedeći:

- vlaga furnira 6,0—10,2 %
- debljina furnira 1,1 ; 2,4 mm
- format ploča 400 × 400 mm

Ostali tehnološki parametri i receptura za pripremu ljepljiva bili su isti kao u točki 2.1.

Nakon izrade ploče su kondicionirane 7 dana u uvjetima normalne klime (65%/20°C). Iz svake ploče izrezano je 20 epruveta za ispitivanje čvrstoće na snimanje. Ispitivanje je također izvršeno na univerzalnom stroju tipa »O. Wolpert«.

### 2.3. Utjecaj stupnja kondenzacije smole na kvalitet lijepljenja

Za ispitivanje utjecaja stupnja kondenzacije ljepljiva na dubinu penetracije u drvo, a time i na kvalitet lijepljenog spoja, upotrebljene su slijedeće tri formulacije ljepljiva.

- ljepljivo »Fenofix-120«
- visoko reaktivno ljepljivo
- slabo reaktivno ljepljivo

Laboratorijske troslojne bukove šperploče proizvedene su pri slijedećim tehnološkim parametrima:

- debljina furnira 1,2 ; 2,4 mm
- format ploča 350 × 350 mm
- vlaga furnira 6—8%

Receptura za pripremu ljepljiva i ostali tehnološki parametri bili su isti kao u točki 2.1.

Nakon izrade ploče su kondicionirane 7 dana u normalnoj klimi (65%/20°C) a potom ispitane. Ispitivanje je obuhvatilo određivanje čvrstoće na smicanje i stvarne dubine penetracije ljepljiva u zavisnosti od njegove formulacije (stupnja kondenzacije). Dubina penetracije promatrana je na mikrotomskim rezovima pod mikroskopom.

### 3.0. Rezultati ispitivanja

Dobiveni rezultati i njihovi komentari navedeni su istim redoslijedom kao i u poglavlju 2.0. Kod analize rezultata, korištena su i naša dosadašnja pogonska iskustva, kao i iskustva nekih drugih autora (1, 2, 3, 4, 7, 8, 9).

#### 3.1. Utjecaj vlage furnira na kvalitet lijepljenja

Rezultati ispitivanja utjecaja vlažnosti furnira na čvrstoću lijepljenja prikazani su u tabeli 2 i dijagramu 1.

Tabela 2.

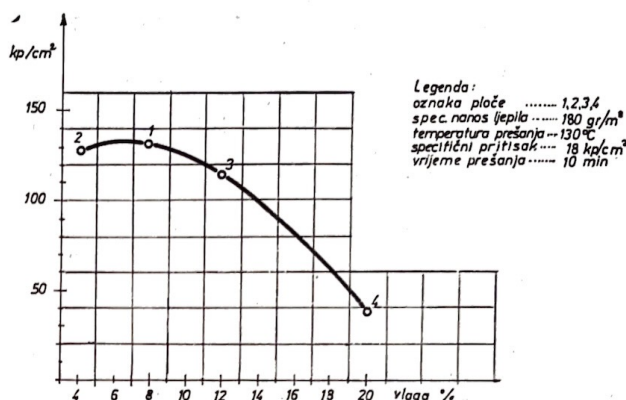
Oznaka ploča	Prosječna vlaga %	Čvrstoća na smicanje (kg/cm <sup>2</sup> )			Smicanje po	
		min	$\bar{x}$	max	ljep. %	drvu %
1	7,8	109,0	131,0	150,5	20	80
2	4,0	140,0	128,0	146,0	—	100
3	11,9	93,5	115,0	143,5	30	70
4	20,1	12,0	37,7	64,0	100	—

Na osnovu prikazanih rezultata u tabeli 2 i dijagramu 1, vidljivo je da su najpovoljnije vrijednosti čvrstoće dobivene u području vlažnosti drva od 4—8%.

Nešto slabiji rezultati, ali još uvijek zadovoljavajući, postignuti su kod lijepljenja bukovih pločica

vlažnosti 12%. Izrazito slabu čvrstoću na smicanje pokazala je ploča s vlažnosti od 20,1%. Interesantno je pritom komparirati površinu smicanja po drvu, odnosno ljepljivu. Kod ploča 1, 2 i 3, dakle u području vlažnosti drva 4—12%, do smicanja dolazi pretežnim dijelom po sloju drva. Međutim, kod ploče 4 dolazi u 100% slučajeva po sloju ljepljiva.

Objašnjenje za osjetan pad čvrstoće ljepljivog spoja leži u stupnju penetracije nanešenog ljepljiva u ovisnosti od sadržaja vlage u drvu. U slučaju normalne vlažnosti 4—8%, ljepljivo ne penetrira duboko u strukturu drva, nego se uglavnom zadržava u uskoj zoni oko lijepljenog spoja (fuge).



Dijagram 1. Čvrstoća na smicanje u ovisnosti od sadržaja vlage u drvu.

Previsoka vlaga (iznad 12%) u pravilu izaziva relativno duboku penetraciju ljepljiva u strukturu drva. To ima za posljedicu pojavu tzv. »gladnog spoja«, jer premalo ljepljiva zaostaje u spoju. Ova pojava može se uočiti po karakterističnim tragovima punila, koji su vidljivi nakon raslojavanja spojeva iza prešanja. Preduboka penetracija ljepljiva u ovom se slučaju objašnjava smanjenjem viskoziteta (razređenjem) nanešenog ljepljiva, što mu omogućava da znatno brže nego je to normalno prodire u otvorene pore drva.

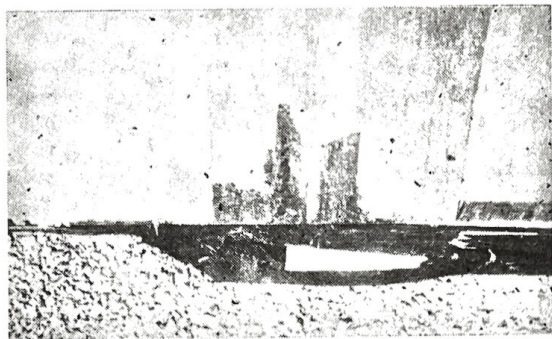
Naprijed iznesene konstatacije vrijede naravno uz pretpostavku da su ostali tehnološki parametri (kao spec. nanos ljepljiva, viskozitet ljepljiva, temperatura furnira, kvalitet površine furnira itd.) barem približno konstantni. U protivnom dolazi često puta do kombiniranog utjecaja vlage u furniru sa suvišnom vlagom unesenom kroz preveliki specifični nanos ljepljiva.

Efekat je uglavnom isti, preduboka penetracija ljepljiva — »gladan spoj« — slaba čvrstoća spoja. I konačno, isti efekat nastaje ako se ljepljivo nanosi na tople furnire. Pod utjecajem topline smanjuje se relativno brzo viskozitet nanešenog ljepljiva, što također može rezultirati u predubokoj penetraciji ljepljiva — gladnom spoju — slaboj čvrstoći.

Preniska vlaga u drvu u fazi nanosa ljepljiva, a kao posljedica režima sušenja, može utjecati na pojavu izvjesne hidrofobnosti lijepljenih površina, koja u konačnici rezultira u slabijem kvašenju, a time i slabijoj čvrstoći spoja.

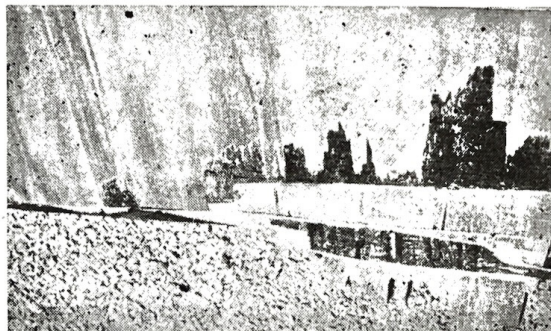


Pojave previsoke i preniske vlage i njihov utjecaj na kvalitet lijepljenja evidentirane su često i u praksi. Od nekoliko karakterističnih slučajeva navedena su radi ilustracije samo dva.



Slika 2

Na slici 2 prikazano je komparativno slabu i dobru lijepljenost pokrovnog i poprečnog (kver) furnira. Evidentno je da srednji list pokrovnog furnira pokazuje slabije vezanje nego krajnji listovi. Već i po tamnijoj boji srednjeg lista, moglo se konstatirati da se radi o visokoj vlazi. Također se na mjestima raslojavanja moglo uočiti karakteristično bljedilo uslijed zaostalog punila.

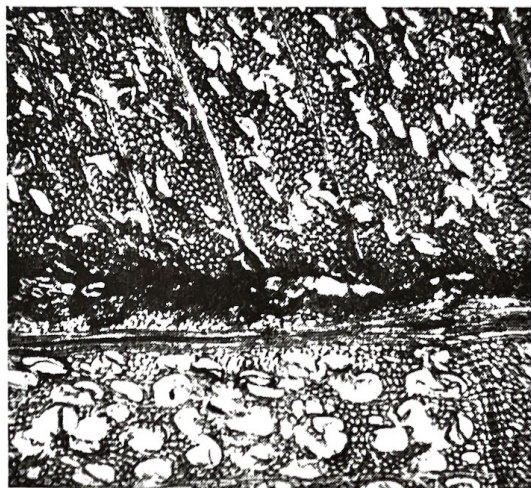


Slika 3

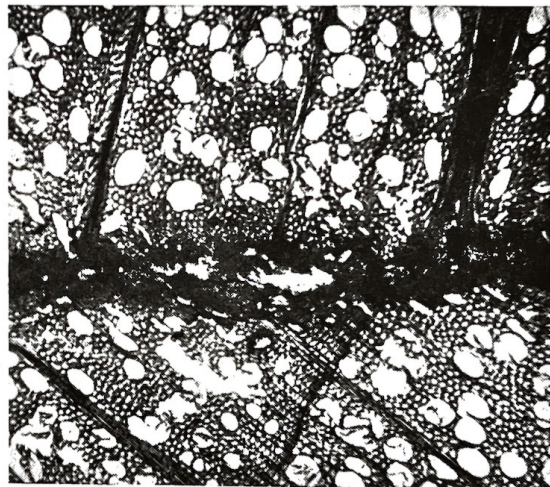
Na slici 3 prikazan je slučaj slabog lijepljenja kao posljedica slabog kvašenja slijepog furnira. Ova pojava može biti posljedica izvjesne hidrofobnosti površine furnira uslijed preniske vlage, efekta »case hardening« ili predugog otvorenog vremena čekanja.

Kao što je u točki 2.1. navedeno, za dobivanje uvida u stvarnu dubinu penetracije ljepila u ovisnosti od sadržaja vlage, izvršena su anatomska ispitivanja. Dobiveni rezultati vidljivi su na slikama mikrotomskih rezova kroz lijepljeni spoj.

Na slici 4 prikazan je lijepljeni spoj dvije bukove pločice, vlažnosti 7,8%. Iz slike je evidentno da se nanešeno ljepilo uglavnom grupira u spoju (fugi) ili u graničnim zonama neposredno uz fugu. Zahvaljujući minimalnoj penetraciji ljepila, dobivena je zadovoljavajuća čvrstoća spoja.



Slika 4. Poprečni presjek lijepljenog spoja, pozitiv, vlaga 7,8%, povećanje 40 x, (ploča broj 1.).



Slika 5. — Poprečni presjek lijepljenog spoja, pozitiv, vlaga 4,0%, povećanje 40 x, (ploča broj 2.).

Na slici 5 prikazan je lijepljeni spoj kod sadržaja vlage bukova pločica od 4%. I ovdje je vidljivo da se ljepilo grupiralo uglavnom u spoju ili u uskim graničnim zonama spoja, odnosno penetracija ljepila u otvorene pore drva je minimalna.

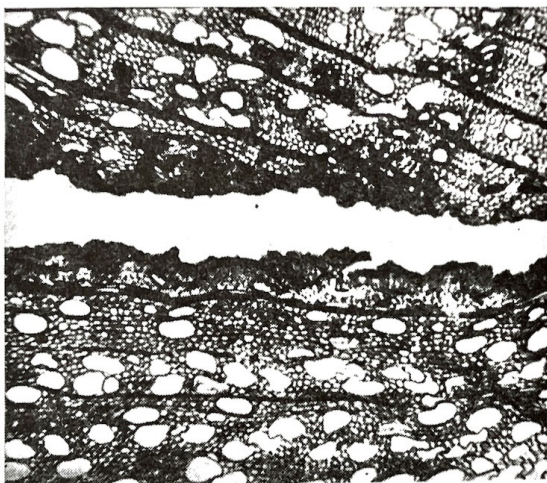
Zahvaljujući tome, dobivena su zadovoljavajuća mehanička svojstva ove ploče (tabela 2).

