

Utjecaj raspodjele ljepila po iverju na izradu i kvalitetu iverica

Mr Salah Omer, dipl. ing.

UDK 634.0.862.2

Primljeno: 6. kolovoza 1980.

Pregledni rad

Prihvaćeno: 15. srpnja 1981.

Sažetak

U ovom radu obrađena je problematika raspršivanja ljepila kod proizvodnje iverica. Analiziran je postupak obljepljivanja iverja i svi utjecajni faktori kod nanošenja ljepila na iverje pri raznim parametrima. U radu su dani podaci o raznim miješalicama, sistemu rada i njegovu utjecaju na kvalitetu gotovog proizvoda. Matematički je izražena veza između količine nanesenog ljepila i veličine iverja koje se miješa. Dani su jednostavni matematički primjeri koji ilustriraju vjerojatnost raspodjele ljepila. Na kraju je grafikonima prikazan utjecaj raspodjele ljepila na svojstva ploča iverica.

Ključne riječi: obljepljivanje iverja — raspršivanje ljepila po iverju — vjerojatnost raspodjele ljepila

INFLUENCE OF RESIN DISTRIBUTION OVER CHIPS ON QUALITY AND MANUFACTURE OF PARTICLE BOARDS

Summary

The work comprises the problems of resin spraying in production of particle board. The process of chips bonding and all influential factors during coating of resin on chips at different parameters have been studied. The work contains the details about various mixing apparatus, system of work and its influence on the quality of final product. Connection between the quantity of coated resin and size of mixing chips has been mathematically expressed. Simple mathematic examples illustrate the probability of resin distribution. Finally the graphs evidence the influence of resin distribution on the properties of particle boards.

Key words: resin bonding of particles — spreading of resin on chips — probability of resin distribution

UVOD

Proizvodnja iverica naišla je u svijetu na konkurenciju proizvođača drugih vrsta ploča koje se upotrebljavaju u istu svrhu (namještaj, građevinarstvo i sl.). Poboljšanjem tehnologije i procesa proizvodnje postiže se bolja kvaliteta iverica, koja bi mogla konkurirati ostalim pločama na tržištu. Međutim, niti primjena najmodernije tehnologije i strojeva nije garancija za proizvodnju kvalitetnih ploča iverica. Faktor čovjek uvijek je prisutan kod proizvodnje i najmodernijom opremom. On kontrolira proces i regulira sve parametre proizvodnje. Sirovine, njihov sastav i postotni udio od velikog su utjecaja na svojstvo ploča. Osnovni sastojak iverice je drvo, odnosno iverje ili druge lignocelulozne tvari, ljepilo i dodaci. Postotni udio tih sastojaka mora biti točan ili s vrlo malom tolerancijom, radi njihova utjecaja na kvalitetu ploča.

Ljepilo je najbitnija sirovina poslije drva kod proizvodnje iverica s obzirom na njegovu ulogu, a količina i cijena čine važan faktor rentabilnosti.

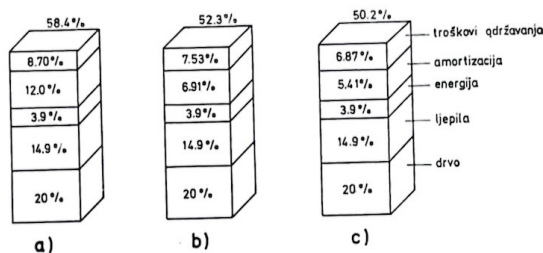
Industrijskom proizvodnjom iverica započinju i istraživački radovi za poboljšanje kvalitete iverica, te utvrđivanje utjecaja pojedinih faktora na kvalitetu ploča. Količina ljepila i način nanošenja na iverje, odnosno drugu osnovnu sirovinu, vrlo je utjecajan faktor. Većina istraživačkih radova posljednjih godina orijentirani su u tom pravcu. S manjim postotkom ljepila (6—8%) i boljom tehnikom lijepljenja može se skratiti proces proizvodnje i smanjiti troškove za 40—50% [8].

U ovom članku razmotrit će se problematika raspodjele ljepila na iverju i njihov utjecaj na kvalitetu, cijenu ploče i određivanje količine ljepila na iverju.

1. UDIO LJEPILA U STRUKTURI IVERICA

Dosadašnja istraživanja i analize pokazale su da je cijena 5—10% ljepila u iverici približno jednaka cijeni 90—95% drvnog iverja u gotovim ivericama, kako to navodi J. E. Marian [8]. Ti se podaci temelje na analizama udjela i cijena pojedinih sirovina kod proizvodnje iverica, za: a) volumen proizvodnje od 1,4 t/h, b) proizvodnju od 2,8 t/h, c) proizvodnju od 4,2 t/h [8], kako je prikazano na crtežu (sl. 1 A).

Analize udjela ljepila u ivericama pokazuju da ono predstavlja veliki dio troškova proizvodnje. Za američko područje proizvodnje troškovi ljepila kreću se između 20—30% ukupne cijene proizvodnje, i to tamo gdje je proizvodnja bila ekonomična [4].



Slika 1. A — Udio i cijena pojedinih sirovina kod proizvodnje iverica

Fig. 1. A — Portion and price of individual raw material in particle boards manufacture

Cijena ljepila povećala se posljednjih godina, i može se reći da je to povećalo i cijenu ukupne proizvodnje. Obično se kod proizvodnje ploča dodaje 5—8% suhe supstancije ljepila na masu suhog iverja. Ekonomske analize pokazale su da, ako se smanji količina ljepila u proizvodnji samo za 0,5%, može se uštedjeti 6—10% ljepila [11]. Tako u tvornici u kojoj se proizvodi 400 tona na dan s troškovima od 34—56 milijuna dinara godišnje (preračunato u din), može se uštedjeti oko 3,400.000 dinara, kako to navode J. B. Wilson i M. D. Hill [11].

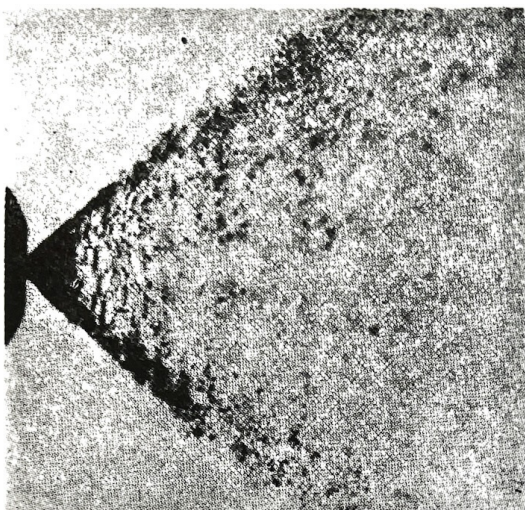
Na udio ljepila u strukturi proizvodnje iverica znatno utječe vrsta ljepila i njegovi sastojci. Veliku ulogu ima i nanošenje ljepila na iverje. Ako se radi o laboratorijskoj proizvodnji, onda se ona nanosi pištoljem za štrcanje u rotirajućem bubnju. Kod tvorničke proizvodnje rabe se miješalice. Njihov utjecaj na potrošnju ljepila, odnosno cijenu koštanja cjelokupne proizvodnje, razmotrit će se kasnije.

2. NANOŠENJE LJEPILA NA IVERJE

2.1. Laboratorijsko nanošenje ljepila na iverje

Osnovni princip kod nanošenja ljepila na iverje jest da se ljepilo rasprši na fine kapljice. Ubricht (1958) je izračunao da se na 100 grama iverja, koje ima prosječnu debljinu 0,38 mm i približnu površinu od 1,35 m², može teoretski raspršivati i prenijeti ljepila sa 60% suhe supstancije u omjeru oko 0,39 grama suhe tvari na 0,0929 m². Ovaj omjer s vrlo pogodnom atomizacijom daje vrlo kvalitetne ploče odličnih svojstava.

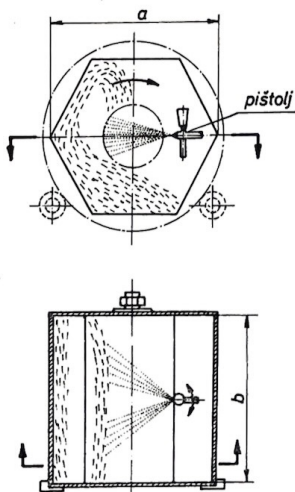
Klauditz (1962) je utvrdio da optimalna distribucija ljepila nastaje ako se stvori kontinuirani film na iverju, raspršivanjem kapljica ljepila čije veličine variraju od 8 do 40 μm. Lehman



Slika 1. B — Mlaz ljepila iz pištolja
Figure 1. B — Spraygun jet

[6] je dokazao da se prskanjem kapljica veličine $30 - 40 \mu\text{m}$ dobiju ploče zadovoljavajućih svojstava. U praksi se nije pokazalo ekonomičnim prskati kapljice manje veličine, radi dužeg vremena lijepljenja u toku proizvodnje.

Mc Vey (1969) je utvrdio da se raspršivanjem kapljica veličine $7 - 8 \mu\text{m}$ može ubrzati proces obljepljivanja i dobiti optimalne veličine kapljica na iverju.



