

# Vrijeme lijepljenja furnira kao funkcija dinamike promjene temperature u sljubnicama

Dr. Murat Backović, viši znanstveni suradnik  
»ŠIPAD« Sarajevo; docent Mašinskog  
fakulteta Sarajevo

DK 634.0.824.8.634.0.832.2

Primljeno: 28. 02. 1980.

Znanstveni rad

Prihvaćeno: 22. 04. 1980.

## S a ž e t a k

U radu su istraženi utjecajni faktori na vrijeme lijepljenja furnira s težištem na utjecaj dinamike promjene temperature u sljubnicama.

Utvrđeno je da odlučujući utjecaj na vrijeme lijepljenja nema temperatura ploča preše u kojoj se vrši lijepljenje, već dinamika porasta temperature u sljubnicama, koja, pored o temperaturi ploča preše, bitno zavisi od debljine furnira. U vezi s tim konstatirano je da je otvrdnjivanje ljepila u sljubnici, pri jednakoj temperaturi ploča preše, brže ako je porast temperature u sljubnici intenzivniji i da ljepilo otvrdnjava na većoj temperaturi, odnosno da ljepilo otvrdnjava za duže vrijeme pri nižoj temperaturi, ako je porast temperature u sljubnici sporiji.

Utvrđeni su koeficijenti temperaturske vodljivosti pri lijepljenju furnira na troslojnu ploču ivericu ( $a_x = 2,38 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{h}$ ), na stolarsku ploču ( $a_x = 5,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{h}$ ). Istražen je utjecaj debljine ploče na temperaturni tok u sljubnicama i konstatirano da se, pri lijepljenju furnira na ploče iverice debljine 16 mm i više, s obzirom na temperaturu ploča preše i vrijeme lijepljenja, proces zagrijavanja može posmatrati kao jednostran. U vezi s tim dokazano je da se, rješenjem osnovne diferencijalne jednačbe za temperaturni tok, pomoću Laplaceove transformacije dobije relativno jednostavna jednačba za proračun temperaturnog toka.

Na kraju je istražen moment početka gubitka sposobnosti kvašenja i vrijeme otvrdnjavanja ljepila u sljubnicama u zavisnosti od intenziteta porasta temperature u sljubnicama.

Ključne riječi: Vrijeme otvrdnjavanja ljepila — kemijsko fizikalne promjene u sljubnicama — vrijeme gubitka sposobnosti kvašenja ljepila — temperaturni tok u sljubnicama — dinamika promjene temperature u sljubnicama — koeficijent temperaturne provodljivosti.

## GLUING TIME OF VENEERS AS FUNCTION OF THE TEMPERATURE CHANGE INTENSITY IN THE JOINTS

### Summary

The article deals with the influential factors on the gluing time of veneer with the emphasis on the intensity of temperature changes in the joints.

As established, the press plates temperature where the gluing is done, has no deciding influence on the time of gluing, but the intensity of the temperature rise in the joints which beside the press plates temperature depends essentially on the thickness of veneer.

In this respect it has been found out that hardening of glue in the joints at the constant press plates temperature is faster if the temperature rise in the joints is more intense and that the glue hardens on a higher temperature, in other words, the glue hardens longer at the lower temperature if the temperature rise in the joint is slower.

The coefficients of temperature conductivity have been determined when gluing veneer on three-layer chipboard ( $a_x = 2,38 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{h}$ ) on the joiner's board ( $a_x = 5,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{h}$ ). The influence of the board thickness on the temperature flow in the joint has been examined and it has been established that by gluing veneer on the chipboard thickness 16 mm and up, with regard to the press plates temperature and gluing time, the process of warming up can be considered as one-sided. In connection with this it has been proved that by solving essential differential equation for the temperature flow by means of Laplace transform, the comparatively simple equation for calculation of the temperature flow has been obtained.

Finally, investigations have been carried out on a starting moment for the loss of capacity of moistening and the time of glue hardening, depending on intensity of the temperature rise in the joints.

Key words: time of glue hardening — chemical and physical changes in joints — time of the loss of capacity of glue moistening — temperature flow in the joints — intensity of temperature changes in the joints — coefficient of temperature conductivity