Na slici 6 prikazan je mikrotomski presjek lijepljenog spoja pri sadržaju vlage bukova pločica od 11,9% prije nanosa ljepila. Penetracija ljepila u strukturu drva je nešto dublja nego na slikama 4 i 5. S tim u vezi i čvrstoća na smicanje (tabela 2) je umanjena u odnosu na ploče 1 i 2, ali se još uvijek nalazi u dozvoljenim granicama





Slika 6. — Poprečni presjek lijepljenog spoja, pozitiv, vlaga 11,9%, povećanje 40 x (ploča broj 3.).



Slika 7. — Poprečni presjek lijepljenog spoja, pozitiv, vlaga 20,1%, povećanje 40 x (ploča 4.).

Na slici 7 prikazan je poprečni mikrotomski presjek lijepljenog spoja uz upotrebu bukavih ploča vlažnosti 20,1%. Sasvim jasno je uočljiva predeboka penetracija ljepila, tako da ga u spoju i u graničnim zonama oko spoja ostaje vrlo malo. Posljedica toga je slaba čvrstoća, koja je evidentna iz tabele 2 i dijagrama 1. Čvrstoća je bila slaba u tolikoj mjeri da je u fazi izrade mikrotomskih rezova dolazilo do pucaanja preparata po sloju ljepila.

Zbog toga su na slici 7 prikazane dvije polovine istog spoja. Dobiveni rezultati anatomskih ispitivanja potvrđuju samo ranije pretpostavke o korelacionoj vezi između vlažnosti drva (furnira) i stupnja penetracije ljepila u strukturu drva, a time i čvrstoće lijepljenog spoja.

Iz svega do sada iznesenog u točki 3.1., uočljivo je veliko značenje sadržaja vlage u drvu na kvalitet lijepljenja fenolnim ljepilom.

### 3.2. Utjecaj specifičnog nanosa na kvalitet lijepljenja

Dobiveni rezultati ispitivanja čvrstoće na smicanje proizvedenih laboratorijskih šperploča prikazani su komparativno u tabeli 3 i dijagramu 2.

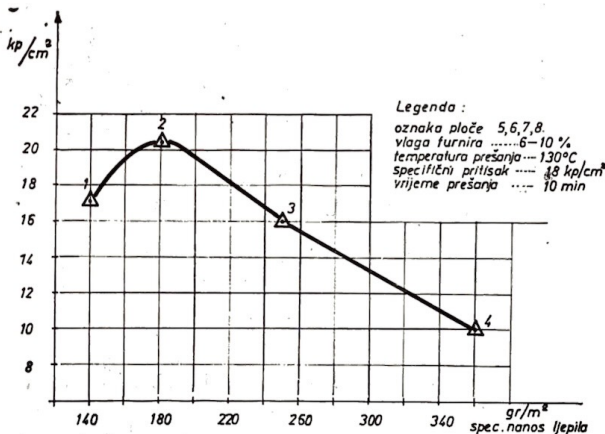
Tabela 3.

Oznaka ploče	Specifični nanos gr/m <sup>2</sup>	Čvrstoća na smicanje kp/cm <sup>2</sup>			Mjesto smicanja po drvu % ljep %	
		min	x	max		
5	140	15,0	17,1	18,3	60	40
6	180	17,2	20,5	27,6	70	30
7	250	11,8	16,1	20,3	20	80
8	360	9,2	10,9	14,6	—	100

Na osnovu prikazanih rezultata u tabeli 3 i dijagramu 2, vidljivo je da najpovoljniju čvrstoću na smicanje pokazuju ploče 6 i 5, proizvedene s nanosom ljepila od 180 gr/m<sup>2</sup> odnosno 140 gr/m<sup>2</sup>.

Ploča 7, a pogotovo ploča br. 8, pokazale su znatno slabiju čvrstoću. Prema tome, ako se kompariraju apsolutne čvrstoće na smicanje ploča s povišenom vlagom drva (točka 3.1.) i ploča s povećanim specifičnim nanosom, može se konstatirati da se u pravilu dobiju vrlo slabe ili nikakove čvrstoće lijepljenog spoja. S većom količinom nanešenog ljepila unosi se i veća količina vlage, što s već prisutnom vlagom u furnirima može uzrokovati raslojavanja ili pak eksplozije i stvaranje mjehura odmah iza prešanja na već gotovim pločama.

Osim toga, prisutan je također jedan drugi vid djelovanja ove vlage (prisutna vlaga u furnirima + vlaga unesena s ljepilom).



Dijagram 2. — Čvrstoća na smicanje u ovisnosti od specifičnog nanosa ljepila.

U fazi prešanja pod utjecajem topline dolazi do smanjenja viskoziteta nanešenog ljepila, tako da ljepilo suviše duboko penetrira prije nastupanja punog pritiska. Prisutni suvišak vlage samo ubrzava penetraciju već ionako razređenog ljepila.

Da bi se u proizvodnji eliminirali ovi štetni utjecaji previsoke vlage furnira i prevelikog nanosa, neophodno je ova dva tehnološka parametra držati u slijedećim granicama.

- vlaga 4—8%
- specifični nanos 160—220 gr/m<sup>2</sup>.



Na veličinu specifičnog nanosa, u slučaju mehaničkog nanošenja ljepila valjcima posredno, utiče i kvalitet ljuštenog furnira (7), tj. veličina i dubina pukotina i brazdica. Kvalitet ljuštenog furnira, odnosno stanje njegove površine, ovisno je o tretiranju trupaca prije ljuštenja, a također i o samom ljuštenju. Premda se ovi faktori ne pojavljuju s jednakom učestalošću u proizvodnji, kao na primjer vlaga i nanos, ipak i njima treba posvetiti znatnu pažnju, jer nije rijedak slučaj da je slabo lijepljenje posljedica kombiniranog utjecaja nekoliko tehnoloških parametara.

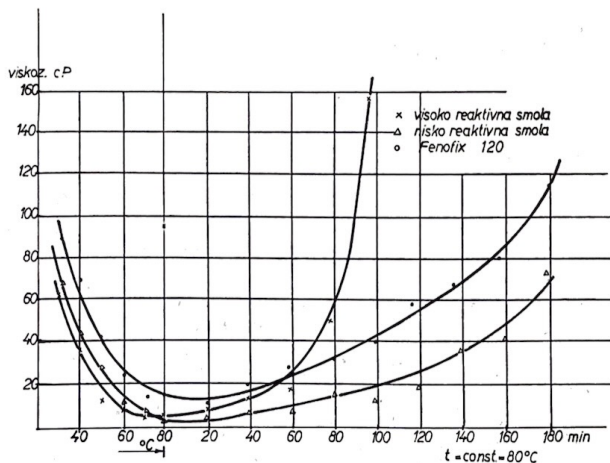
### 3.3. Utjecaj stupnja kondenzacije smole na kvalitet lijepljenja

Dvije osnovne veličine koje određuju kvalitetu smole su njena reaktivnost i viskozitet pod temperaturnim režimom koji vlada u preši.

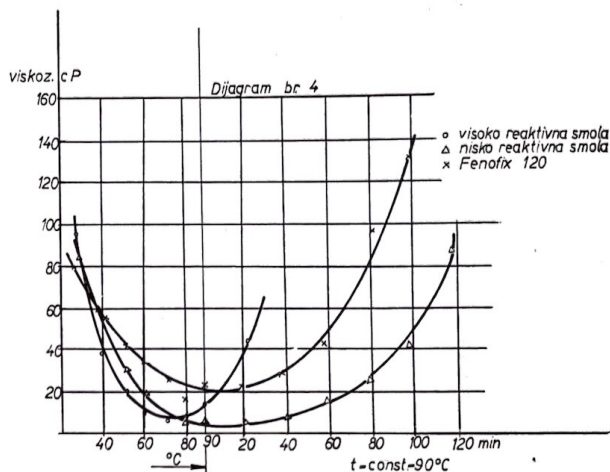
Za vrijeme grijanja nanosenog ljepila, njegov viskozitet najprije opada. Iznos tog pada viskoziteta varira u ovisnosti od kvaliteta smole i brzine zagrijavanja. U tom početnom periodu prešanja šperploča, ljepilo penetrira u drvo, te je važno da njegov viskozitet bude takav da penetracija u drvo ne bude ni preslaba ni prejaka, kako bi čvrstoća spoja bila optimalna.

Da bi se dobio uvid u promjene viskoziteta kod smola različitih stupnjeva reaktivnosti, vršena su mjerenja viskoziteta kod 80°C i 90°C standardnog ljepila (Fenofix — 120«) te visoko i nisko reaktivnih ljepila. Mjerenja su vršena viskozimetrom po Brookfieldu. U toku grijanja od 30°C—80°C (90°C) mjereno je pad viskoziteta (lijevi kraj krivulja). Zatim su smole držane kod konstantnih temperatura od 80°C odnosno 90°C, uz registriranje promjena viskoziteta svakih 20 min (desni kraj krivulje).

Iste pojave se u procesu prešanja ploča zbivaju znatno brže, jer se radi kod osjetno viših temperatura i uz prisutnost drva i punila, što donekle mijenja iznos promjena u viskozitetu.



Dijagram 3. — Promjene viskoziteta u cP ljepila »Fenofix-120« te nisko i visoko reaktivnih ljepila kod 80°C.



Dijagram 4. — Promjene viskoziteta u cP ljepila »Fenofix-120« te nisko i visoko reaktivnih ljepila kod 90°C.

S povišenjem temperature u sloju ljepila, počinje i reakcija omrežavanja. Ta reakcija izaziva porast viskoziteta, dok na kraju ljepilo potpuno ne otvrdne, dajući ploči čvrstoću i vodootpornost.

Kad se radi s vrlo reaktivnim smolama, omrežavanje molekula smole je vrlo brzo, dok kod manje reaktivnih smola proces teče znatno sporije.

Kod ekstremno visoko reaktivnog ljepila, može doći do njegovog otvrdnjavanja i prije nego ono dovoljno duboko prodre u strukturu drva, tako da uglavnom ostane na površini furnira. Budući da je koheziona čvrstoća fenolformaldehidnog ljepila relativno niska, može se pojaviti raslojavanje šperploča.

Nasuprot tome, slabo reaktivna smola imat će predug period visokog viskoziteta, te će ju drvo u toj fazi praktički potpuno apsorbirati. Ova pojava izaziva isti konačan efekat kao i u slučaju prevelike vlažnosti furnira, tj. slabu čvrstoću lijepljenog spoja zbog preduboke penetracije ljepila.

Izvršena mehanička i anatomska ispitivanja proizvedenih laboratorijskih ploča prema uvjetima navedenih u točki 2.3. potvrdila su napred iznesene postavke.

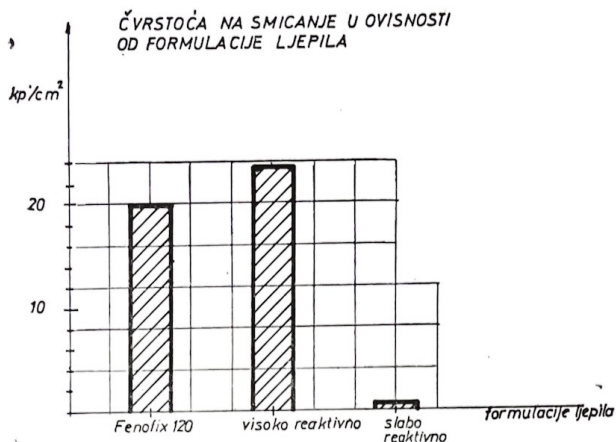
Na dijagramu 5 prikazana je čvrstoća lijepljenog spoja u ovisnosti od formulacije (stupnja kondenzacije) ljepila.

Iz njega je uočljivo da standardno ljepilo »Fenofix-120« i visoko reaktivno, uz primijenjene tehnološke parametre, pokazuju znatno bolju čvrstoću nego slabo reaktivno ljepilo.

Ako se kompariraju rezultati izvršenih mehaničkih i anatomskih ispitivanja, onda je lako uočljiva korelacija između stupnja kondenzacije (a time i dubine penetracije) ljepila i čvrstoće proizvedenih šperploča.