Slika 2 — Bubanj s pištoljem
Figure 2 — Drum with gun

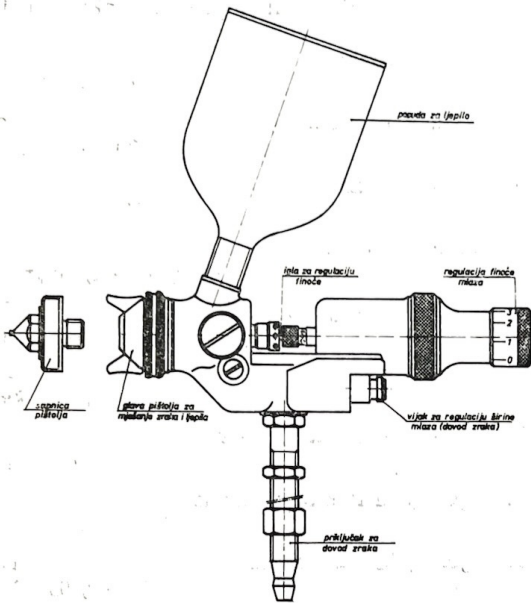
Na raspršivanje ljepila utječe više faktora [8]:

1. Veličina sapnica $= 10 - 600 \mu\text{m}$ 0
2. Veličina kapljica $= 20 - 150 \mu\text{m}$ d
3. Brzina mlaza $= 30 - 300 \text{ m/s}$ V
4. Brzina protoka $= 0,45 - 1,8 \text{ kg/min}$ P
5. Brzina kretanja iverja $= (\text{teško ustanoviti})$ V
6. Kut štrcanja $= \Omega = 15^\circ - 85^\circ$ 2a
7. Kumulativni volumen kapljica $= \text{nepoznat}$ R
8. Injekcijski tlak za tekućine $= 0,105 - 0,351 \text{ MPa}$ P₁
9. Injekcijski tlak zraka $= 0,211 - 0,703 \text{ MPa}$ Pa
10. Gustoća ljepila $= 0,75 - 1,1 \text{ g/cm}^3$ S
11. Površinska napetost ljepila $50 - 60 \text{ din/cm}$
12. Apsolutni viskozitet ljepila $= 250 - 1300 \text{ cP}$ Y
13. Energija atomizacije $= 100 \text{ erg/g}$ adheziva E

U laboratorijima se obično nanosi ljepilo na iverje laboratorijskim miješalicama. One se većinom sastoje od bubnja koji rotira u jednom smjeru i pištolja koji je učvršćen na osovini unutar bubnja. Na važnost miješanja iverja poslije nanošenja ljepila ukazao je Meinecke (1962). Brzina bubnja mora se također kontrolirati. Pištolj za prskanje ljepila ima priključak za dovod zraka i priključak za posudu za ljepilo. Ugrađenim regulatorom podešava se otvor sapnice za prskanje ljepila, čime se regulira disperzija ljepila, odnosno veličina kapljica koje se nanose na iverje.

Ustanovljeno je da u prosjeku mlaz ljepila izlazi iz pištolja s početnom brzinom između $30 - 300 \text{ m/s}$, uz istjecanje od $0,45 - 1,8 \text{ kg/min}$ [8], sl. 1 B. Vrijeme protoka ljepila također je određeno otvorom sapnice o kojoj također ovisi kvaliteta obljepljivanja, a time i kvaliteta ploča.

Na slici 4. i 5. prikazana je mogućnost određivanja vremena protoka ljepila pomoću otvora sapnice i širina, odnosno površina raspršivanja. Nanošenje ljepila na iverje izvodi se prskanjem. Ljepilo relativno niskog viskoziteta može se atomizirati pomoću prskanja zrakom ili bez zrakom. Kod zračnog raspršivanja pneumatične sapnice koriste se zrakom da bi atomizirale ljepilo. Zrak



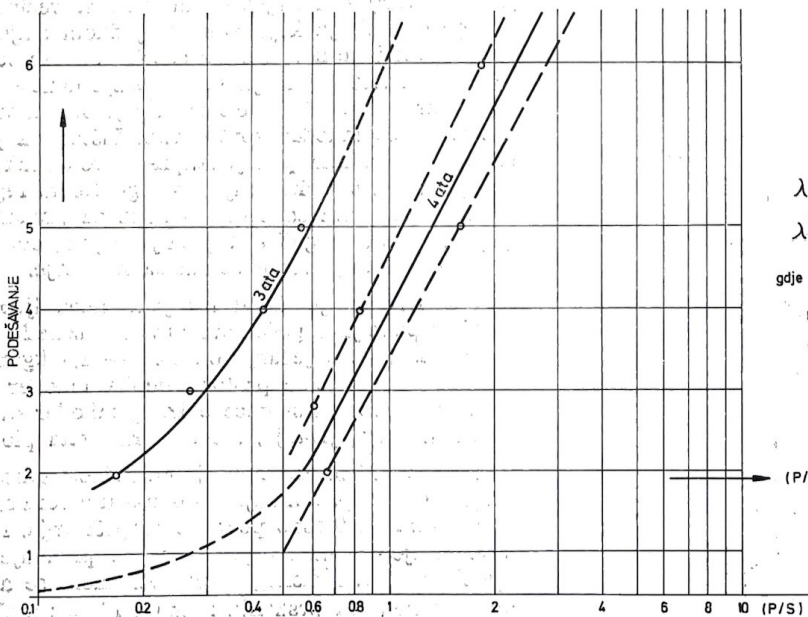
Slika 3 — Pištolj za štrcanje ljepila
Figure 3 — Spraygun

i ljepilo ulaze u sapnicu pod pritiskom gdje se sastaju u sapnici ili zvan njen. Kod posljednjeg slučaja sastaju se nakon kratke udaljenosti ispred sapnice, gdje nastaje vanjska atomizacija ljepila.

Promjenjive varijable o kojima ovisi raspršivanje ljepila, kao npr. tlak zraka, mijenjaju karakteristiku mlaza ljepila. Povišenje tlaka zraka utječe na redukciju veličine kapljica ljepila [10]. Kod bezračnog raspršivanja (tzv. hidraulično raspršivanje) hidraulični pritisak od približno 5 — 17,5 MPa rabi se za raspršivanje ljepila kroz sapnice.

Tekućine visokog viskoziteta raspršuju se pomoću bezračnog raspršivača. Stupanj atomizacije (veličina kapljica) kod bezračnog raspršivanja ovisi o više faktora: veličine sapnice, viskoziteta ljepila i tlaka koji se primjenjuju. Bezračno raspršivanje nije se proširilo kod proizvodnje iverica djelomično zbog potrebnog visokog tlaka za atomizaciju ljepila.

Kod raspršivanja ljepilo istječe u raspršivač frekvencijom od 250 — 300 ciklusa i napušta sapnicu s početnom brzinom od 30 — 300 m/s i brzinom protoka od približno 0,5 — 2 kg/min. Studije koje su vršene radi istraživanja atomizacije ljepila uzimale su u obzir karakteristike sapnice, tlak u raspršivaču, vrstu ljepila, viskozitet ljepila, sadržaj suhe supstancije i brzina protoka. Ustanovljeno je da brzina protoka ima velik utjecaj na veličinu kapljica. Naime, kako se količina ljepila prazni kroz sapnice, povećava se veličina kapljica ljepila. Slika 6. prikazuje veličinu kapljica koje su snimljene kod prskanja ljepila na aluminijsku foliju koja se kretala brzinom od 7200 m/s. Iz slike se vidi da brzina protoka kroz



podešavanje	3ata λ K	4ata λ K
1		10
2	15	5
3	9	4
4	7	3
5	5	2.5
6	3	1.5

$$\lambda = \frac{B_G \cdot r_0 \cdot d}{0.2} \cdot \frac{1}{B_{zFS}} \cdot V \cdot B$$

λ = oznaka (mjera) kvalitete po Dr E. MEINELKEU

gdje B_G = (G/100g drva) suha supstancija ljepila

r₀ = (g/cm³) propusnost drva

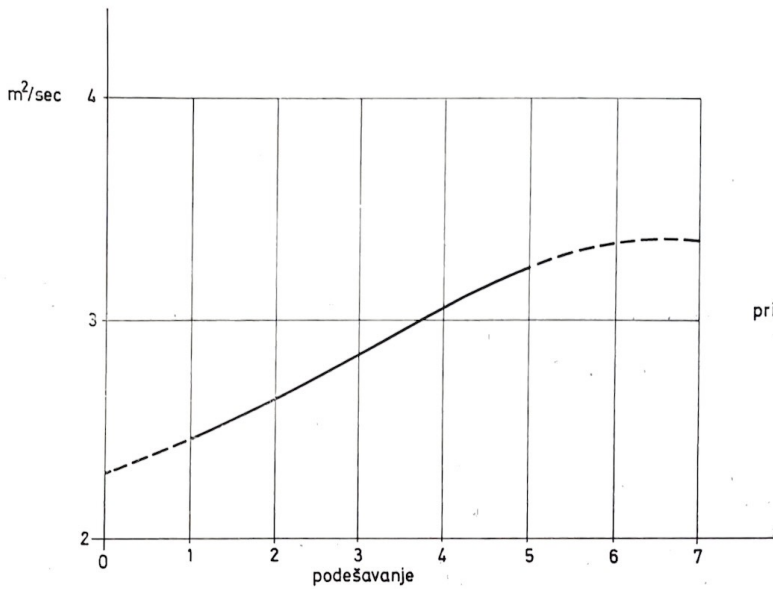
V = (m/min) brzina padanja iverica

B = (m) širina zone štrcanja

B_{zFS} = (g/min) prolaz ljepila

$$\lambda = (14-18)$$

Slika 4 — Prolaz ljepila kod različitih otvora sapnica
Figure 4. Resin shot at various nozzles openings