## UVOD

Otvrdnjivanje termoreaktivnih ljepila, koja se u drvnjoj industriji masovno upotrebljavaju za lijepljenje slojevitih drvenih ploča (stolarske ploče i šperploče), lijepljenje ploča iz usitnjenog drva (iverice) i lijepljenje furnira na različite drvene podloge, nastaje kao rezultat kemijsko-fizikalnih procesa koji se u toku lijepljenja odvijaju u ljepilu. Za otvrdnjivanje ljepila, i pored polikondenzacije, neophodno je da se iz ljepila odstrani voda. Za brzo otvrdnjivanje i kvalitetno lijepljenje potrebno je da proces polikondenzacije i odstranjivanje vode teku paralelno. Za ubrzanje otvrdnjivanja, ljepilu se dodaju sredstva koja pospješuju proces polikondenzacije (različiti otvrdnjivači) i lijepljenje teče uz povećane temperature. Povećana temperatura, pored ubrzanja procesa polikondenzacije, ubrzo odstranjivanje vode iz ljepila i time utječe na vrijeme otvrdnjivanja i kvalitet lijepljenja. Vrijeme lijepljenja zavisi od reaktivne sposobnosti ljepila i količine dodatka otvrdnjivača i parametara tehnološkog režima uz koje se vrši lijepljenje. Prema tome, više faktora utječe na proces, vrijeme i kvalitet lijepljenja, a među njima je, sasvim sigurno, najvažniji tok kemijsko-fizikalnih promjena ljepila (polikondenzacija i odstranjivanje vode iz ljepila) u sljubnicama. Praćenje tog procesa je otežano zbog složenosti i zatvorenosti sljubnice u kojoj se proces dešava. Za razliku od nekih dosadašnjih radova, u kojima se pri određivanju vremena lijepljenja polazi od vremena otvrdnjivanja ljepila na konstantnoj temperaturi, u ovom radu se opisuju istraživanja vremena lijepljenja u zavisnosti od dinamike fizikalno-kemijskih promjena ljepila u sljubnicama, koje su u direktnoj zavisnosti od dinamike promjene temperature sljubnice.

## CILJ ISTRAŽIVANJA

Za određivanje racionalnih tehnoloških režima lijepljenja i maksimalno iskorišćenje mogućnosti koje pruža suvremena tehnološka oprema, neophodno je egzaktno poznavanje toka kemijsko-fizikalnih promjena u sljubnicama. Da bi se dao odgovor na to pitanje, što treba poslužiti kao osnova za određivanje vremena lijepljenja furnira različite debljine, vršena su slijedeća istraživanja:

- najkraćeg vremena otvrdnjivanja ljepila na konstantnoj temperaturi (različita količina dodatog otvrdnjivača);
- vremena otvrdnjivanja ljepila uz konstantnu količinu dodatog otvrdnjivača i različitu temperaturu;
- dinamike promjene temperature u sljubnicama u zavisnosti od temperature ploča preše i debljine furnira;

— kemijsko-fizikalnih promjena ljepila u sljubnicama u zavisnosti od debljine furnira i temperature ploča preše.

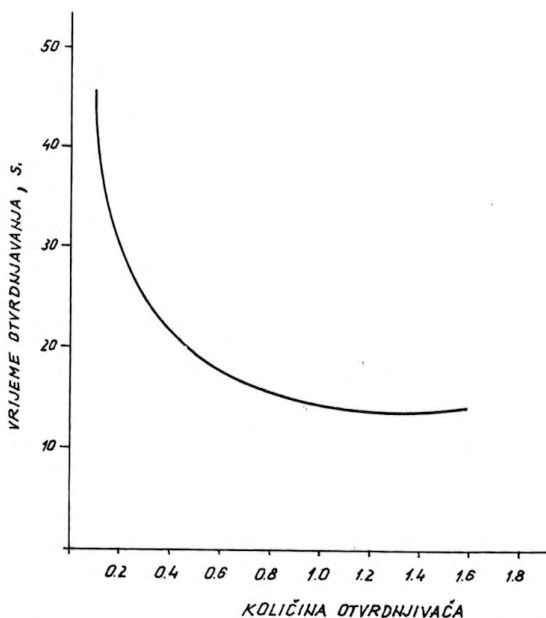
Sva navedena istraživanja vršena su s ciljem da se za ljepilo pripremljeno prema potrebi (željeno vrijeme otvrdnjivanja), povezivanjem dinamike kemijsko-fizikalnih promjena ljepila u sljubnicama s dinamikom temperaturnih promjena sljubnica, iznađu egzaktna vremena lijepljenja furnira, odnosno da se stvore uvjeti za bolje korišćenje suvremenom tehnološkom opremom i da se pri tome poboljša kvalitet lijepljenja.

## REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Presudan utjecajni faktor na vrijeme lijepljenja uz povećane temperature je reaktivnost ljepila. Ona zavisi od dva utjecajna faktora, i to:

- od količine dodatnog otvrdnjivača i
- dinamike promjene temperature u zoni sljubnice (temperatura ploča preše, te debljina i svojstva drva presudno utječu na dinamiku temperaturnih promjena u sljubnici).

Vrijeme otvrdnjivanja ljepila određeno je elektrokontaktnom metodom [2], a rezultati istraživanja u zavisnosti od količine dodatog otvrdnjivača prikazani su na slici 1.