Na slici 8 prikazan je presjek lijepljenog spoja troslojne šperploče proizvedene sa slabo reaktivnim ljepilom. Iz njega se može jasno uočiti preduboka penetracija ljepila, koja je imala za posljedicu vrlo slabu čvrstoću spoja (dijagram 5). Čvrstoća spoja





Dijagram 5.

je bila gotovo neznatna, tako da je u toku izrađe mikrotomskih rezova dolazilo do pucanja po lijepljenom spoju.



Slika 8. — Poprečni presjek lijepljenog spoja tro-slojne šperploče, slabo reaktivno ljepilo, vlaga furnira 6—8%, povećanje 40 x.

Dubina penetracije u slučaju upotrebe visoko reaktivnog ljepila vildjiva je na slici 9.

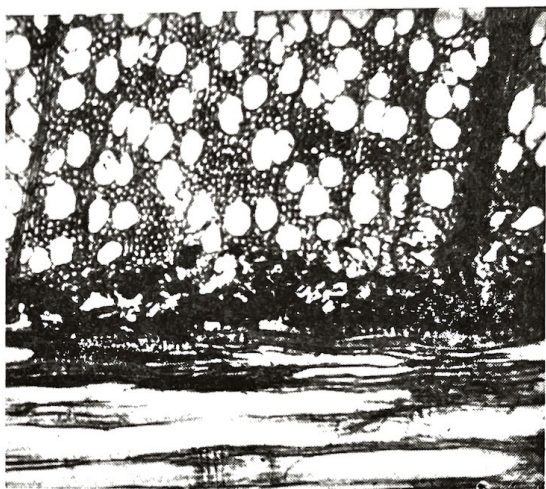
Zahvaljujući minimalnoj penetraciji ljepila u pore drva, tj. njegovom grupiranju u spoju ili u graničnim zonama spoja, postignuta je vrlo dobra čvrstoća lijepljenog spoja.

Na slici 10 prikazana je dubina penetracije upotrebljenog standardnog tipa ljepila »Fenofix-120«. Penetracija je ograničena na relativno usku zonu oko spoja, što je također imalo za posljednicu postizanje dobre čvrstoće lijepljenja.

Ovo ukazuje da je kod ovog tipa ljepila postignuta dovoljna reaktivnost smole, za uvjete normalne vlažnosti.



Slika 9. — Poprečni presjek lijepljenog spoja šperploče proizvedene sa visoko reaktivnim ljepilom, vlaga furnira 6—8%, povećanje 40 x.



Slika 10. — Poprečni presjek lijepljenog spoja tro-slojne šperploče proizvedene standardnim tipom ljepila »Fenofix-120«, vlaga furnira 6—8%, povećanje 40 x.

#### 4.0 ZAKLJUČAK

Na osnovu zapažanja i dobivenih rezultata pri radu s fenolnim ljepilom u proizvodnji vodootpornih šperploča, mogu se izvući slijedeći zaključci.

1. Fenolno ljepilo, u odnosu na ostala ljepila u primjeni, zahtijeva znatno uže tolerancije u varijacijama osnovnih tehnoloških parametara.

2. Vlaga furnira (drva) ima bitan utjecaj na kvalitetet lijepljenog spoja, iz razloga što prekomjerni sadržaj vlage uzrokuje smanjenje viskoziteta nanešenog ljepila i time ubrzava penetraciju u drvo. Pre-duboka penetracija u pravilu uzrokuje slabu čvrstoću lijepljenog spoja i smanjenje ili potpuno odsustvo vodootpornosti.



Nepovoljni utjecaj vlage furnira na kvalitet lijep-  
ljenog spoja može biti potenciran upotrebom toplih  
furnira i prevelikog nanosa.

3. Specifični nanos ljepila također ima znatan  
utjecaj na kvalitet lijepjenja. Uz pretpostavku nor-  
malne vlažnosti furnira, preveliki nanos ljepila mo-  
že u konačnici izazvati sličan efekat kao i prekomjer-  
na vlaga furnira. Naime, vlaga unesena s prekomjer-  
nom količinom ljepila jednako nepovoljno utiče kao  
i prevelika vlažnost furnira. Ovo naročito dolazi do  
izražaja u fazi zagrijavanja paketa u preši, a prije  
početka djelovanja maksimalnog pritiska. Pod utje-  
cajem topline i vlage u ljepilo, ono također suviše  
duboko penetrira u strukturu drva.

Rezultat je slaba čvrstoća i minimalna ili nikakva  
vodootpornost. Zbog toga fazi nanošenja ljepila u  
proizvodnji šperploča treba posvetiti znatnu pažnju.

4. Stupanj kondenzacije smole, odnosno njena  
reaktivnost, imaju također bitan utjecaj na brzinu  
(dubinu) penetracije u drvo. Slabo reaktivno ljepilo  
daje spoju u pogledu čvrstoće slične nedostake kao i  
prevelika vlažnost furnira (drva), dok vrlo reaktiv-  
na smola može djelomično kompenzirati eventualnu  
preveliku količinu vlage u furniru (drvu). Ako se  
vlaga kreće u optimalnim granicama, ljepilo »Feno-  
fix-120« ina dovoljno veliku reaktivnost za postizanje  
optimalne čvrstoće i vodootpornosti spoja.

5. Na osnovu zapažanja i provedenog ispitivanja,  
može se preporučiti pridržavanje slijedećih tehnolo-  
ških parametara pri radu s fenolnim ljepilom »Feno-  
fix-120«.

- vlaga furnira 4—8%
- specifični nanos ljepila 160—220 gr/m<sup>2</sup>
- temperatura prešanja 130—140°C
- specifični pritisak prešanja — za bukvu 18—20  
kg/cm<sup>2</sup> — za meke vrste drva 8—12 kp/cm<sup>2</sup>
- temperatura limova max 40°C
- vrijeme prešanja 5 min temeljno, + 1 min/1 mm  
do srednjeg sloja ljepila

## BIBLIOGRAFIJA

1. N. A. De Bruyne, R. Houwink: Klebtechnik -- Die  
Adhesion in Theorie und Praxis, Berliner union  
Stuttgart, 1957.
2. H. A. Freeman: Forest Prod. Journal, 12. 451 (1959)
3. R. Houwink, G. Salomon: Adhesives and Adhesion  
Elsevier, New York, 1967.
4. V. M. Hrulev: Sintetičeskie klei, Izdateljstvo »Hi-  
mia«, Moskva 1968.
6. P. L. Northcott, A. G. M. Colbeck, W. V. Hancock,  
K. S. Shen: Forest Prod. Journal 12, 442 (1959);
7. L. Plath: Adhesion, 9, 318 (1970.)
8. L. Vorreiter: Holztechnologisches Handbuch; Band  
III, Verlag Georg Fromme & Co, Wien und Mün-  
chen 1963.
9. Centralniji naučno — issledovateljski Institut fa-  
nernj: Spravočnik fenerička, Izdateljstvo »Lesnaja  
promišlennost«, Moskva 1967.

\* Ovom prilikom zahvaljujemo stručnjacima tvr-  
nice drvnih ploča »Bosanka« — Blažuj na pomoći  
kod izvođenja pogonskih pokusa.

— Zahvaljujemo također Zavodu za anatomiju  
drva Šumarskog fakulteta u Zagrebu, na pomoći oko  
izrade i snimanja mikrotomskih presjeka lijepljenih  
spojeva.

## ETLICHE BETRACHTUNGEN ÜBER DIE SYNTHETISCHE LEIME AN DER PHENOLHARZBASIS BEI DER HERSTELLUNG WASSERBESTÄNDIGER FURNIERPLATTEN

### ZUSAMMENFASSUNG

Aus den umfangreichen Forschungen, welche die Autoren im Laufe des 1970. Jahres durch-  
geführt hatten, über den Einfluss der technologischen Faktoren auf die Qualität der Beleimung  
mit Phenol-Formaldehyd Leimen bei der Herstellung von wasserbeständigen Furnierplatten, wur-  
den nur etliche Mitteilungen für diesen Artikel erlesen. Diese erfassen in erster Linie gewisse  
technologische Parametern, die sich bei der Herstellung als wesentlich erwiesen hatten (die Feuch-  
tigkeit des Furniers, der spezifische Leimauftrag, der Kondensationsgrad des Harzes).

Der Einfluss anderer technologischen Parametern (die Presstemperatur, der spezifische  
Pressdruck die Qualität und die Oberflächenaussicht des Furniers, die Temperatur des Furniers in  
der Phase der Trocknung, die Leimauftragung, die Pressungsdauer, die Abbindezeit) die eben-  
so in den Forschungen erfasst waren, wird nur insofern erklärt wieviel es in der Kombination vor-  
kommt mit einigen wesentlichen Faktoren.

Der Einfluss der Feuchtigkeit auf die Qualität des Leimens beim Furnieren wurde an  
Buchentäfelchen erforscht, dessen Masse 450 × 150 × 50 mm ertrugen, die vorläufig im Klima-  
schrank »Köttermann« konditioniert wurden. Die Feuchtigkeit wurde mit gravimetrischer Methode  
festgestellt (Tab. 1.). Die Leimung erfolgte bei folgenden technologischen Parametern:

— spezifischer Leimauftrag . . . . .	180 gr/m <sup>2</sup>
— spezifischer Pressdruck . . . . .	18 kg/cm <sup>2</sup>
— Temperatur der Presseetagen . . . . .	130° C
— Abbindezeit . . . . .	20 min.
— Presszeit . . . . .	5 min. Grundzeit + 1 min/mm bis zur Mittellage
— Rezeptur: Fenofix-Leim 120 . . . . .	100 GT
— Kontakt B . . . . .	30 GT



Die Ergebnisse der Schubfestigkeiten mit Komparatoren gemessen, sind in der Tabelle 2 und in dem Diagramm 1 dargestellt. Im Zusammenhang mit der Furnierfeuchte wurden Proben durchgeführt, und gewisse Beinerkungen über den Stand der Furnieroberfläche — der Effekt »casehardening« — in der Abhängigkeit mit dem Trocknungsregime (Temperaturen) angeführt (Bild 1.). Der reale Feuchtigkeitseinfluss ist auf den Bildern der Mikrotomquerschnitte der beleimten Fugen ersichtlich (Bild 2—7), wo ganz klar die Eindringtiefe des Leimes in die Holzstruktur zum Vorschein kommt. Von der Eindringtiefe im grossen Masse hängt die Bindungsfestigkeit ab.

Der Einfluss des spezifischen Leimauftrages auf die Beleimungsqualität ist aus dem Diagramm 2 und der Tabelle 3 ersichtlich. Es wurden dreischichtige Buchenfurnierplatten im Format 400 × 400 mm, hergestellt mit einem spezifischen Leimauftrag von 140, 180, 250 und 300 gr/m<sup>2</sup>. Die Feuchtigkeit der Furniere betrug 1—10%. Die anderen technologischen Parametern waren gleich wie früher erwähnt.

Für die Forschung des Einflusses des Kondensationsgrades des Phenolharzleimes wurden drei Formulationen angewendet:

- »Fenofix« — 120 als Standartleim
- hoch reaktiver Leim
- niedrig reaktiver Leim.

Die technologische Parametern bei der Herstellung der dreischichtigen Buchenfurnierplatten betragen:

- Furnierdicke . . . . . 1,2 und 2,4 mm
- Plattenformat . . . . . 350 × 350 mm
- Furnierfeuchte . . . . . 6—8%

Die Rezeptur für die Leimaufbereitung wie auch die anderem technologischem Parametern blieben wie früher angeführt. Der Einfluss des Kondensationsgrades des Leimes auf die Penetrations-tiefe, und mit dem auch auf die Fugenfestigkeit, ist aus den Diagrammen 3,4 und 5, wieauch aus den mikrotomischen Querschnitten (Bild 8, 9 u. 10) ersichtlich.

**PROIZVODIMO:**

GATER PILE  
dvostruko ozubljene  
obične  
okovane

KRUŽNE PILE  
razne

KRUŽNE  
pile sa tvrdim  
metalom

PRIBOR  
napinjače, i sl.

RUČNE PILE  
razne

ALATE  
svih vrsta  
za obradu drva  
iz TN HSS  
materijala

Telefon: 3506  
Telex: 026-27  
Telegram: »Kordun«

## Racionalizacija manipulacije na skladištima prostornog drva

Cijena sirovine kod industrijsko kemijske i mehaničke prerade drva predstavlja danas najznačajniju stavku u cijeni finalnih proizvoda. Provedena istraživanja pokazuju da ova cijena nije u suštini ništa drugo do zbir troškova brojnih pretovarno-transportnih procesa, u kojima ljudski rad još uvijek zauzima najznačajnije mjesto. Autori stoga predlažu niz mogućnosti racionalne, mehanizirane manipulacije na ovom području, što bi donijelo znatne uštede kroz sniženje cijene i poboljšanje kvaliteta.