$$\Sigma F = B \cdot V \dots (\text{m}^2/\text{s})$$

(3 pištolja) (B · 2.8 m²/s)
 B = širina štrcanja

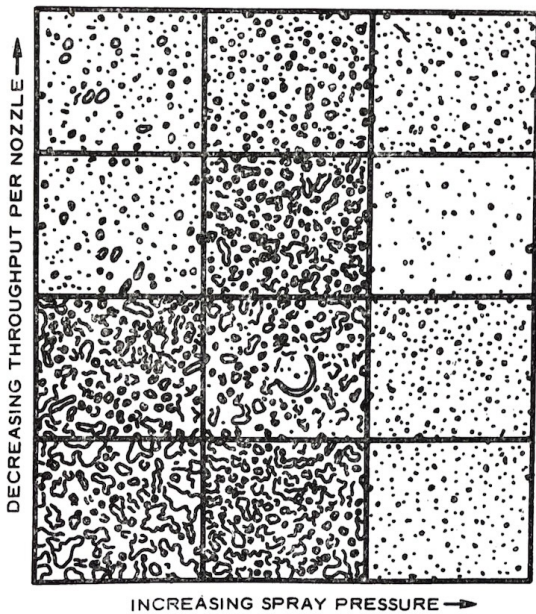
podešavanje		
1	2	3
0.700	0.812	0.924
0.644	0.840	1.036
1.092	1.176	1.260

pritisak raspršivanja: 3 i 4 ata

Slika 5 — Širina i površina raspršivanja kod raznog podešavanja sapnica
 Figure 5 — Width and area of spraying at different nozzles adjustments

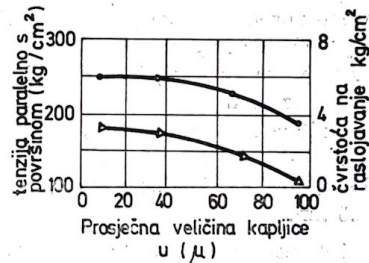
sapnice ima signifikantan utjecaj na veličinu kapljica i njihovu raspodjelu. Povećanjem tlaka ras-

pršivanja smanjuje se veličina kapljice ljepila i viskozitet ljepila.



Slika 6. — Veličine kapljica, odnosno utjecaj tlaka raspršivanja na veličine kapljica ljepila.

Figure 6 — Size of drops, i. e. influence of spraying pressure on size of resin drops

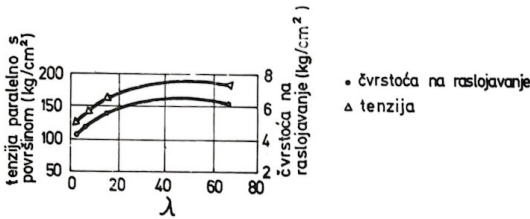


Slika 7 — Utjecaj prosječne veličine kapljica na čvrstoću ploča [10]
 Figure 7 — Influence of average size of drops on board hardness [10]

Veličina kapljica ljepila ima signifikantan utjecaj na čvrstoću ploče iverice, posebno na čvrstoću raslojavanja [10]. Istraživanja su pokazala da promjer (veličina) kapljice ljepila od 8—35 μm povećava čvrstoću ploče. Uređaji za prskanje ljepila koji se upotrebljavaju u današnjoj proizvodnji omogućuju raspršivanje kapljica ljepila veličine 30 — 100 μm [10].

J. E. Marian [8] navodi rezultate istraživanja Meieneckena i Klauditzza koji su istraživali raspodjelu i veličinu kapljica i definirali ih kao parametar s oznakom λ. Pokusi su

pokazali da veliko raspršivanje kapljica ima štetan efekat na čvrstoću ploče, što se vidi iz slike 7. i 8.



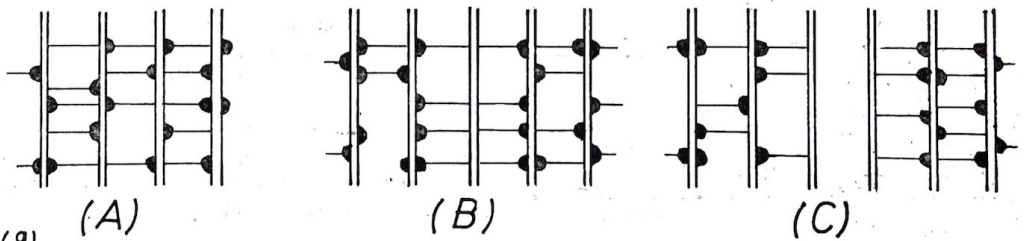
Slika 8. — Utjecaj parametra raspršivanja i raspodjele ljepila na čvrstoću ploča [10]

Figure 8. Influence of spraying parameters and resin distribution on board hardness [10]

Cilim iz industrijske miješalice daje ploču koja ima oko 60% čvrstoće iverica koje su proizvedene u laboratoriju, gdje je veličina kapljica 8 μm i parametar raspodjele tih kapljica λ = 14. U spomenutim radovima pokazalo se da je λ direktno ovisan o trajanju raspršivanja i kutu pada, površini raspršivanja i brzini kojom iverje prolazi kroz zonu raspršivanja. Osim toga λ je obrnuto proporcionalan s masom iverja i specifičnom površinom.

Uvijek se preporuča pridržavati se optimalnih uvjeta obljepljivanja, tj. fino i jednoliko raspodjeljenih kapljica ljepila na iverju. Uz brzinu raspršivanja, vrstu opreme i trajanje raspršivanja, smatra se da je veličina kapljica od 35 λm zadovoljavajuća. Kod većine industrijskih operacija obljepljivanja, gdje se primjenjuje zračno raspršivanje ljepila viskoziteta od 150 — 600 cP, s tlakom tekućine od 0,07 — 0,28 MPa i tlakom zraka od 0,21 — 0,35 MPa, moguće je dobiti kapljicu veličine od 10 — 50 λm.

Na slici 9. vidi se pojednostavljena raspodjela ljepila (obljepljivanje) na iverju [10] u većini slučajeva.



SL. (9)

(A)

(B)

(C)

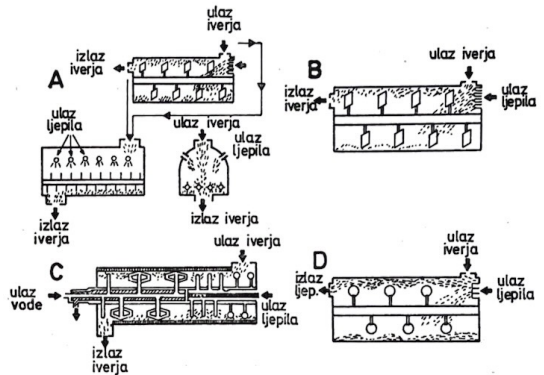
Slika 9 — Pojednostavljeni slučaj raspodjele ljepila na iverju: A — sve iverje obljepljeno, B — jedan iver neobljepljen, C — dva susjedna ivera neobljepljena.

Fig. 9. Simplified case of resin distribution on chips:

A — all chips bonded, B — one chip unbonded, C — two adjoining chips unbonded

2.2. Nanošenje ljepila na iverje u proizvodnji

Kod laboratorijske izrade ploča svi bitni faktori kod nanošenja ljepila mogu se kontrolirati i podešavati radi izrade kvalitetne ploče. U industrijskoj proizvodnji to je već teže. Utjecaj procesa obljepljivanja na kvalitetu iverica kod ploča izrađenih primjenom komercijalnih miješalica u usporedbi s pločama izrađenim laboratorijskim miješalicama, uz isti sadržaj ljepila, može se iskazati razlikom u čvrstoći. Industrijske iverice imaju čvrstoću na raslojavanje oko 47 — 55 %, a modul elastičnosti i čvrstoću na savijanje oko 62 — 77 % u odnosu na laboratorijski proizvedene iverice [11].



Slika 10 — Tipovi komercijalnih miješalica iverja i ljepila kod proizvodnje iverica.

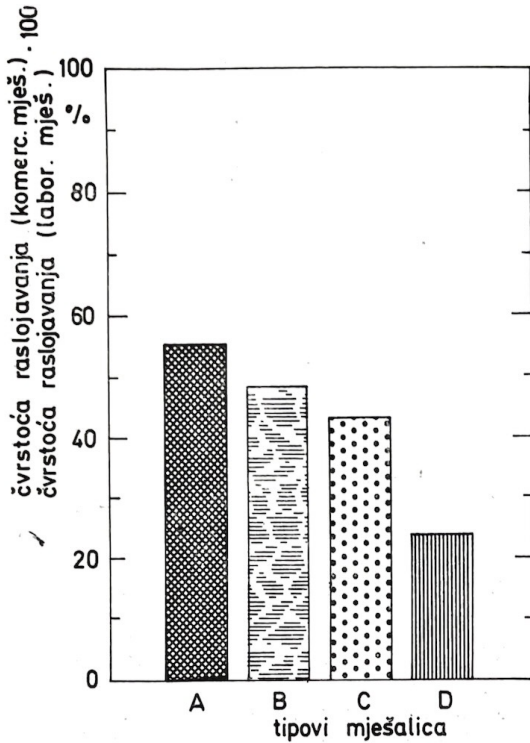
A) Miješalice u seriji za miješanje iverja u frakcijama. Krupno iverje se miješa u prvoj, a fino i već miješano iverje u drugoj miješalici.

B i D) Miješalice sa sapnicama za prskanje ljepila i lopatice koje imaju različite oblike:

B — četverokutne, D — okruglog oblika

C) Novi tip miješalice s više kombinacija lopatica i sapnica uz primjenu centrifugalnog miješanja iverja s ljepilom [11].

Fig. 10 — Types of commercial chips mixing apparatus and resins in particle board manufacture

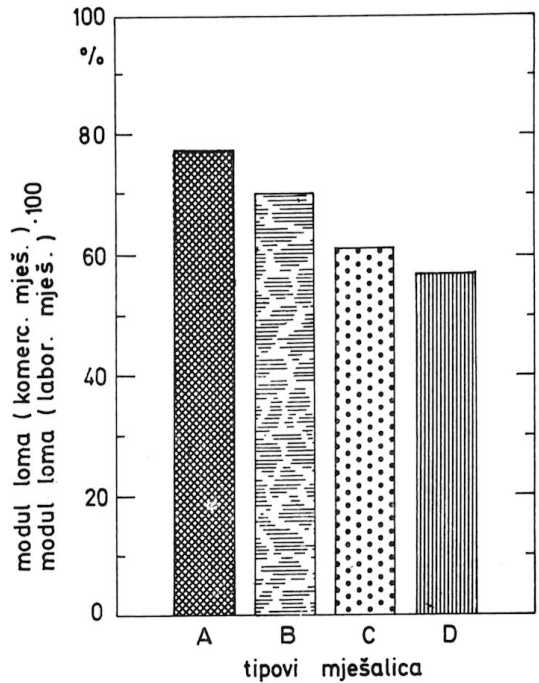


Slika 11 — Odnos tipa miješalica i efikasnosti oblijepljivanja koja je utvrđena pomoću čvrstoće raslojavanja. Laboratorijski izrađena ploča ima iznos 100%.

Figure 11 — Relation between the type of mixer and effectiveness of bonding established by delamination resistance. Laboratory made board shows the amount 100%.

Ta razlika nije zbog raspodjele ljepila po frakcijama iverja nego zbog toga što je neko iverje primilo potrebnu količinu ljepila u toku miješanja, a neko uopće nije. Raspršivanje ljepila na krupnije iverje veće je 7 — 8 puta nego kod sitnog iverja. Udio sitnog iverja obično je oko 33% od ukupne količine iverja u ploči [11].

Kod komercijalnih vrsta miješalica četiri osnovna tipa se susreću u proizvodnji, tip A, B, C, D. (sl. 10). I. B. Wilson i M. D. Hill [11] uspoređivali su ploče izrađene od istog materijala u laboratoriju i industrijskog proizvodnji. Na iverje je nanoseno ljepilo u četiri navedena tipa miješalice, i iz njega su u laboratoriju izrađene ploče zasebno za svaki tip miješalice. Nakon određivanja stvarne količine ljepila koje je nanoseno na iverje, utvrđeno je da iverje koje je miješano u laboratoriju ima zadovoljavajuću količinu ljepila. Iverje iz komercijalnih miješalica imalo je mnogo manje ljepila u odnosu na laboratorijsko. Nakon ispitivanja svojstava izrađenih ploča, iz iverja koje je miješano u laboratoriju i na četiri tipa mješa-



Slika 12 — Odnos tipa miješalice i efikasnost oblijepljivanja koja je utvrđena pomoću modula loma. Laboratorijski izrađena ploča ima iznos 100%.

Figure 12 — Relation between the type of mixer and effectiveness of bonding established by rupture module. Laboratory made board shows the amount 100%.

lica, utvrđena je razlika vrijednosti svojstava, kao što se vidi na slikama 11. i 12.

Raspodjela ljepila po iverju u miješalici A slična je kao kod laboratorijske miješalice, što se može zaključiti iz slike 11. i 12.

U tablici I uspoređena je raspodjela ljepila na miješano iverje kod komercijalnih i laboratorijskih miješalica.

Rezultati istraživanja I. B. Wilsona i M. D. Hilla [11] pokazuju da su kod proizvodnje iverica kombinirane miješalice (tip A i C) najefikasnije u raspršivanju ljepila po iverju. Miješalice koje su serijski spojene daju bolje mogućnosti raspodjele ljepila na iverju po frakciji, tako da povećavaju broj oblijepljenog iverja. Miješalice koje su paralelno spojene raspodijele iverje po frakcijama i tako omogućuju raspršivanje ljepila na iverje svih frakcija. Naprijed opisani tipovi miješalica već se proizvode i primjenjuju u nekim tvornicama u Evropi [11]. Također je proizveden i automatski sistem za kontrolu rada miješalice (sl. 13) koji omogućuje praćenje kvalitete miješanja i tako osigurava bolje oblijepljivanje.

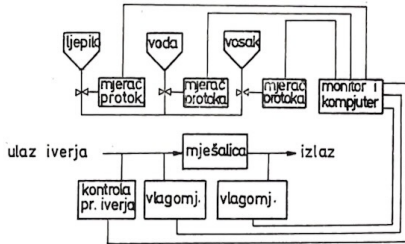
KOMPARACIJA PODATAKA RASPODJELE LJEPILA NA IVERJU
KOD KOMERCIJALNIH I LABORATORIJSKIH MIJESALICA [11].

Tablica I

COMPARISON OF RESIN DISTRIBUTION DETAILS ON CHIPS
IN COMMERCIAL AND LABORATORY MIXERS [11].

Table I

Tip mješalice	Sito br.	Komerzijalne mješalice			Laboratorijske mješalice		
		udio iverja %	masa ljepila %	sadržaj ljepila %	udio iverja %	masa ljepila %	sadržaj ljepila %
A	4	0,35	0,11	2,8	0,20	0,04	1,80
	10	30,06	19,38	5,8	26,04	18,90	6,40
	16	27,47	26,71	8,6	30,22	23,27	6,80
	32	21,87	23,85	9,6	27,11	34,78	11,30
	60	12,98	15,38	10,4	12,72	16,06	11,10
	100	4,59	8,74	16,8	2,59	4,86	16,5
	- 100	2,68	5,83	19,1	1,12	2,09	16,4
		100,00	100,00		100,00	100,00	
C	4	0,20	0,07	2,6	0,45	0,13	2,2
	10	27,94	15,90	4,3	34,17	24,39	5,4
	16	27,95	23,26	6,2	28,33	24,90	6,6
	32	22,43	25,91	8,7	22,99	31,17	10,2
	60	13,50	17,74	9,9	10,87	13,78	9,5
	100	4,77	9,49	14,9	2,24	3,98	13,3
	- 100	3,21	7,63	17,8	0,95	1,65	13,0
		100,00	100,00		100,00	100,00	



Slika 13 — Shema automatskog sistema za kontrolu rada mješalice [11]

Figure 13 — Scheme of automatic system for control of mixer operation (11)

3. KOLIČINA LJEPILA KOJE JE STVARNO NANESENO NA IVERJE

Proces nanošenja ljepila na iverje (laboratorijski ili industrijski) osniva se na prskanju ljepila na iverje koje se u isto vrijeme miješa. Dosadašnjim istraživanjima utvrđeno je da iverje koje pada slobodnim padom u toku nanošenja prima različite količine ljepila s obzirom na površinu, odnosno veličinu tog iverja i brzinu pada, kako se to vidi iz grafikona na sl. 14.

Klauditz je istraživao matematičku i geometrijsku vezu između debljine i veličine iverja, površine iverja te raspršene količine ljepila. Slijedeća formula pokazuje njegovu hipotezu o tim odnosima:

$$A = \frac{0,2}{r \cdot d} \quad (1)$$

$$S = \frac{r \cdot d}{0,2} \cdot C \quad (2)$$

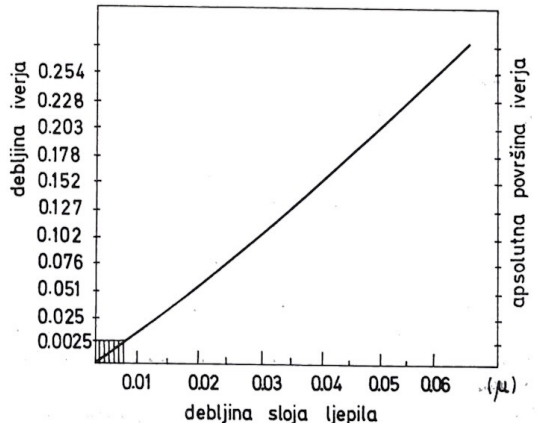
$$A \cdot S = C \quad (3a)$$

$$A \cdot S = \text{konstanta} \quad (3b)$$

$$D = \frac{L}{r \cdot d} \quad (4)$$

gdje je: A — površina iverja, $m^2/100 \text{ g}$; S — raspršena količina suhog ljepila, g/m^2 ; C — konzumirana količina ljepila, $g/100 \text{ g}$ apsolutno suhog iverja; r — gustoća drva, g/cm^3 ; d — debljina iverja, mm; D — stupanj vitkosti — L/d .