### 1. UVOD

Unutrašnji transport i skladištenje drva u našim tvornicama predstavlja slabo ili nikako riješen problem, koji se reflektira poteškoćama u kvaliteti i ekonomičnosti čitave proizvodnje. Određena zaoptimalnost u kojoj se našla drvna industrija SFRJ u rješavanju tih pitanja djelomično je i razumljiva, jer su se raspoloživa sredstva uglavnom koncentrirala u finalizaciju proizvoda. Studijom problema racionalizacije unutrašnjeg transporta, uglavnom celuloznih sirovina i sirovina za ploče i iverice i vlaknate, kao i načina skladištenja, dolazimo do zaključaka da u suvremenom rješenju tih problema leže velike unutrašnje rezerve. Naime, udio transportno-manipulativnih troškova u cijeni produkta je izuzetno visok.

U rješavanju problematike manipulacije drvom postoje u suštini dva moguća rješenja: **direktna prerada i skladištenje**.

1.1. **Direktna prerada** može biti neposredna i posredna. Kod **neposredne direktne prerade** drvo se s transportnog sredstva kojim je došlo u pogon direktno pretovara u uređaj za doziranje stroja za usitnjavanje ili na transporter. U ovom slučaju nužan je samo jedan pretovar.

**Posredna direktna prerada** podrazumijeva dopremu do unutarnjeg transportnog sredstva, koje zatim vrši dopremu do stroja za usitnjavanje ili se drvo doprema direktno do stroja, ali na kratkotrajno među-skladištenje. Ovim načinom potrebna su, dakle, dva pretovara.

1.2. **Skladištenje** se koristi u slučaju nemogućnosti sinhronizacije dobave i prerade drva, što je vrlo čest slučaj. Kod ovog načina manipulacije postoje opet dvije varijante: neposredno i posredno skladištenje.

**Neposredno skladištenje** obuhvaća neposredan istovar drva s dovoznog sredstva na skladište, dakle uz jedan pretovar.

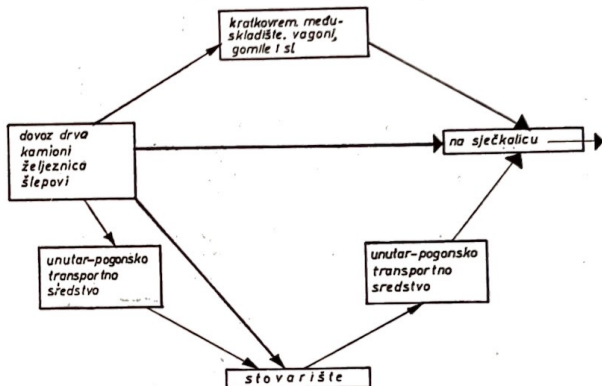
**Posredno skladište** sadrži pretovar na unutarnje transportno sredstvo i još jedan pretovar s tog sredstva na skladište.

Shematski prikaz manipulacije drvom do ulaska u pogon do prerade, prikazan je na slici 1.

Pretovar sa skladišta na transporter stroja za usitnjavanje vrši se, u pravilu, kada ne pristije

vrsta drva koja se trenutno prerađuje, ili pri nedovoljnoj dopremi drva u odnosu na kapacitet prerade.

Iz ovog kratkog pregleda vidi se da broj pretovara, ovisno o vrsti manipulacije, može biti 1—4 (tabela 1 i sl. 1).



Sl. 1 Shema manipulacije drvom u celulozno papirnoj industriji i industriji ploča

Tabela 1. Učestalost pretovara u ovisnosti a načinu manipulacije

Način prerade	Pretovar na unutarnje transportno sredstvo	Istovar na skladištu	Utovar na skladištu	Istovar na transporter stroja za usitnjavanje	Ukupan broj pretovara
Neposredna direktna prerada				x	1
Posredna direktna prerada	x			x	2
Neposredno skladištenje		x	x	x	3
Posredno skladištenje	x	x	x	x	4

### 1.3. Neki pokazatelji u transportu i manipulaciji

Da bismo lakše pratili manipulativno-transportne procese, služili smo se pokazateljima, kao što su pretovarni faktor i transportni faktor.



**Pretovarni faktor** se definira kao kvocijent ukupno pretovarene količine i potrošnje drva, odnosno pretovarnog volumena i potrošnje. **Pretovarni volumen** predstavlja sumu svih istovarno-utovarno-pretovarnih količina.

$$\text{Pretovarni faktor} = \frac{\text{Pretovarni volumen (prm)}}{\text{Potrošnja drva (prm)}}$$

On je mjerilo za obim unutar-pogonskih pretovara u promatranom vremenskom periodu.

**Transportni faktor** ukazuje na obim pogonskog transporta, a predstavlja kvocijent ukupno transportirane količine i potrošnje u istom vremenskom periodu.

$$\text{Transportni faktor} = \frac{\text{Transport. količina (prm)}}{\text{Potrošnja drva (prm)}}$$

### 1.3.1. Pretovarni faktor

Danas se u svijetu najveća količina drva prerađuje neposrednom direktnom preradom, što je optimalno obzirom na troškove, a pretovarni faktor jednak je jedinici. Jedno ispitivanje provedeno u SR Njemačkoj 1964. godine pokazalo je da pretovarni faktor u celuloznim i ostalim tvornicama iznosi prosječno 2,19, pri čemu ni u jednoj anketiranoj tvornici nije korišteno posredno skladištenje (tj. ukupno 4 pretovara).

Ispitivanje koje smo proveli pokazalo je da je situacija kod nas više nego kritična. U proučavanju smo anketirali tri jugoslavenske tvornice celuloze, s godišnjim kapacitetom prerade od 50—500 000 prm. Rezultati se odnose na 1967. godinu i prikazani su u tabeli 2.

**Tabela 2. Pretovarni faktor i stanje u manipulaciji u anketiranim jugoslavenskim tvornicama (1967)**

Način prerade	Broj pretovara	Prerađena Pretovarena	
		količina prm	količina prm
Neposredna direktna prerada	1	56 761	56 761
Posredna direktna prerada	2	72 682	145 364
Neposredno skladištenje	3	18 120	54 360
Posredno skladištenje	4	397 593	1 591 372
Dvostruko posredno skladištenje	5	12 872	64 360
<b>Ukupno</b>		<b>558 028</b>	<b>1 912 217</b>

$$\text{Pretovarni faktor} = \frac{1\ 912\ 217\ \text{prm}}{558\ 028\ \text{prm}} = 3,43$$

Prosječni pretovarni faktor iznosi čak 3,43, a iz tabele je vidljivo da se najveća količina drva prerađuje posrednim skladištenjem (preko 70%), što je najnepovoljniji slučaj.

U jednoj od anketiranih tvornica izvjesna količina drva se prerađuje posrednim skladištenjem, uz dvostruki pretovar na unutar-pogonsko transportno sredstvo (šlep-dizalica-vagoni za unutrašnji transport), tako da se ukupno vrši čak 5 pretovara, dakle više od najnepovoljnijeg slučaja koji smo pretpostavili u tabeli 1.

### 1.3.2. Transportni faktor

U anketiranim tvornicama ukupno transportirana količina sredstvima unutar pogonskog transporta u

1967. godini iznosila je 1 138 741 prm. Kako je ukupna potrošnja bila 558 028 prm (vidi tabela 2.), transportni faktor iznosi:

$$\text{Transportni faktor} = \frac{1\ 138\ 741\ \text{prm}}{558\ 028\ \text{prm}} = 2,04$$

U prosjeku je, dakle, prerađeno drvo transportirano unutar pogona preko dva puta, što je veoma nepogodan pokazatelj. Slično ispitivanje u SR Njemačkoj pokazalo je u anketiranim tvornicama 1964. godine iznosio prosječno 1,43.

## 2. Mogućnosti racionalne, mehanizirane manipulacije i skladištenja

U okviru racionalnog rješavanja problema manipulacije i skladištenja drva, postoje dvije mogućnosti: manipulacija u obliku oblica i u obliku sječke (iverja), koja je ograničena na celuloznu industriju.

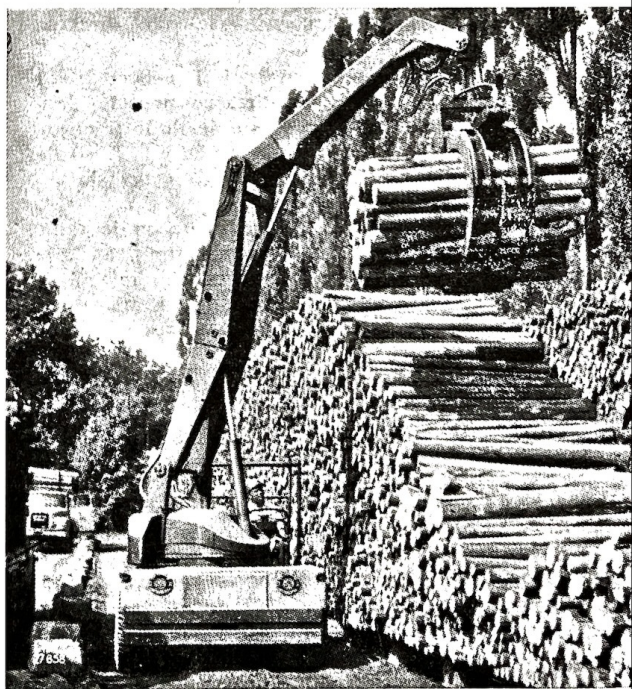
Relativne prednosti jednog ili drugog načina privlačile su znatnu pažnju i često su obrađivane u tehničkoj literaturi. Mi ne namjeravamo vršiti ovu komparaciju, već samo dati usporedu oba načina.

### 2.1. Manipulacija i skladištenje drva u obliku oblica ili cjepanica

#### 2.1.1. Istovar

Istovar kao prva faza unutar pogonskog transporta može se mehanizirati na slijedeće načine: istovar pomoću grabilice (»grafjera«)

- „ sajlje (užeta)
- „ željeznih okvira
- „ kipanjem željezničkih vagona
- „ pomoću planirne ploče vezane na hidraulički potiskivač (istovar otvorenih vagona i sl.)
- „ svežnjeva drva raznim mehaničkim uređajima.



Slika 1. — Pokretni kranski transporter-dizalica



**Istovar pokretnim kranom gusjeničarom** povoljan je kod skladišta sa čvrstom podlogom, a može se koristiti u kombinaciji s ostalim transportnim sredstvima (tada je kapacitet i 100%veći), ili kao jedini uređaj za istovar, transport i skladištenje. Istovarni kapacitet mu iznosi oko 145 prm/h sa 2 radnika.

**Istovar šinskom dizalicom** ograničen je zbog relativno malog manevarskog prostora i zahtijeva dva kolesjeka (za kran i za vagone). Kapacitet istovara iznosi oko 105 prm/h sa 2 radnika.

Istovar pomoću **okretnih portalnih dizalica** ekonomičniji je od prethodnog i koristi se često za kompletan proces manipulacije. Istovarni kapacitet je prosječno 115 prm/h s 3 radnika.

**Stacionarni kran**, kapaciteta oko 100 prm/h s 2 radnika, uglavnom se koristi kod direktne prerade, tj. ako prispjelo drvo ide direktno na okoravanje ili stroj za usitnjavanje.

**Mobilni pretovarači** («Holzstapler») koriste se sve više u novije vrijeme. Postoje različite izvedbe ovih uređaja s grabilicom za drvo koja može biti i dodatni dio koji se montira na auto-kran ili veće tipove viljuškara. Sve su to potpuno hidraulički uređaji, bilo da se radi o specijalnim izvedbama za manipulaciju ili bagerskim uređajima prilagođenim za tu svrhu. Ovi posljednji su i do 40% jeftiniji. Kod istovarnih procesa kapacitet im je oko 110 prm/h, a kod istovara uz transport na putu do 80 m, kapacitet im pada na 70 prm/h s 2 radnika.

**Kabelni kranovi** upotrebljavaju se bez obzira na veličinu i formu skladišta. Raspon im može biti i do 1000 m. Moguće su varijante s paralelno ili radialno pokretnim kranom. Proizvodni kapacitet ovog uređaja kreće se od 100–150 prm/h s 2 radnika.