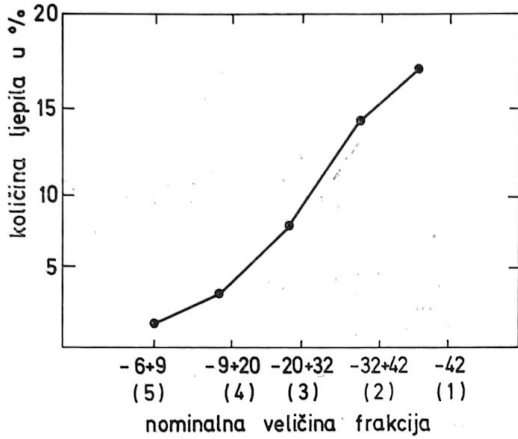
Zbog velike specifične površine, za površinski sloj ploče, odnosno fino iverje, potrebno je više ljepila nego za srednji sloj, odnosno veće iverje. Rezultati istraživanja pokazali su da od količine ljepila koje ulazi u proces proizvodnje ploča 30% fizički, a 20% funkcionalno ne sudjeluje u gotovom proizvodu. To se ispoljava na smanjenje vrijednosti svojstava gotovih ploča [2].



Slika 14 — Odnos veličine iverja i količine od 8% nanesenog ljepila [8]

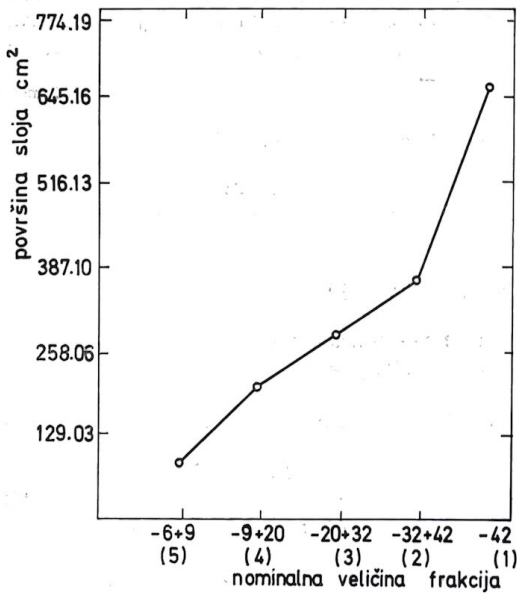
Figure 14 — Relation between the size of chips and quantity of 8% coated resin [8]

Ustanovljeno je da kod troslojne iverice, nakon nanošenja ljepila, količina ljepila varira od 16% kod fine frakcije do 20% kod krupne frakcije, kako se vidi iz slike 15 [7].



Slika 15 — Distribucija ljepila utvrđena je za pet frakcija metodom određivanja dušika [7]

Figure 15 — Resin distribution established for 5 fractions by the method of nitrogen determination [7]



Slika 16 — Površina slojeva pojedinih frakcija na osnovi uzorka od 1 grama

Figure 16 — Layer surface of individual fractions on the basis of 1 g sample

Količina ljepila koju je primila pojedina frakcija vezana je na površini iverja te frakcije, a što je prikazano na grafikonu na sl. 16. Veličina iverja po frakcijama za engleska i američki standardizirana sita prikazane su u tablici II.

NORMIRANA SITA
STANDARDIZED SIEVES.

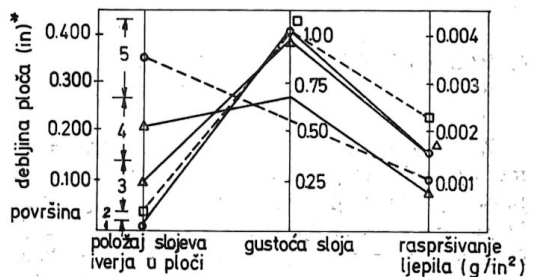
Tablica II
Table II

MREŽA DIN 1171							
Oznaka mreže i otvor između mašica u mm	mašice na cm ²	Engl. standard		Američ.		Finoća	
		IMM	standard	ASTM	Tyler		
1,5	4	16	-	12	14	-	grah
1,2	5	25	10	14	16	14	"
1,0	6	36	-	16	18	-	zrno
0,75	8	64	-	22	26	20	"
0,6	10	100	20	25	30	28	sred.zrno
0,5	12	144	-	30	35	-	" "
0,4	16	256	30	-	45	35	fino "
0,300	20	400	40	52	59	48	"
0,250	24	576	50	60	60	-	brašno
0,200	30	900	60	72	70	65	"
0,150	40	1600	90	100	100	100	"
0,120	50	2500	100	120	120	-	fino brašno
0,100	60	3600	120	150	140	150	" "
0,090	70	4900	150	170	170	-	" "
0,075	80	6400	160	200	200	200	puder
0,060	100	10000	200	-	230	-	"

Za krupno odnosno veće iverje, kod procesa raspršivanja ljepila potrebna je 2—3 puta veća količina ljepila nego za fino iverje, radi ostvarenja dobrog vezivanja kod prešanja [7]. Ti su odnosi prikazani na sl. 17.

T. F. Duncan [4] pronašao je u svom istraživanju utjecaja raspršivanja ljepila raznih frakcija iverja na kvalitetu ploča, metodu izračunavanja relativne površine i relativnog broja iverja, a na osnovi veličine mreže pojedinih frakcija i mase iverja u pojedinim frakcijama (sito):

$$\text{Relativni omjer raspršivanje ljepila} = \frac{\text{Totalna masa ljepila, \%}}{\text{Relativna površina, \%}}$$



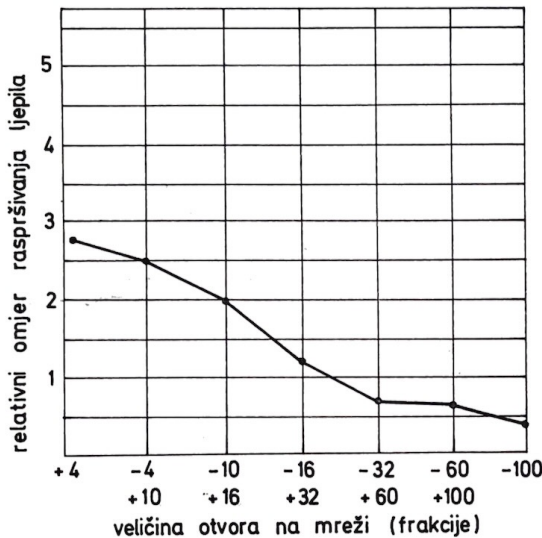
* 1 in = 25.4 mm

Slika 17 — Odnos veličine iverja, gustoće sloja i raspršivanja ljepila na jedinici površine, za tri različite višeslojne ploče [7].

Figure 17 — Relation of chips sizes, density of layer and resins spraying to surface unit for 3 different multilayer boards [7].

Primjenom formule T. F. Duncana, može se relativni omjer raspršivanja ljepila smatrati kao količina ljepila koja je nanosena na određenu površinu iverja [11]. Slika 18. pokazuje taj odnos koji je ustanovljen za komercijalne miješalice prema I. B. Wilsonu i M. D. Hillu.

Omjer raspršenog ljepila i iverja veći je za krupnije iverje i smanjuje se smanjenjem veličine iverja, što je očigledno protivno uvriježenom mišljenju da »fino iverje guta ljepilo« [11]. Ovo mišljenje također zastupa i T. Maloney da krupno iverje ima 2—4 puta više raspršenog ljepila više nego fino iverje, što daje optimalno vezivanje ploča [7].



Slika 18 — Odnos relativnog omjera raspršivanja ljepila i veličine iverja za komercijalne miješalice.

Figure 18 — Relation of relative portion of resin spraying and size of chips for commercials mixers.

4. RAZVOJ TEORIJE O NORMALNOJ RASPODJELI LJEPILA NA IVERJU

Za raspodjelu ljepila po iverju obično se nameće pitanje što je to »normalna raspodjela ljepila« u proizvodnji iverica. Smatra se da je nanošenje ljepila na iverje prskanjem operacija koja se izvodi nasumce. Uz pretpostavku da je to tako, a s obzirom na definiciju slučajnosti ili vjerojatnosti, za objašnjenje pojma »normalna raspodjela ljepila« iznosi se da je moguće očekivati jednoliku raspodjelu ljepila po iverju. U nastavku razmotrit će se nekoliko jednostavnih matematičkih izraza koji ilustriraju vjerojatnost za raspodjelu ljepila:

Definicija vjerojatnosti može se izraziti:

$$P = \frac{S}{N}$$

gdje je: P — vjerojatnost ($P < 1$); N — broj ukupnih kombinacija koje mogu postojati u jednom pokušaju ili operaciji; S — broj kombinacija koje se smatraju uspješnim za jedan pokus.

Vjerojatnost za jednoliku ili nejednoliku raspodjelu ljepila po iverju može se računati pomoću izraza [4]:

$$S = WPC_r \times RPC_r \quad (1)$$

gdje je: WPC_r — broj kombinacija drvnog iverja koji je uzet kod odnosa r; RPC_r — broj kombinacija kapljica ljepila koji je uzet kod odnosa r.

$$N = (WP + RP) \cdot C_R - WPC_r$$

gdje je: $(WP + RP) C_R$ = kombinirani broj drvnog iverja i kapljica ljepila koji je uzet kod odnosa R; R = u ovom slučaju jednaka sumi odnosa (r) za pojedine kombinacije iverja i ljepila.

Jednadžba kombinacija glasi:

$$C = \frac{n!}{(n-R \text{ ili } r)! R \text{ ili } r!}$$

gdje je: n — broj uzoraka

R ili r — odnos kod kojeg su uzorci izabrani
! — Faktoriijela

Jednadžba $P = S/N$ za vjerojatnost dobiva oblik:

$$P = \frac{WPC_r \times RPC_r}{(WP + RP) C_R - WPC_r} \quad (2)$$

U slijedećim primjerima obračunata je vjerojatnost raspodjele ljepila [1]. Uzeti su mali brojevi radi jednostavnosti, gdje se 10 komada iverja miješa s 10 kapljica ljepila. Vjerojatnost od 50% ili 100% nanošenja, npr. 2 kapljice na iverju ili 1 kapljica na iverju:

$$50\% \text{ nanošenja } P = \frac{10C_1 \times 10C_2}{20C_3 - 10C_3} = 0,44$$

$$100\% \text{ nanošenja } P = \frac{10C_1 \times 10C_1}{20C_2 - 10C_2} = 0,69$$

Za istu količinu iverja (10 ivera) s dvostrukom količinom ljepila, npr. 10 ivera i 20 kapljica, vjerojatnost jednolike raspodjele (nanosa) ljepila od 1 do 2 kapljice po iveru jest:

1 kapljica/iveru (50% nanošenja)

$$P = \frac{10C_1 \times 20C_1}{30C_2 - 10C_2} = \frac{200}{390} = 0,51$$

2 kapljice/iveru (100% nanošenja)

$$P = \frac{10C_1 \times 20C_1}{30C_3 - 10C_3} = \frac{1900}{3940} = 0,48$$

Ove su vjerojatnosti raspodjele ljepila vrlo pojednostavljene. One pokazuju da je pojava mijesanja iverja i ljepila nasumce, kao što je to vjerovatno i kod proizvodnje ivernica. Ipak se uočava tendencija jednolike raspodjele ljepila bez obzira na količinu. Ako je raspodjela ljepila jednolika, to znači da mora biti mjerljiv odnos između iverja i ljepila koji pokazuje tu raspodjelu.

Podaci koji se mogu odrediti odnose se na: broj iverja, analizu frakcija iverja pomoću sita i određivanje količine ljepila pomoću Kjeldahl metode za određivanje dušika.

Tipična analiza frakcija pomoću sita osigurava mjerenje volumena iverja. Analizom frakcija dobiju se volumeni i masa iverja. Masa pojedinog volumena približno je ista bez obzira na veličinu iverja, dakle korištenje mase ili volumena izmjenično kod analize frakcija u % dat će iste rezultate. Upotreba volumena za analizu frakcija češće se primjenjuje, jer ujedno daje i tipove dimenzije iverja.

S obzirom da se količina ljepila po frakcijama može također određivati i prikazati kao % od ukupne količine ljepila, jednostavna korelacija količine ljepila po frakciji dat će podatak omjera (odnosa) te raspodjele. Ako postoji omjer, onda se on može prikazati linearnom regresijom.

T. F. D u n c a n je u svom radu [4] utvrdio da postoji stvarni omjer između iverja pojedinih frakcija i cjelokupno upotrijebljene količine ljepila. Taj je omjer statistički signifikantan. Omjer raspodjele ljepila i frakcija pokazuje da udio i veličina iverja imaju više nego uzročan efekt na raspodjelu ljepila [4].

Kod analize iverja pomoću sita, postotak frakcija može se izraziti masenim i volumnim odnosom:

$$\% \text{ Frakcije sita} = \frac{\text{masa frakcije}}{\text{totalna masa uzorka}}$$

Ovaj se odnos može prikazati i da se % frakcije sita označi s (SAF):

% Frakcije sita (SAF)

$$\frac{\Sigma (\text{masa iverja} / \text{po jedinici volumena})}{\Sigma \Sigma (\text{masa iverja} / \text{po jedinici volumena})}$$

Ako se upotrijebi oznaka F_{vQ} da definiramo volumen iverja koje daje pojedino sito, onda slijedeći odnos pokazuje totalni volumen iverja na određenom situ:

$$F_{vQ} = \text{Broj iverja (NP)} \cdot \text{Volumen iverja (P}_v)$$

S obzirom da nema točnog načina za mjerenje ni broja iverja niti volumena, termini će se odnositi na relativni broj (RNP) i relativni volumen (RP_v) iverja. Jednadžba za relativni broj iverja onda glasi:

$$RNP = \frac{F_{vQ}}{RP_v} = F_{vQ} \times \frac{1}{RP_v}$$

Supstitucijom % SA_f za sito za F_{vQ} kao relativne mjere za volumen iverja koje sadrži to sito u odnosu na cijeli uzorak, dobiva se:

$$RNP = \% SA_f \times \frac{1}{RP_v} \quad (3)$$

Za određivanje volumena ivera potrebne su tri dimenzije (debljina, širina i dužina). Čim se mogu procijeniti dvije iz analize frakcije pomoću sita, faktor relativnog volumena iverja (RP_{vp}) pojedinih sita uzima se kao mjerilo volumena iverja. Ti faktori se dobiju iz odnosa između pojedinih veličina sita upotrijebljenih u analizi kako slijedi:

$$RP_{vQ} = \frac{MQ}{Mc} \quad (4)$$

gdje je: RP_{vp} = relativni volumen iverja u traženom situ; M_Q = veličina mreže u kojoj je zadržano iverje; Mc = najveća mreža koja je uključena u analizu.

Supstitucijom ove vrijednosti za RP_{vQ} u jednadžbu (3), vrijednosti za relativni broj iverja pojedinih frakcija (sita) iznose:

$$RNP = \% SA_f \cdot \frac{Mc}{M_Q} \quad (5)$$

Površina iverja pojedinih frakcija sita može se izraziti:

$TA_{vQ} = F_{vQ} \cdot \text{površina} / \text{jedinica volumena}$, za određeno sito, imat će oznaku Av_Q . (6)

Pravokutni oblik uzima se kao geometrijski oblik kod većine iverja. Površina pravokutnika može se napisati

$$A = 2 [xy + xz + zy].$$

Dvije dimenzije od tri potrebne za gornju jednadžbu mogu se dobiti u analizi frakcija iverja pomoću sita, ako je iverje zadržano na određenom situ koje ima dvije veličine finije nego iverje na prijašnjem situ (M_1) i dvije dimenzije krupnije nego ono koje je zadržano na situ M_2 . Dakle, bolji prijedlog za mjerenje tih dviju dimenzija: znači da su jedne jednake M_2 , a druge jednoj polovini sume dvaju sita npr. $M_1 + M_2/2$.

Ako se za jedinicu volumena uzme relativni volumen iverja RP_{vQ} , a volumen pravokutnika je $V = X \cdot Y \cdot Z$, onda se može odrediti treća dimenzija potrebna za određivanje jedinice površine pravokutnika:

$$X = M_2; Y = \frac{M_1 + M_2}{2};$$

volumen = $X \cdot Y \cdot Z = RP_{vQ}$, odnosno supstitucijom:

$$Z = \frac{2RP_{vQ}}{M_2 (M_1 + M_2)}$$

Supstitucijom vrijednosti za X , Y i Z u formuli za pravokutni oblik jedinica površine je:

$$A = 2 \frac{M_2 (M_1 + M_2)}{2} +$$

$$+ \frac{RP_{vQ} (3M_2 + M_1)}{M_2 (M_1 + M_2)}$$

a površina po jedinici volumena Av_Q iznosi:

$$Av_Q \frac{M_2 (M_1 + M_2)}{RP_{vQ}} +$$

$$+ \frac{2M_1 + 6M_2}{M_2 (M_1 + M_2)}$$

Iz jednadžbe (4), $RP_{vQ} = M_Q/Mc$, i M_Q koji je za svaku frakciju jednak otvoru mreže (M_2), u kojoj je iverje zadržano, slijedi:

Površina po jedinici volumena $Av_Q = (M_1 + M_Q)$

$$\frac{2M_1 + 6M_Q}{M_Q (M_1 + M_Q)}$$

Supstitucijom $\% SA_f$ za F_{vQ} u jednadžbi (6) za površinu frakcije TF_{AQ} postaje:

$$TF_{AQ} = \% SA_f \times Av_Q \quad (7)$$

T. F. Duncan je u svom radu izveo eksperiment kojim je dokazao važnost odnosa veličine iverja i količine nanesenog ljepila o čemu ovisi kvaliteta ploče [4]. Kod komercijalnih miješalica treba se pridržavati zadanog optimalnog punjenja mješalice, jer povećanje količine iverja od 112,13 — 144,17 kg/cm³ stvara oko 20% gubitka ljepila.

5. UTJECAJ LJEPILA I NJEGOVE RASPODJELE NA SVOJSTVA PLOČA

Efikasna količina ljepila koja se troši kod proizvodnje iverica je ona »minimalna količina ljepila na iverju koja daje optimalna fizička svojstva prešane ploče« [6]. Količina ljepila koja se upotrebljava u proizvodnji iverica izražava se na dva načina, kao:

- postotak suhe tvari ljepila u odnosu na masu standardno suhog iverja,
- količina suhe supstancije ljepila (u gramima) utrošena po jedinici (brzina protoka).