**Pretovarni most** uzima drvo pomoću rešetkastog nosača umjesto nosivim kabelom. Zahtijeva jaču i masivniju konstrukciju. Kapacitet mu je 90–120 prm/h s 1 radnikom. Svojstva kabelnog kрана i pretovarnog mosta objedinjuje **mosni kabelni kran**. Prednost mu je što zahtijeva relativno mali prostor korištenja.

**Istovar vagonskim kiperom** ima prednosti u velikoj brzini istovara drva iz vagona (primjenjiv je samo za drvo do 1 m dužine) i zahtijeva minimum radne snage. Kapacitet iznosi oko 220 prm/h s 1 radnikom.

**2.1.2. Transport do skladišta** sastoji se od uzdužnog i poprečnog transporta.

**Uzdužni transport koristi** u primitivnijem vidu **vagone s ručnim utovarom** i prelaz na poprečni smjer preko okretno ploče.

Osim toga, koriste se **lančani transporteri**, i to uglavnom kod skladišta bez slaganja.

**Kružni transporter** ima beskrajni lanac ili užu i najčešće se postavlja na sredinu skladišta. Gdje prilike dozvoljavaju, koriste se **plovni kanal** za transport drva u betonskim kanalima s prinudnom cirkulacijom vode.

**Poprečni transport** podrazumijeva prenos drva do uzdužne saobraćajnice. Ovaj tip transporta koristi skoro sva ranije pomenuta istovarna sredstva kao: kabelni kran, mosni kabelni kran, gusjeničarski, šinski i portalni kran, mobilne, pretovarače, pokretne vagone i sl.

Ako se utovar vrši nepokretnim uređajima, onda se za poprečni transport koriste jednostavni ili dvostruki **lančani transporteri** odgovarajućeg kapaciteta.

### 2.1.3. Skladištenje

Skladištenje se može vršiti ručno ili mehanizirano, i to u hrpama bez slaganja ili u složajevima. Mehanizirano skladištenje u hrpama vrši se skoro istim sredstvima kao i ono u složajevima, tj. koriste se najčešće: portalni i kabelni kran, te pretovarni most uz neznatne konstrukcione izmjene. Uređaj za skladištenje može biti stacionaran i pokretan. Stacionarne izvedbe koriste se najčešće za prijem drva iz vodenog kanala, i to obično dvostruki lančani transporteri zbog svladavanja visinske razlike. Kod pokretne izvedbe transporter se nalazi na tračnicama.

### 2.1.4. Transport od skladišta do proizvodnje

U ovoj operaciji također se koriste slična ili ista sredstva mehanizacije kao i kod samog skladištenja. Drvo se sa hrpe zahvata pomoću tzv. polip-grabilice, a sa složajeva običnim grabilicama za prostorno drvo. Često se koriste mobilni auto-kranovi ili rjeđe gusjeničarski kran. Za drvo dužina većih od 2 m koriste se obično veći uređaji kao: kabelni kran, pretovarni most, portalni okretni kran ili mobilni kranovi veće nosivosti. Grabilica za drvo kod svih ovih uređaja mora imati zahvat oko 8 prm i minimalnu nosivost 7,5 tona.

## 2.2. Manipulacija i skladištenje u obliku sječke (chip storage)

U skladištenje sječke u hrpama na otvorenom prostoru počelo se primjenjivati prvo u Kaliforniji prije više od 20 godina. Od tog vremena proširilo se skoro po cijelom svijetu i danas se smatra uobičajenim načinom skladištenja u celuloznoj industriji.

Glavni razlog njegove primjene leži u želji za smanjenjem vrlo visokih troškova u manipulaciji, skladištenju i transportu drva u obliku oblica ili cjepanica.

Skladištenje sječke na otvorenom preporuča se danas u svakom slučaju gdje vremenski rok ne prelazi pola godine za lišćare, odnosno godinu dana za četinare. Jedan od preduvjeta ovog načina je predimenzionirani kapacitet stroja za usitnjavanje, koji treba da pretvori u sječku svu prispjelu količinu drva, bez obzira na intenzitet dopreme.

Daljnji transport sječke može se vršiti, u principu, na dva načina:

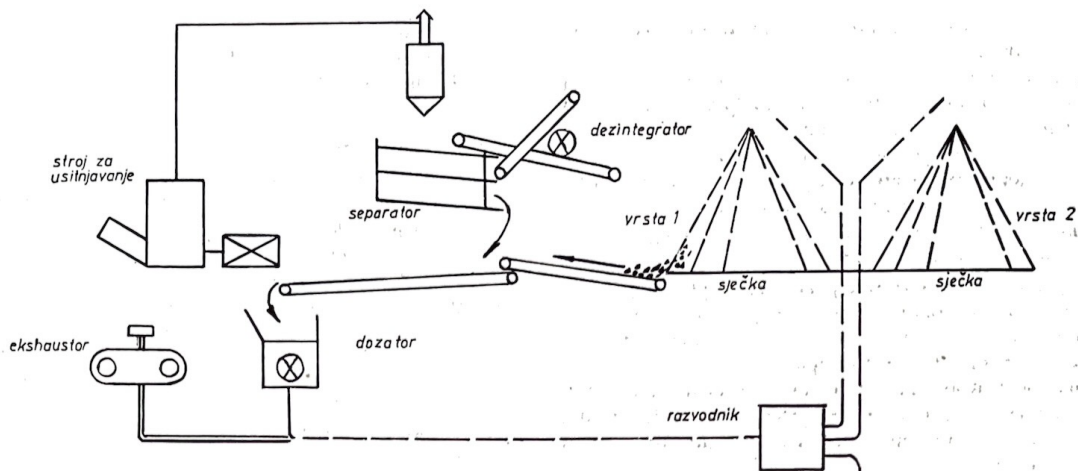
- mehanički transport trakom i elevatorom,
- pneumatski transport u cijevima

Obje varijante daju zadovoljavajuće rezultate, s tim što u konkretnom slučaju treba odabrati onu koja predstavlja optimalno ekonomsko rješenje.

Jedna od varijanti rješenja pneumatskog transporta prikazana je shematski na slici 3.

Sječka sa stroja za usitnjavanje preko ciklona se odvodi na separaciju. Na ovom mjestu može se u sistem ubacivati i sječka iz drugih izvora (npr. otpaci iz pilana i drugih tvornica mehaničke prerade), ako nije prethodno sortirana. Ako se sječka ne sortira, onda se to vrši neposredno na skladištu.





Sl. 3 Skladištenje sječke u hrpama na otvorenom, uz korištenje pneumatskog transporta

Iz uređaja za sortiranje sječka se transportira trakom do dozatora za pneumatski transport. Dalje se sječka transportira cijevima u struji zraka. Ako u proizvodnji nema neposredne potrebe za sječkom, ona se preko razdjelnika odvodi na hrpe za uskladištenje. Hrpe se obično formiraju u obliku krnjeg stošca, a broj hrpa ovisi o vrstama sječke. Istim sistemom pneumatskog transporta vrši se i direktno punjenje silosa kuhaone ili samih kuhača. Jednako se, u nedostatku direktne sječke, vrši transport sječke s hrpe. Hrpe se razgrađuju uređajima buldožerskog tipa.

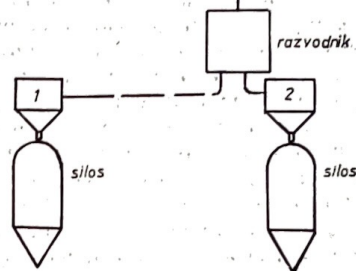
Uz prednosti skladištenja u obliku sječke, koje leže u uštedama na troškovima transporta i manipulacije i fleksibilnijem radu (jer proces manje ovisi o radu odjela za pripremu sječke), ovaj način ima i mana.

Nedostaci su, uglavnom, u propadanju drvene mase i slabljenju kvalitete. Sječka je na otvorenom izložena djelovanju mikroorganizama, posebno nekih vrsta gljiva. Uz gubitak drvene mase, to se reflektira i na gubitak bjeline, povećani potrošak kemikalija za kuhanje i biljeljenje, smanjenje mehaničkih osobina i porast sadržaja sitne frakcije. Kod sulfatnih tvornica, skladištenje sječke u hrpama na otvorenom pogodno je zbog činjenice da jako reducira sadržaj ekstraktivnih materija, dok se ista činjenica manifestira u sulfatnim tvornicama kao nedostatak zbog gubitaka na sporednim produktima tal-ulju i terpentinu.

Međutim, treba napomenuti da se, uporedo s ovim načinom skladištenja, razvila i tehnika zaštite bazirana uglavnom na kemikalijama fungicidnog djelovanja i smanjenju sadržaja sitne frakcije.

### 3. DISKUSIJA

Istraživanja na području transporta i manipulacije drva pokazala su da najveći dio cijene drva čini zbir troškova raznih transportno-manipulativnih operacija koje drvo prolazi do upotrebe. U nekim, ekstremnim slučajevima našli smo da se drvo do mjesta prerade 15–20 puta pretovara. Kako je mehanizacija ovih procesa još uvijek slabo ili nikako



provedena (drvo se najčešće pretovara ručno), situacija je još teža. Analiza je pokazala da je udio ljudskog rada u ovim troškovima čak 30–50%. Trend rasta cijene ljudskog rada u odnosu na porast cijena u području mehanizacije vidljiv je iz tabele 3 i govori u prilog mehanizacije.

Tabela 3. — Podaci o kretanjima nekih cijena i nominalnih primanja u periodu 1961. (index 100) — 1968. i procjena za 1975. godinu

Indeksi cijena*)	1961.	1968.	Procj. g. promjena 1961—1968.	Procjena za 1975.
Električna energija	100	172	+ 10,3	244
Proizvodnja i prerada nafte	100	91	— 1,3	82
Proizvodi metalne industrije	100	118	+ 2,6	136
Proizvodi elektro industrije	100	115	+ 2,1	130
Nominalna primanja	100	392	+ 41,7	684

\*) Podaci iz Statističkog godišnjaka SFRJ

Iz tabele 3 vidljiva je relativna stabilnost cijena proizvoda metalne i elektro industrije, kao i pogorske energije. U istom periodu nominalna primanja rasla su po stopi od 42% godišnje. Možemo očekivati da će cijene industrijskih proizvoda i pogonske energije i dalje rasti znatno sporije, pa se u procjeni za 1975. godinu može očekivati prosječan porast u odnosu na 1961. za oko 1,5 puta. Vidljivo je da će nominalna primanja istovremeno porasti za gotovo 7 puta.

Ove činjenice navode nas na zaključak da je neminovno ići na takva tehnološka rješenja gdje će ljudski rad biti što više zamijenjen strojevima, te mehaničkom i električnom energijom, što će bitno izmijeniti strukturu cijene ovih procesa.

Nameće se, dakle, nužnost povećanja stavki korištenja mehanizacije na račun smanjenja učešća ljudskog rada. Naime, sve dok ljudski rad zauzima najviše mjesto u strukturi cijene transportno-manipulativnih operacija, dolaziti će do eksplozivnog rasta ovih troškova, što se direktno reflektira na cijenu proizvodnje.

Prelaskom na racionalni način manipulacije, snižit će se u prvom redu trend godišnjeg povećanja troškova ovih operacija. Tako je npr., prelaskom anketiranih njemačkih tvornica celuloze na racionalni način manipulacije drvom, uz korištenje mehanizacije i skladištenja sječke, postignuto smanjenje indeksa godišnjeg povećanja troškova sa 7,5% na svega 4,2%.

#### 4. ZAKLJUČCI

U zaključcima ćemo se posebno osvrnuti na prednosti mehanizacije u sniženju troškova, prema ranijem redoslijedu operacije.

Analiza pogonskih troškova u mehaniziranoj manipulaciji drvom ukazuje na činjenicu da bilo koji vid mehanizacije donosi ogromne uštede u usporedbi s ručnom manipulacijom. Tako su npr. kod mehaniziranog istovara količina većih od 500 prn, troškovi 5—10 puta niži nego kod ručnog istovara.

Prema visini pogonskih troškova kod istovarnih količina od 500—2500 prn, mogu se sredstva mehanizacije svrstati u slijedećem poretku: tračni pokretni kran (diesel), kabelni kran, tračni kran (električni), portalni kran, pretovarni most, gusjeničarski kran, stacionarni okretni kran, mobilni auto-kran, vagonski kiper i planarni istovarivač. Analiza troškova **uzdužnog transporta** pokazuje da za kapacitete do 500 prn jednostruki lančani transporter ima niže pogonske troškove, dok se prednosti dvostrukog očituju tek iznad tog kapaciteta. Upotreba normalnog kolosijeka s pokretnim portalnim kranom, kabelnim kranom ili mostom, daje povoljne efekte također tek iznad 500 prn/dan, dok kod gusjeničarskog kрана i auto-kрана ova granica leži na 250 prn/dan.

Upotreba vodenih kanala za uzdužni transport ekonomična je kod svih pretovarnih količina, a i investicioni troškovi nisu veći. Transportni troškovi su niži od troškova ostalih transportnih sredstava.

Kod **poprečnog transporta** preporuča se upotreba prenosivih transporterа, iako, gledano samo na ovu operaciju, nemaju velikih prednosti. Prednosti, međutim, dolaze do izražaja u kompletnom rješenju manipulativnog procesa. Znatne uštede u poprečnom transportu daje upotreba pokretnog portalnog kрана, kabelnog kрана ili pretovarnog mosta.

Za **skladištenje iverja** (outside chip storage), može se općenito reći da su troškovi transportno-manipulativnih operacija niži nego za bilo koji vid mehanizirane manipulacije drvom u formi oblica, odnosno cjepanica. U svakom pojedinačnom slučaju nužno je, međutim, razmotriti i sve ostale prednosti i nedostatke koji su vezani uz ovaj vid rješenja.

Iz provedenih istraživanja mogu se konačno rezimirati slijedeći zaključci:

1. Preporuča se potpuna mehanizacija za sve drvene pogone kapaciteta većeg od 100 prn/dan. Za niže kapacitete približno iste rezultate daje djelomična mehanizacija ili ručna manipulacija.

2. Perspektivno gledano, može se reći da je racionalna mehanizacija svakog procesa u kome je presudan manuelni faktor. U većini slučajeva, postižu se pritom uštede koje u kratkom vremenu amortiziraju uloženu investiciju.

3. Za skladištenje drva u obliku oblica u slozajevima analiza je pokazala da je najpogodnije rješenje upotreba hidrauličkih auto-kranova kao osnovnog transportno-manipulativnog sredstva. S ovim uređajima postižu se optimalni rezultati zbog gotovo idealne korelacije između pogonskih troškova i minimalnih investicionih troškova.

4. Proračuni su pokazali da je, pri većim kapacitetima za metarsko drvo, skladištenje u gomili pogodnije rješenje. Donja granica kapaciteta je oko 800 prn/dan. Preporuča se vertikalni transporter za formiranje gomile u kombinaciji s transportnim kanalom i uređajem za rasformiranje gomile.

5. Obzirom na troškove, kod većih kapaciteta za tvornice celuloze, najpogodnije je rješenje u skladištenju iverja na otvorenom u kombinaciji s pneumatskim transportom. Nužna je, međutim, analiza popratnih nedostataka, koji mogu isključiti ovo rješenje u konkretnom slučaju.

## BEITRAG ZUR KENNNTNIS DER PROBLEMATIK DER RATIONALEN MANIPULATION UND LAGERUNG DES HOLZES

### ZUSAMMENFASUNG:

In der Industrie der chemischen und mechanischen Holzbearbeitung ist der Rohstoffpreis von bedeutenden Einfluss auf die Preise von Finalprodukten. Die durchgeführte Untersuchungen bestätigen dass der Rohstoffpreis in wesentlichen die Summe von verschiedenen Ladung und Transport Prozessen bildet in welchen die Arbeitskraft eine der wichtigsten Rollen spielt. Die Autoren schlagen auf diesem Gebiet eine Reihe von verschiedenen zweckmässigen Rationalisierungsmöglichkeiten vor die zu einen erheblichen Ersparnis durch niedrigere Preise und Qualitätsverbesserung führen.



# FURNIRI FURNIRI FURNIRI

PO KONKURENTNIM CENAMA STALNO NA ZALIH: DOMAĆI ORAH, HRAST, BREST, JASEN, JAVOR, BUKVA, TOPOLA-MAZAR, ARIŠ-DOUGLASIA. AMERIČKI ORAH, PALISANDER-DRVO, TIK, KOTO, BUBINGA, SAPELLI, TIAMA, IROKO, KOSSIPO, SIPO, MAKORE, MOABI, KHAYA, SAMBA, FROMAGER

NAŠA DUGOGODIŠNJA ISKUSTVA -  
JAMSTVO ZA VAŠ USPEH



LIK Savinja Celje

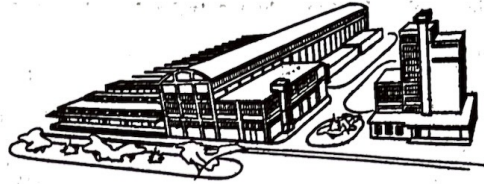


# KOMBINAT **belišće** BELIŠĆE

Telefon: Belišće 054/74-104 — Telegram: Kombinat Belišće — Telex 28-110

# Bel

## A M B A L A Ž A



1960.

1970.

## TVORNICA KARTONA I KARTONSKE AMBALAŽE

### Proizvodi:

dvoslojni, troslojni, petoslojni, valoviti karton, razne vrste Bel-ambalaže bez štampe i s dvobojaom štamptom, vodootpornu Bel-ambalažu, vodootporne gajbe valovitog kartona za pakovine voća.

Lijepljenje papira u valovitom kartonu vrši se škrobnim ljepilom.

Ljepivu traku sa i bez štampe raznih gramatura, kartonske bačve od 10—200 lit, kartonske cijevi i drugu spiralnu ambalažu.

Kupcima stavljamo na raspolaganje našu službu za oblikovanje i moderno opremljeni laboratorij kod rješavanja problema pakovanja u transportnu ambalažu.

### 10-GODINA PROIZVODNJE KARTONSKE AMBALAŽE

Deset godina proizvodnje povijesno je kratko vremensko razdoblje, ali u razvoju jedne od najvećih tvornica ove vrste u zemlji i u Kombinat u Belišće, ovo vrijeme od 1961. do 1970. godine vrlo je značajno i plodno. Razdoblje od deset godina sasvim je dovoljno da se može utvrditi poslovanje koje je bilo vrlo uspješno od samog osnivanja i prvih zacrtanih smjernica razvoja do postizavanja optimalne proizvodnje i utvrđivanje opravdanosti izgradnje ove tvornice.

Tvornica kartona i kartonske ambalaže puštena je u probnu proizvodnju krajem 1960. godine, u mjestu bez tradicije u proizvodnji papira i kartonske ambalaže, a već početkom 1961. godine bile su prodane na domaćem tržištu prve količine kartonske ambalaže, pod veoma dobro izabranim komercijalnim imenom BEL-ambalaža. Prve godine proizvodnje i uporednog razvoja procesa, proizvedene količine su simbolične, ali se do 1970. godine proizvodnja povećala za više od četrina puta.

BEL-ambalaža je kroz deset godina proizvodnje i realizacije na domaćem i inozemnom tržištu postala sinonim za svu ambalažu izrađenu od valovitog kartona. Jednom riječju, pojam BEL« ušao je kroz deset godina na sva vrata naših kupaca. Istina je, u početku nije išlo sve bez teškoća i izuzetnih napora.

Pravilnom kadrovskom politikom, u vrlo kratkom razdoblju uspjele se osposobiti priličan broj stručnjaka, i baš zahvaljujući njima, današnji razvoj i rezultati su itekako

pozitivni. Uporedo s porastom proizvodnje, rastao je brojčano i stupanj stručnosti ove mlađe generacije radnika i stručnjaka, a samim tim poboljšan je i asortiman i proširen broj novih proizvoda.

Surađujući s nizom naučnih ustanova i instituta i udruženja te ispitivanjem tržišta, razvijanjem reklame i propagande, kao praćenjem zahtjeva potrošača i tržišta postiglo se, da BEL-ambalaža danas uživa veliki renome na domaćem tržištu. U proteklom desetljeću nisu izostala i brojna priznanja za kvalitet i kreiranje novog asortimana prilagođenog masovnoj upotrebi. Niz diploma Jugoslavenskog »Oskara« za ambalažu i druga pismena priznanja dokaz su uspješnog rada i zalaganja cijelog kolektiva te naše nekada zvane nove tvornice.

Količinski i vrijednosni pokazatelji desetgodišnjeg upornog rada ove tvornice su slijedeći:



**Proizvodnja:**

	u tonama		Svega
	1961—1965	1966—1970	
Poluceluloza	51.993	60.500	112.493
Papir i sivi karton	82.064	129.720	211.784
Ljepiva traka	1.796	2.848	4.644
Kartonska ambalaža	95.242	149.152	244.394

Osim vlastitog papira u proizvodnji kartonske ambalaže prerađeno je još i desetine tisuća krafli-ner tuzemne i inozemne proizvodnje.

upravljanja i društvenog rada u samom mjestu.

Tvornica BEL-ambalaže u Bелиšču predstavlja jedan od izraza novih pregnuća, a ovaj zapis služiti će kao

No treba reći još nešto. Veličina novoga u Bелиšču je sve ono što se ne može naći ni u jednom ranijem periodu. To su novi radni ljudi i novi odnosi među njima, koji rastu i razvijaju se zajedno s mjestom »Bелиšće«. Deset godišnjica rada tvornice Bel-ambalaže, između ostalog, prikazuje i rezultate fizičkog i umnog rada pripadnika te mlade generacije kao savremenog proizvođača i samoupravljača. Pored znatnog povećanja plana proizvodnje, na poslovne rezultate mnogo je utjecalo usvajanje nove tehnologije i proizvodnje novih asortimana, što je omogućilo da se plan proizvodnje znatno poveća.

Tempo razvoja današnje tehnike nalaže proizvođačima stalnu trku naprijed, a i najmanji preдах dovoljan je da se stane.

Danas tvornica Bel-ambalaže ima već ogromno skustvo, koje se steklo u toku minulog desetljeća, i ljudi koji rade u toj tvornici uvjereni su da će ubuduće moći pružiti našoj privredi onakve usluge kakve to privreda u zemlji i u svijetu bude tražila, pokušat će dati i nešto više što bi bio svakako veliki korak naprijed.

Kolektiv ove tvornice na najboljem je putu da postane ravnopravan partner velikih svjetskih proizvođača papira i ambalaže. Biti konkurentan na tržištu nemoguće je bez rekonstrukcije i modernizacije, uvođenja novije tehnologije, povećanja kapaciteta i držanja koraka u proizvodnji s već postojećim poduzećima u zemlji i u svijetu.

Bелиšće, februara 1971. god.

(Strok Franjo)

**Realizacija, papira, kartona ljepive trake i BEL-ambalaže:**

Šrenc papir	2.182	3.897	6.079
Fluting (polu kem. papir)	3.455	12.217	15.672
Sivi karton	5.193	1.838	7.031
Dvoslojna valovita ljepenka	5.310	5.937	11.247
Ploče valovite ljepenke	19.194	27.937	47.131
Kutije, ulošci i predjeli	1.708	2.844	4.552
Ljepiva traka	71.019	115.060	186.079
<b>Sveukupna količinska realizacija</b>	<b>108.061</b>	<b>169.730</b>	<b>277.791</b>

**Ostvarena realizacija po vrijednosti:**

u 000 st. dinara

BEL-ambalaža	25,787.541	47,665.079	73,452.620
Spiralna ambalaža	—	631.475	631.475
<b>Sveukupna realizacija po vrijednosti ambalaže</b>	<b>25,787.541</b>	<b>48,296.554</b>	<b>74,084.095</b>

**Učešće ostvarene realizacije BEL-ambalaže u Kombinat:**

Tvornica kartona i ambalaže	62%	66%	64%
Stari pogoni u Kombinat	38%	34%	36%
<b>Ukupno kombinat Bелиšće</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

**Zacrtni planovi realizacije BEL-ambalaže ostvarivani su:**

Po količini	103%	100%	101%
Po vrijednosti	110%	106%	107%

Po intenzitetu proizvodnje i prikazanim rezultatima, za ovo kratko razdoblje, zabilježeni su veliki uspjesi i usponi, ne samo u proizvodnji nego i na linijama radničkog

podsjetnik o tom što je ovdje slobodni radnik za nekoliko godina stvorio, a stvoreno je više nego u prijeratnom doba za nekoliko decenija.

## Obavijest oglašivačima

Obavještavamo zainteresirane privredne organizacije da ćemo oglasne priloge za



**JESENSKI MEĐUNARODNI ZAGREBAČKI VELESAJAM**



koji se održava od 10. — 20. IX 1970. godine  
primati do zaključno 15. VII 1970.