Smatra se da je drugi način [6] izražavanja količine ljepila u ploči pogodniji, jer se uzima u obzir površina iverja. Međutim, prvi način je više prihvaćen u proizvodnji iverica radi jednostavnosti. U svakom slučaju jedan način određivanja ljepila može se pretvoriti u drugi primjenjujući slijedeći odnos:

$$A \cdot S = C \quad (8)$$

gdje je: A površina iverja u m²/g standardno suhog iverja; S je suha supstancija ljepila za raspršivanje u g/m² jedinice površine iverja; C je potrošnja ljepila u g/100 g standardno suhog iverja. U većini slučajeva količina suhe supstancije ljepila kod karbamidnog ljepila varira između 10 — 12, odnosno 5 — 9%, a za fenolna ljepila je 6 — 8%, odnosno 3 — 6% [10].

Ako se kod proizvodnje troslojnih iverica označi prosječni sadržaj ljepila s R_r , a sadržaj ljepila u srednjem sloju s R_c , a u vanjskom sloju R_f , onda se može napisati slijedeći odnos:

$$R_r = \frac{R_c q_c (t - 2s) + R_f q_f \cdot 2s}{q_c (t - 2s) + q_f \cdot 2s}$$

gdje je: q_c i q_f odnos gustoće srednjeg i vanjskog sloja; t — debljina ploče; s — je debljina površinskog sloja. Ova formula se može primijeniti i za višeslojne ploče.

Za troslojne iverice ona se može napisati kako slijedi:

$$R_r q_r = R_c q_c (1 - \lambda) + R_t q_t \cdot \lambda \quad (10)$$

gdje je: $\lambda = 2s/t$ odnos količine iverja za vanjski i unutrašnji sloj; q_s je prosječna gustoća ploča koju predstavlja izraz

$$q_r = \frac{q_c (t - 2s) + q_t \cdot 2s}{t} \quad (11)$$

a formula 3 dobiva slijedeći oblik:

$$R_r = \frac{R_c}{1 + m} + \frac{m R_c}{1 + m} \quad (12)$$

gdje je

$$m = \frac{\lambda q_t}{(1 - \lambda) q_c}$$

m je odnos gustoće, a q_t udio vanjskog sloja i $(1 - \lambda) q_c$ je masa srednjeg sloja.

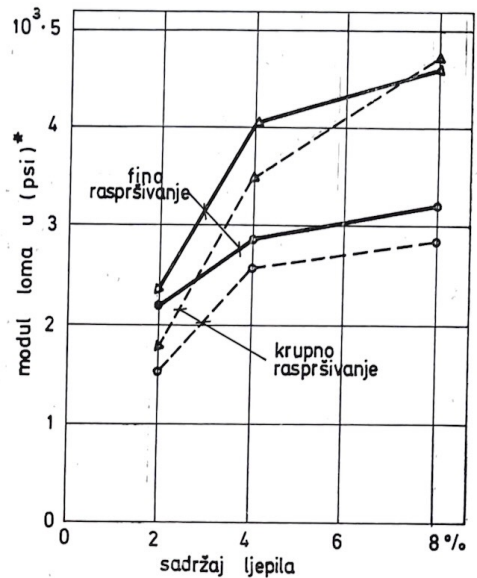
Kad se uzme u obzir odnos zgušćivanja $C = q_t / q_c$ i odnos ljepila $R = R_t / R_c$, onda se rezultanta sadržaja ljepila može izračunati pomoću slijedeće formule:

$$R_r = R_c \frac{1 + (CR - 1)}{1 + (C - 1)} \quad (13)$$

G. G. Marra (1960) je objavio da ljepilo treba nanositi samo na one dijelove iverja koji će doći u kontakt s drugim iverjem. Time operacija nanošenja ljepila postaje ekonomična i efikasna. Postoje dvije teorije o načinu nanošenja ljepila na iverje; J. E. Mariani i F. F. Kollmann (1957) predložili su da ljepilo treba prenositi na iverje u obliku kontinuiranog filma. Alternativna metoda koju su predložili W. Klauditz i G. G. Marra (1958) jest da se ljepilo prenosi u obliku sitnih kapljica na iverje tako da jednako pokriju površine pojedinih ivera ljepilom.

Kasnije su W. Klauditz, H. J. Ulbrich i E. Meinecke (1960) utvrdili da je praktičnije, ekonomičnije i efikasnije nanošenje ljepila na iverje štrcanjem malih kapljica. W. F. Lehman [6] dokazao je da su svojstva ploče usko vezana za stupanj disperzije ljepila i još više za njegovu raspodjelu u toku procesa obljepljivanja. Ploče proizvedene od iverja na koje je ljepilo nanošeno finim štrcanjem imaju bolja svojstva, posebno čvrstoću na savijanje i modul elastičnosti, nego one ploče na koje je ljepilo nanošeno štrcanjem

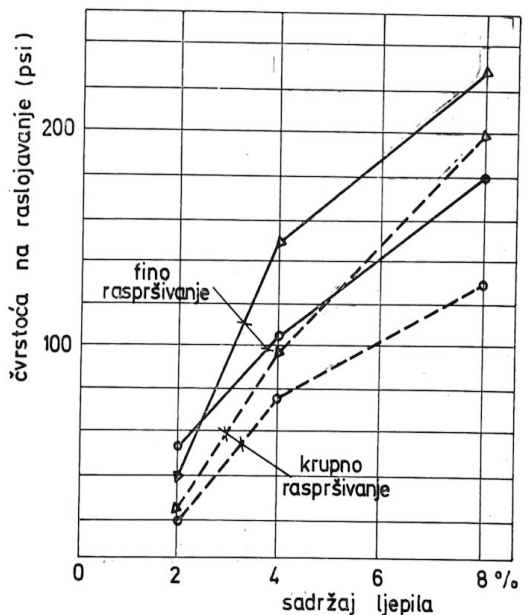
grubih kapljica. Sasvim je sigurno da na sva svojstva iverice signifikatno utječu tri primarne varijable kod njihove proizvodnje:



* faktor pretvaranja (psi) u (kg/cm²) jest 0.0703

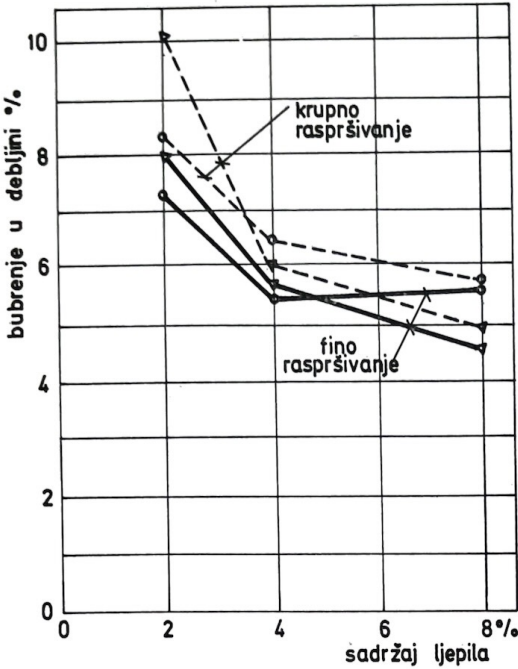
Slika 19 — Utjecaj gustoće, sadržaja ljepila i atomizacije ljepila na modul loma [6].

Figure 19 — Influence of density, resin content and atomization of resin on rupture module [6].

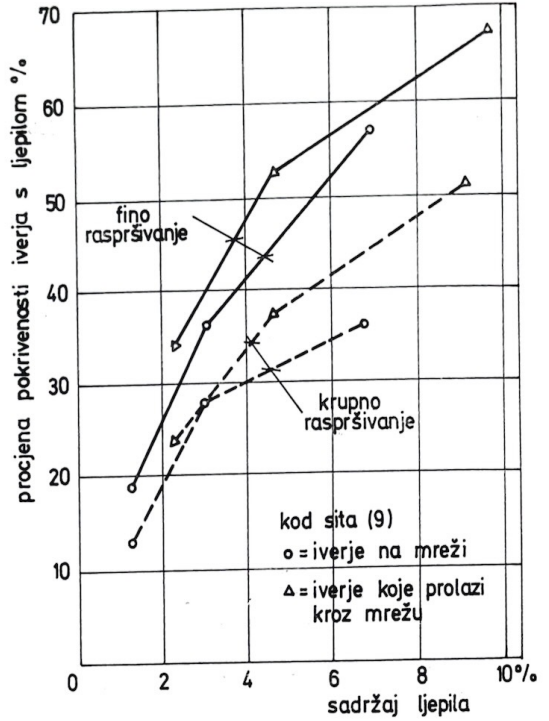


Slika 20 — Utjecaj gustoće, sadržaja ljepila i atomizacije ljepila na čvrstoću raslojavanja [6].

Figure 20 — Influence of density, resin content and atomization of resin on delamination resistance [6].