Uredništvo  
»DRVNE INDUSTRIJE«

## DRVNI ŠKOLSKI CENTAR

»JURICA RIBAR«

ZAGREB, Savska cesta 86

# OBAVIJEST

O UPISU UČENIKA U ŠKOL. GOD. 1971/72.

Ovaj Centar informira zainteresiranu omladinu i odrasle za upis u pojedine škole Centra kako slijedi:

### 1. Drvno tehnička škola u Savskoj cesti 86

#### a) Odjeljenja za omladinu

Školovanje traje 4 godine. Nakon završenog školovanja učenici stiču zvanje tehničara finalnog smjera drvne struke, a mogu se zaposliti u poduzećima finalne drvne industrije na slijedećim radnim mjestima: rukovodioci odjeljenja u pogonima, kao tehničari u konstrukcionim biroima i tehničkoj pripremi rada, kao tehnolozi, normirci, kontrolori proizvodnje, referenti nabave i prodaje itd., a mogu nastaviti školovanje na svim fakultetima, prvenstveno na DRVNO-INDUSTRIJ-SKOM odjelu Šumarskog fakulteta, Arhitektonskom (unutarnje uređenje), Ekonomskom itd.

Uvjeti za upis u I razred: završena Osnovna škola.

#### b) Odjeljenje za odrasle

Školovanje je izvanredno i traje 3 godine. Nakon završenog školovanja učenici stiču zvanje tehničara kao pod a)

Uvjeti za upis:

- a) završena osnovna škola
- b) završena škola za KV radnike drvne struke
- c) radni staž u drvanoj struci najmanje 2 godine.

### 2. Škola za VKV radnike u Savskoj cesti 86

#### Odrasli

Školovanje je redovno i izvanredno, a traje 3 semestra po 6 mjeseci (ukupno 1,5 godina)

Uvjeti za upis:

- a) završena Osnovna škola
- b) završena škola za KV radnike drvne struke
- c) zaposlenje u privrednoj organizaciji na poslovima svoga zanimanja s najmanje 3 godine radnog staža kao KV radnik.

### 3. Drvodjelska škola za KV radnike, Gundulićeva 10

#### a) Odjeljenja za omladinu

U I razred primaju se učenici ovih zanimanja: stolar, modelstolar, tapetar, autotapetar, auto-karoserist, glazbalar, kolar bačvar, drvotokar, parketar i četkar.

Školovanje za zanimanja: bačvar, drvotokar, parketar i četkar traje 2 godine, a ostala zanimanja 3 godine.

Nakon završenog školovanja, učenici se mogu upisati u II razred Drvno tehničke škole bez polaganja diferencijalnog ispita, a u III razred s diferencijalnim ispitom.

Uvjeti za upis:

- a) završena osnovna škola
- b) sklopljeni Ugovor o učenju zanimanja
- b) Odjeljenja za odrasle

U I razred primaju se polaznici svih zanimanja kao i za omladinu. Školovanje je redovno i izvanredno, a traje 3 semestra ukupno (1,5 godina)

Uvjeti za upis:

- a) završena osnovna škola
- b) da je stariji od 18 godina
- c) radni staž u struci najmanje 2 godine
- d) zaposlenost za vrijeme školovanja u zanimanju za koje se školuje

### 4. Opća srednja škola s drvnim usmjerenjem

#### Omladina

Škola traje 2 godine. U ovoj školi učenici stiču temeljna znanja za svako zanimanje, a prvenstveno za zanimanja drvne struke. Po završetku Opće srednje škole, učenici mogu nastaviti školovanje za KV radnika, VKV radnika, tehničara finalnog smjera drvne struke ili nastaviti školovanje na nekoj od škola II stupnja, uz odgovarajući diferencijalni ispit.

Za sve detaljne informacije o upisu i školovanju (dan upisa, potrebni dokumenti itd.) obratite se na tajništvo Centra, Zagreb, Savska cesta 86, telefon 512-657.

U Zagrebu, 20. travnja 1971.

Direktor:  
(prof. Gržan Ante)





# „CHROMOS KATRAN TVORNICA BOJA I

## XYLADECOR — TRANSPARENTNO OBOJENA PREMAZNA SREDSTVA

XYLADECOR lazurna premazna sredstva primjenjuju se za zaštitu i oplemenjivanje svih vrsta drvenih površina, naročito onih izloženih atmosferskim utjecajima (drvene kuće, prozori, balkonske i razne druge drvene ograde, vrtni namještaj, stropovi, oploćenja zidova i dr.).  
Proizvodi se:

XYLADECOR IMPREGNACIJA	br. 7120.
„ BEZBOJNI	br. 7121.
„ KESTEN	br. 7122.
„ PALISANDAR	br. 7123.
„ TIK	br. 7124.
„ MAHAGONI	br. 7125.
„ BOR	br. 7126.
„ MASLINASTI	br. 7127.

U cilju postizavanja željene boje, odnosno nijanse, mogu se svi XYLADECORI međusobno miješati, a za postizavanje svjetlijih tonova miješaju se s bezbojnim XYLADECOROM.

XYLADECOR su moderna lazurna sredstva koja pružaju veoma efikasnu fungicidno-insekticidnu zaštitu, a ujedno oboje drvo dajući mu mali svilenkasti sjaj, tako da je potpuno vidljiva i sačuvana prirodna tekstura drva.

XYLADECORI duboko penetriraju u drvo, vrlo su postojani na svjetlo i atmosferske utjecaje, vodootporni su i elastični, tako da ne samo što zaštićuju drvo, nego mogu pratiti njegov »rad« u velikim granicama. Izrađeni su na bazi specijalnih visokokvalitetnih sintetskih smola uz dodatak svjetlostalnih pigmenta, odgovarajućih otapala i fungicidno-insekticidnih sredstava. Pošto u svom sastavu sadrže također fungicidno-insekticidnih sredstava, XYLADECORI štite drvo od truleži, plijesni, plavila i drugih grešaka koje uzrokuju mikroorganizmi i insekti.

XYLADECORI nisu osjetljivi na sadržaj vlage u drvu kao ostala premazna sredstva. Drvo četinjara može se obrađivati sa sadržajem vlage do 25%, a tvrde vrste drva do 20%, što znači zračno prosušeno drvo. Površine trebaju biti čiste i brušene, jer neočišćene i hrapave površine nejednako upijaju, što daje loš dekorativni efekat. Površine koje su lakirane ili samo impregnirane treba prije nanosa XYLADECORA dobro očistiti brušenjem, tako da se omogućiti penetracija sredstva u drvo.

XYLADECORI se mogu nanositi kistom, štricanjem ili umakanjem. Nije ih potrebno razređivati, jer su priređeni za nanašanje. Prije upotrebe potrebno je sredstvo u posudi dobro promiješati, tako da se pigmenti sa smolama homogeniziraju. Nanose se u 2—3 sloja, zavisno od željene nijanse, vrste drva i željenog stepena zaštićenosti. Svaki sloj, treba sušiti 1 dan kod normalnih klimatskih uslova. Kod vlažnog i hladnog vremena vrijeme sušenja se produžuje. Ako se želi jednolično upijanje, preporučuje se iza svakog nanosa bilo kojom tehnikom (kistom, pistolom, uranjanjem) površinu obrisati krpom ili spužvom, tako da se ukloni mjestimično nakupljeno, odnosno neupijeno sredstvo i pravilnije rasporede pigmenti po površini.

Tvrdo drvo i drvo koje je ranije bilo impregnirano ili lakirano slabije upija pa ga je potrebno nanositi u 3 sloja. Drvo četinjara i mekih lišćara, naročito ako nije dobro brušeno, nejednoliko upija, pa se preporučuje prethodna impregnacija XYLADECOROM IMPREGNACIJOM ILI BEZBOJNIM XYLADECOROM, a zatim 2 sloja XYLADECORA željene boje. Osušeni film je potpuno bez mirisa. U jednom sloju se nanosi najmanje 100 g/m<sup>2</sup>. Čeoni presjeci drva moraju se više puta premazati, jer na njima postoji veća mogućnost prodiranja vode, a mogu se premazati i nekim vodootpornim lakom.

Površine zaštićene XYLADECOROM nije potrebno još zaštićivati nekim bezbojnim lakom, ali, ako se to želi, mogu se primjenivati uljeni lakovi ili lakovi na bazi sintetskih smola, i to najranije dva dana nakon posljednjeg nanosa XYLADECORA. U tom slučaju sadržaj vlage drva mora biti ispod 15%. Površine koje će biti izložene atmosferskim utjecajima ne preporučuje se zaštićivati samo bezbojnim XYLADECOROM, nego se za gornji sloj preporučuje Uljni vodootporni lak br. 3341.

Drveni podovi, zaštićeni fungicidno i insekticidno transparentno obojenim ili bezbojnim XYLADECOROM, mogu se nakon dobrog sušenja lakirati CHROMODEN LAKOM ZA PARKE-TE.



# KOMBINATA KUTRILIN<sup>®</sup> LAKOVA

Alat koji se upotrebljava za nanašanje XYLADECORA poslije upotrebe može se očistiti razređivačem za uljene boje, nitrrozređivačem ili lak-benzinom.

Građevinske elemente koji su izloženi težim klimatskim uvjetima potrebno je premazati svake dvije-tri godine. Za obnavljanje premaza nisu potrebne neke naročite predradnje. Dovoljno je površine očistiti od vremenom nataložene nečistoća.

Kao i za druga premazna sredstva, potrebne su mjere opreza. U radnoj prostoriji ne smiju postojati mjesta s otvorenim plamenom, niti bilo kakav izvor iskrenja. Za vrijeme rada ne smije se pušiti. Za osobni rad preporuča se rad sa zaštitnim rukavicama. Za eventualno gašenje požara dolazi u obzir pjena, ugljični dioksid i suhi prah.

Ako se drvene površine obrađene XYLADECOROM još žele zaštititi protiv požara, mogu se premazati PIROSTOP BEZBOJNIM PROTU-POZARNIM LAKOM, koji služi za protupožarnu zaštitu građevinskih elemenata koji nisu izloženi vanjskim atmosferskim utjecajima, kao drvene grede, nosači, plafoni, krovna konstrukcija, oplčenja i dr.

Obzirom da PIROSTOP nije otporan na atmosferske utjecaje, ako je potrebno, može ga se zaštititi Vodootpornim lakom. PIROSTOP se proizvodi u bijeloj boji, a pomoću DISPETOL PASTA može se nijansirati i dobiti željena boja. Nanosi se kistom, četkom ili štrcanjem. Razređuje se vodom. Nanosi se u dva sloja po 350 g/m<sup>2</sup>.

PIROSTOP je vatrootporni premaz, čiji film ne sadrži zapaljive sastojke. Film PIROSTOPA, ne samo da štiti podlogu (drvo) od vatre nego sprečava širenje plamena i čini da se vatra na zaštićenoj površini gasi. Ovaj premaz izdrži temperaturu do 950° C kroz vrijeme od 30 minuta, a to je vrijeme u kojem postoji mogućnost za efikasnu intervenciju. Ovaj vatrootporni premaz kod visokih temperatura se napuhava, pri čemu se stvaraju mjehurići napunjeni inertnim plinovima koji doprinose izolaciji i čak pomažu gašenje. Nakon gašenja požara, izolirajući sloj pjene, koji je nastao utjecajem visokih temperatura, lako se uklanja lopaticom (špahtlom), tako da drvo ostaje neoštećeno.

ZA SVA DETALJNA UPUTSTVA ZA PRIMJENU XYLADECORA I PIROSTOPA OBRATITE SE NA OBRATITE SE NA RAZVOJNO-PRIMJENSKU SLUŽBU TVORNICE BOJA I LAKOVA »CHROMOS«.

## NOVE KNJIGE

Priručnik **DRVNETEHOLOGIJE** (originalni naslov: »Taschenbuch der Holztechnologie«) — drugo poboljšano izdanje — VEB Fachbuchverlag Leipzig — 1970 g. — strana 887 sa 564 slike i 304 tablice.

Isiaknuti stručnjaci Inženjerske škole za drvenu tehniku u Dresdenu napisali su ovaj, za praksu vrlo koristan, priručnik cjelokupne drvene tehnologije: Materijal je obrađen sustavno po poglavljima.

U poglavlju drvnih proizvoda (2) obuhvaćena je: piljena građa, furniri, slojevito drvo, udobeno drvo, sandwich ploče, vlaknatica i iverice.

Iscrpno su obrađena ljepila u drvenoj industriji (4) za lijepljenje drva, namještaja, šper sandwich-ploča- građevinskih elemenata, iverica i vlaknatica.

Sušenje drva (5) objašnjeno je u osnovi, a zatim je prikazno prirodno i umjetno sušenje. Posebno se govori o greškama nestručnog sušenja, a konačno su dani i praktični savjeti.

Veliki dio pripada strojevima (6) počevši od strojeva za piljenje preko strojeva za glodanje i blanjanje, bušilica i brusilica do kombiniranih strojeva za više operacija. Strojevi za proizvodnju furnira i šperploča prošireni su i na strojeve za ostalo uslojeno drvo. Sječkalice i iverači sustavno su obrađeni. Brojni uređaji za protočne operacije prikazani su u sistemima. Ručni električni strojevi obuhvaćeni su po namjeni. Za visoki razvoj površinske obrade drva razvijeni su brojni strojevi za brušenje, lakiranje i poliranje, kao i čitavi setovi uređaja za pojedine načine i sisteme.

Sredstva za dovršavanje (7) obuhvaćaju alate i njihovo održavanje, mjerna pomagala, te zaštitne uređaje.

Važnost tehnološke pripreme i tehnike izrade, odnosno dovršavanja (8) počima s teoretskom i praktičnom pripremom, kao i organizacijom proizvodnje.

Oplemenjivanju površine (9) dana je dužna pažnja.

Zaštita drva (10) polazi od zakonskih propisa u području primjene sredstava za zaštitu drva od bioloških, klimatskih i elementarnih šteta do testiranja samih sredstava. Impregnacija obuhvaća sve postupke od premazivanja do injektiranja.

Postrojenja i uređaji (11) idu od toplinskih i energetske postrojenja, preko klima i kompresorskih uređaja, do rasvjete.

Konačno tu su i svi suvremeni protupožarni uređaji.

Knjiga će korisno poslužiti kao tehnički priručnik svima onima, koji praktično moraju rješavati heterogena pitanja dnevne prakse u proizvodnji.

F. Š.



Zavod za produktivnost, Zagreb, fondovi federacije, republika i pokrajina za razvoj nerazvijenih krajeva, Savezna i neke republičke privredne komore organiziraju u Sarajevu od 29. IX do 1. X 1971. godine

SIMPOZIJ O TEMI

## **„Značaj šumarstva i prerade drva za razvoj nerazvijenih područja Jugoslavije“**

Ova glavna tema bit će na Simpoziju obrađena sa slijedećih aspekata:

- Položaj šumarstva i drvne industrije Jugoslavije u Evropi;
- Izvozni potencijal šumarstva i drvne industrije Jugoslavije;
- Problemi otvorenosti šuma i korištenje mehanizacije u njihovoj eksploataciji;
- Mogućnosti veće proizvodnje drvnih masa u postojećim šumama;
- Mogućnosti proizvodnje drvnih masa na vanšumskim površinama;
- Odnos šumarstva i poljoprivrede u brdsko-planinskim područjima;
- Integraciona kretanja u šumarstvu i drvnoj industriji;
- Opće društvena korist i značaj šuma;
- Problemi financiranja razvoja šumarstva i drvne industrije;
- Kadrovski problemi u području šumarstva i drvne industrije;
- Značaj i uloga nauke u razvoju šumarstva i drvne industrije;
- Itd.

Navedene teme, po narudžbi organizatora Simpozija, obrađuju znanstvene i privredne organizacije Jugoslavije koje se bave problemima šumskog gospodarstva i drvne industrije.

Na Simpoziju će učestvovati svojim saopćenjima i strani stručnjaci.

Cilj je Simpozija da pridonese spoznaji o tome gdje se nalazimo u razvoju šumarstva i prerade drva i koji su daljnji koraci što ih treba učiniti za njihov razvoj.

S obzirom na značajan interes inozemnih partnera za financiranje razvoja šumarstva i drvne industrije u nerazvijenim krajevima Jugoslavije, Simpozij će posebnu pažnju posvetiti dosadašnjim našim iskustvima sa stranim poduzetnicima i financijerima.

Osim toga, Simpozij treba da pridonese da se stvori klima u zemlji za odgovarajući tretman ovih značajnih privrednih grana i za veću brigu razvijenih na tom području.

Molimo zainteresirane institucije i privredne organizacije da svojim sugestijama i radovima učestvuju u pripremama Simpozija. Sugestije i radove (referate i koreferate) molimo da pošaljete na adresu:

**ZAVOD ZA PRODUKTIVNOST, ZAGREB**

**Centar za obrazovanje, organizaciju i razvoj**

Trg žrtava fašizma 4, tel. 411-729

Zagreb, 14. IV 1971.

Za Organizacioni odbor Simpozija:

Ing. Franjo Knebl

**piljena građa egzota**

**U RAZLIČITIM DIMENZIJAMA  
PREMA NARUDŽBI**

**konkurentne cijene**



**MAKORE  
SAPELLI  
MAHAGONI  
SAMBA  
IROKO  
TIAMA  
KOSSIPO  
KHAYA  
FROMAGER  
SIPO  
MOABI**



**Savinja Celje**  
**LESNO INDUSTRIJSKI KOMBINAT**



DEKORATIVNI PLASTIČNI LAMINAT OTPORAN NA  
TEMPERATURU, VLAGU, KEMIČALIJE I UDARCE

# konal

U dva nova desena: svijetli i tamni  
SLAVONSKI HRAST



NOVI MATERIJAL ZA UREĐENJE INTERIJERA, ZA BRODOGRADNJU, PRODUKCIJU NAMJEŠTAJA  
I MNOGIH DRUGIH ARTIKALA.

U RAZNIM DEZENIMA PLEMENITIH VRSTI DRVETA, ZAJEDNO S NJIHOVIM PORAMA NA POVRŠINI!

DO SAD NAJUSPJELIJA ZAMJENA ZA PRIRODNI FURNIR

EKSKLUZIVNO ZA JUGOSLAVIJU:

lesonit.



ILIRSKA  
BISTRICA

Postrojenje za šperploče (A N R A) Raute omogućuje proizvodnju šperploča u kontinuiranoj traci uz kombinaciju različitih radnih faza, a bez dodatnih radnih hodova, troškova ili nepotrebnih gubitaka pri rezivanjem. Prešanje se izvodi u jednoj jednoetažnoj preši, a proizvod kao kontinuirana traka izlazi iz postrojenja. Produživanje furnira, nanošenje ljepila, sastavljanje, punjenje i pražnjenje preše, piljenje rubova i — ako je potrebno — i brušenje provodi se u postrojenju automatski, bez dodatnih radnih hodova.

Raute ima dugogodišnje iskustvo pri obradi različitih vrsti drveta kao i za proizvodnju postrojenja za mehaničku preradu drveta. Moderna, prvorazredna tehnika Raute omogućuje izgrad-

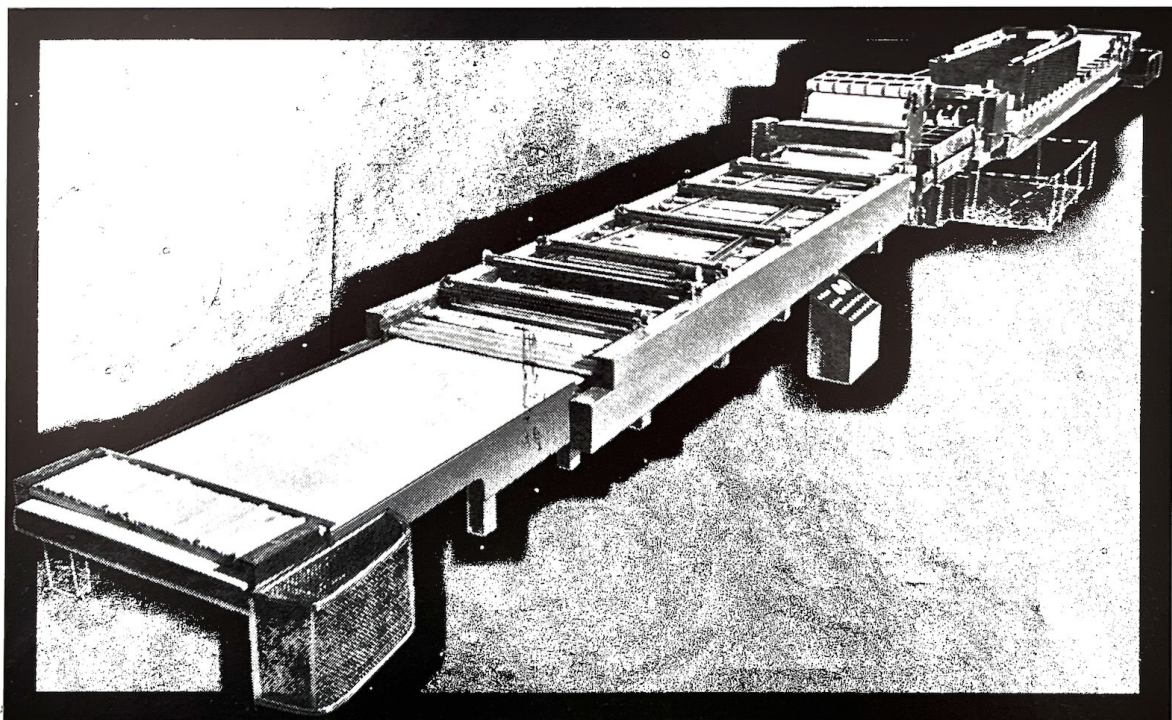
nju vrlo automatiziranih postrojenja sa malo radne snage uz znatne uštede u sirovinama. Stabilne i robustne mašine građene su po modernim metodama i vrlo su precizne.

Daljnji je dokaz pouzdanosti što su: strojevi i postrojenja razvijeni u suradnji sa svjetski poznatim finskim i inozemnim tvornicama za preradu drveta.

Ne zaboravite prilikom planiranja vaših investicija, da su mnoga od tih postrojenja u cijelom svijetu proizvod Raute. Stupite pravovremeno u vezu s nama ili s našim zastupnikom.

*Rau-te*

## TKO POZNAJE PROIZVODNJU OD RAUTE, TAJ POZNAJE UČINAK MODERNIH TVORNICA DRVENIH PLOČA



LAHDEN RAUTATEOLLISUUS OY  
RAU-TE

LAHTI FINLAND TELEX: 16162. CABLES: RAUTE



## PROIZVODNJA I PROMET

### PROIZVODA

- šumarstva
- drvne industrije
- industrije celuloze i papira

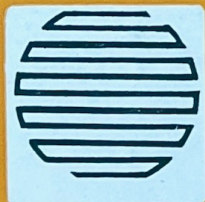
**UVOZ:** DRVA I DRVNIH PROIZVODA TE OPREME I POMOCNIH MATERIJALA ZA POTREBE CIT. PRIVREDNIH GRANA

**USLUGE:** oprema objekata, organizacija nastupa na sajmovima i izložbama, projektiranje i instruktaža u proizvodnji i trgovini, špedicija i transport

# EXPORTDRVO

ZAGREB — MARULIČEV TRG 18 — JUGOSLAVIJA

BRZOJAVI: EXPORTDRVO, ZAGREB — TELEFON: 36-251-8 37-323, 37-844 — TELEPRINTER: 213-07



#### Proizvodne organizacije

Drveno industrijski kombinat »Česma« - Bjelovar  
Drveno industrijski kombinat — Novi Vinodolski  
Drveno industrijski kombinat — Ravna Gora  
Drveno industrijski kombinat — Virovitica  
Drvena industrija — Vrbovsko

#### Komercijalne poslovne jedinice:

Izvoz — uvoz — Zagreb  
Tuzemna trgovina — Zagreb  
Trgovina na veliko i malo »Solidarnost - Rijeka  
Skladišni i lučki transport — Rijeka  
Samostalna radna jedinica — Beograd

#### Predstavništva:

European Wood Products — New York, 35-04 30th Street, Long Island City N. Y. 11106  
Omnic G. m. b. h. 83 Landshut/Bay Christoph-Dorner Str. 3. - HOLART, Import-Export-Transit G. m. b. H., 1011 Wien, Schwedenplatz 3-4. — Omnic Italiana, Milano, Via Unione 2. — Export-drvo Repr. London, W. 1., 223-227, Regent Street — »Cofymex«, 30, rue Notre Dame des Victoires, Paris 2e. EXHOL, Amsterdam, Amstelveenseeg 120/III.

AGENTI U SVIM UVOZNIČKIM ZEMLJAMA