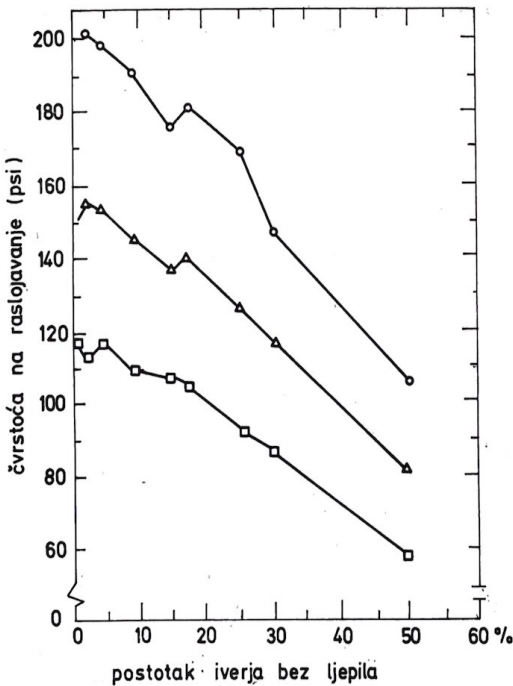


Slika 22 — Utjecaj sadržaja ljepljiva i njegove atomizacije na postotak pokrivenosti površine iverja u % [6].
 Figure 22 — Influence of resin content and its atomization on percentage of chips covered area in % [6]

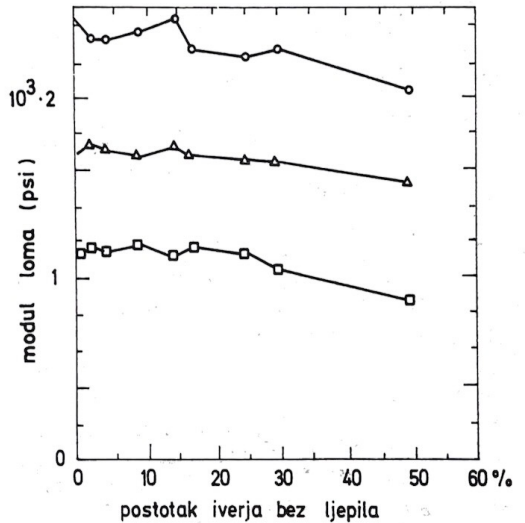


Slika 21 — Utjecaj gustoće, sadržaja ljepljiva i atomizacije ljepljiva na bubrenje nakon više dana [6].

Figure 21. — Influence of density, resin content and atomization of resin on several days welling [6]



Slika 23 — Odnos čvrstoće raslojavanja ploče i količine iverja bez ljepljiva u %. (M. D. Hill i J. B. Willson)
 Figure 23 — Relation between delamination resistance of board and the quantity of chips without resin in % (M. D. Hill and J. B. Willson)

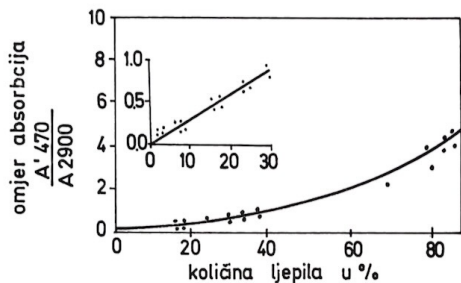


Slika 24 — Odnos modula loma ploče i količine iverja bez ljepljiva u %. (Hill i Willson)

Figure 24 — Relation between rupture module of board and quantity of chips without resin in %. (Hill and Willson)

a) atomizacija (raspršivanje) ljepila, b) sadržaj ljepila i c) gustoća ploče i interakcija sa sadržajem ljepila.

Grafički prikazi na sl. 19, 20, 21, 22. pokazuju utjecaj količine ljepila i atomizacije ljepila na svojstva ploče. M. D. Hill i J. B. Wilson (1978) ispitali su utjecaj količine iverja koje ne sadrži ljepilo na svojstva ploče. Taj utjecaj je vrlo velik, kako se vidi iz grafikona na sl. 23. i 24.



Slika 25. — Kalibrirana krivulja za fenolformaldehidna ljepila kod iverja od topole [10].

Figure 25 — Calibrated curve for phenolformaldehyde resins for poplar chips [10].

6. ISPITIVANJE IVERICA U INSTITUTU ZA DRVO U ZAGREBU

U Laboratoriju Instituta za drvo u Zagrebu, kod ispitivanja mogućnosti proizvodnje laboratorijskih ploča iverica s raznim ljepilima, ustanovljeno je da na kvalitetu iverica značajno utječu način i metode nanošenja ljepila na iverje. Prilikom sastavljanja plana pokusa za izradu ploča, vrše se izmjere za one faktore koje su od značenja za gotove ploče. Nakon izrade ploče, uvijek se uočavalo signifikantan utjecaj tih faktora na kvalitetu ploča. Ustanovljeno je da se kontrolom miješanja iverja i ljepila dobivaju visokokvalitetne ploče. U Institutu za drvo kao i drugim institutima u svijetu (1956 — 1979. godine) problematici obljepljivanja, odnosno nanošenja ljepila na iverje, poklanja se velika pažnja. Rezultati takvih istraživanja korisne su informacije u proizvodnji i tehnologiji miješalica (iverje i ljepilo), a služe i proizvođačima iverica radi postizanja boljih rezultata u proizvodnji kvalitetnih iverica, uz što manji gubitak ljepila. Transfer novih spoznaja i rezultata još uvijek se ne primjenjuje dovoljno kod ovog relativno novog proizvoda od kojeg se mnogo očekuje.

ZAKLJUČAK

1. Utrošak ljepila važna je stavka u proizvodnji ploča na bazi drva i lignoceluloznih materijala, koji može osjetno poskupiti proizvodnju i signifi-

katno utjecati na kvalitetu proizvoda. Zbog toga treba kontrolirati slijedeće faktore: a) minimalni mogući postotak suhe supstancije ljepila koji se može upotrijebiti; b) osobine ljepila (viskozitet i slično); c) način nanošenja ljepila (laboratorijski, industrijski) miješalicama određenih karakteristika i efikasnosti.

2. Krupno iverje treba miješati posebno kao i fino iverje, radi boljeg nanošenja ljepila i fine raspodjele tih kapljica na površini pojedinih iverja.

3. Kod laboratorijskog miješanja i industrijskog miješanja ne smije se u bubnju, odnosno miješalici, miješati s punim kapacitetom, jer veće iskorištenje od 80% onemogućava bolju raspodjelu miješanja ljepila i iverja, što osjetno utječe na svojstva ploče.

4. Vrlo je korisno barem jednom za svaku proizvodnju izračunati normalnu raspodjelu ljepila po iverju.

5. Vrlo je važno i korisno kontrolirati količinu ljepila na iverju nakon miješanja. Takva kontrola, osim što je vrlo dobar pokazatelj efikasnosti miješalica, daje informacije koje omogućuju reguliranje utroška ljepila, a time smanjuju gubitak ljepila i, naravno, porast potrošnje i proizvodnje pojedinih proizvoda.

6. Raspodjela ljepila ima velik utjecaj na kvalitetu ploča, a posebno na čvrstoću raslojavanja (adhezija, kohezija), bubrenje i čvrstoću na savijanje. Jednaka raspodjela ljepila garantira bolja svojstva i jednako naprezanje po cijeloj ploči, što je vrlo bitan faktor kod svih materijala.

7. Uz redovnu kontrolu kvalitete ploča, koja se vrši za fizičko-mehanička svojstva proizvoda, korisno je i redovno ispitivati količinu i raspodjelu ljepila unutar gotovog proizvoda.

Određivanje stvarnih količina ljepila u ivericama i sličnim pločama kao gotovim proizvodima bit će obrađeno u posebnom radu.

NAPOMENA: U grafikonima koji su preuzeti iz radova američkih istraživača ostavljene su jedinice prema originalu.

LITERATURA

- [1] CAROL, MURRAY: Efficiency of Urea — and Pheno-formaldehyde in Particleboard. Forest Product Journal (1963), No. 3 (113—120).
- [2] CARROL, MURRAY and McVEY DOUGLAS: An analysis of Resin Efficiency in Particleboard, Forest Products Journal (1962) No. 7, (305—310).
- [3] DEPPE, HANS — JOACHIM: Developments in the Production of Multi-Layer Foamed Wood Particleboard. Forest Product Journal (1969), No. 7, (27-33).
- [4] DUNCAN, THOMAS F.: Normal Resin Distribution in Particleboard Manufacture. Forest Products Journal (1974), No. 6, (36—44).
- [5] JORGENSEN, RICHARD N. and MURPHEY WAYNE K.: Particle Geometry and Resin Spread. It's Effect on Thickness

- and Distribution of Glue-line in Oak Flakboard. Forest Products Journal (1961), No. 12, (582-584).
- [6] LEHMAN, WILLIAM F. Resin Efficiency in Particleboard as Influenced by Density, Atomization, and Resin Content. Forest Product Journal (1970), No. 11, (48-54).
- [7] MALONEY, T. M.: Resin Distribution in Layered Particleboard. Forest Product Journal (1970), No. 1, (43-52).
- [8] MARIAN, J. E.: Adhesive and Adhesive Problems in Particleboard Production. Forest Products Journal (1958), No. 6, (172-176).
- [9] MARIAN, J. E. and SUCHSLAND, K.: Experimental Investigation of Gluing and Finishing Problems through Application of fluorescence Microscopy in Incident light. Forest Products Journal (1957), No. 2, (74-77).
- [10] MOSLEMI, A. A.: PARTICLEBOARD: Volume 1: Materials, Volume 2: Technology. Southern Illinois University Presse Carbondale and Edwardsville, Feffer & Simons, Inc. London and Amsterdam.
- [11] WILSON, JAMES B., HILL MICHAEL D.: Resin Efficiency of Commercial Blenders for Particleboard Manufacture. Forest Products Journal (1978), No. 2, (49-54).

Recenzent:

mr S. Petrović