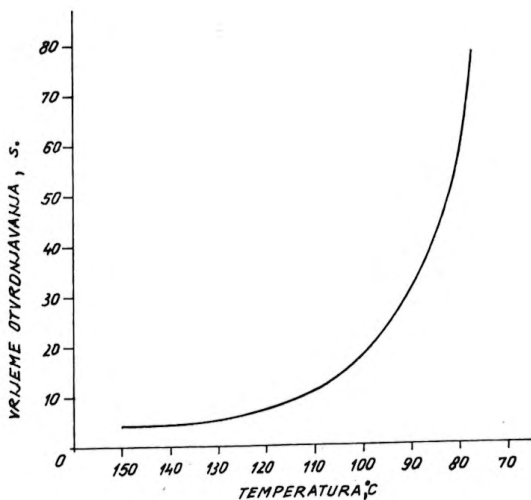
Slika 1. Utjecaj količine otvrdnjivača na vrijeme otvrdnjivanja

Kao što se vidi, količina dodatog otvrdnjivača bitno utječe na otvrdnjavanje ljepila do granice od oko 1,4% dodatog otvrdnjivača u suhom kristalnom stanju na sadržaj suhih materija u smoli. Dodatak veće količine otvrdnjivača ne re-

zultira daljim smanjenjem vremena otvrdnjivanja, već se otvrdnjivanje polako počinje usporavati. Karbamid formaldehidna ljepila otvrdnjivaju u kiseloj sredini pri PH vrijednosti 2,5 — 4,0. Otvrdnjivač koji je dodavan smoli  $\text{NH}_4\text{Cl}$  reagira sa slobodnim formaldehidom u smoli. Tom se prilikom izdvaja solna kiselina HCl koja smanjuje PH vrijednost smoli. Smanjenje PH vrijednosti teče sve dok u smoli ima slobodnog formaldehida i  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , koji se vežu izdvajajući kiselinu. Dodatak veće količine otvrdnjivača nego što u smoli ima slobodnog formaldehida ima za posljedicu postepeno povećanje vremena otvrdnjivanja, jer se ne izdvaja daljnja količina kiseline, a višak otvrdnjivača počinje bazično djelovati. Prema tome, za ispitivano karbamidformaldehidno ljepilo (ispitivanja su vršena s ljepilom proizvođača TAJ — GORAŽDE) dodatak od 1,2 — 1,4% otvrdnjivača ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) u kristalnom stanju daje najkraće vrijeme otvrdnjivanja.

Kao što je rečeno, temperatura ubrzava proces otvrdnjivanja ljepila jer ubrzava polikondenzaciju i vezivanje slobodnog formaldehida s otvrdnjivačem, odnosno ubrzava reakciju polikondenzacije i odstranjivanje vode iz ljepila.

Rezultati istraživanja utjecaja temperature na vrijeme otvrdnjivanja, uz konstantnu količinu otvrdnjivača za isto ljepilo i uz primjenu iste metode, prikazani su na slici 2.



Slika 2. Utjecaj temperature na vrijeme otvrdnjivanja

Kao što se vidi, ako postoje tehnološke potrebe, vrijeme otvrdnjivanja ljepila može se regulirati različitom količinom otvrdnjivača i temperaturom. Međutim, dok količina otvrdnjivača može biti fiksna i u skladu s potrebom, dotle temperatura u sljubnici nikada nije fiksna, već se u procesu lijepljenja mijenja sve dok postoji razlika temperature između grijaćeg tijela i sljub-

nice. To znači da se vrijeme otvrdnjivanja ljepila mora promatrati i određivati u vezi s dinamičkom porasta temperature u sljubnicama. Ovo zbog toga jer se, za cijelo vrijeme porasta temperature u sljubnici, u ljepilu događaju kemijsko-fizikalne promjene, koje rezultiraju napredovanjem procesa polikondenzacije i odstranjivanja vode.

Polazeći od pretpostavke da se porast temperature u sljubnicama drva i drvnih materijala pokorava općim zakonima vodljivosti topline, temperaturni tok u sljubnicama se može izračunati ovom jednadžbom:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{1}{c\varrho} \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_x \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_y \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda_z \frac{\partial t}{\partial z} \right) \right]$$

gdje je:

t = temperatura,

$\tau$  = vrijeme,

c = specifična toplina,

$\varrho$  = volumna masa (gustoća),

$\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$  = koeficijenti vodljivosti topline u pravcima x, y, z osi kordinatnog sistema, respektivno.

Uzimajući uvjetno da su koeficijenti vodljivosti topline konstantni i da ne zavise od promjene temperature drva i promjene agregatnog stanja vode u drvu i ljepilu, te s obzirom da među toplinskim karakteristikama postoji slijedeća zavisnost

$$a_x = \frac{\lambda_x}{c\varrho}; \quad a_y = \frac{\lambda_y}{c\varrho}; \quad a_z = \frac{\lambda_z}{c\varrho}$$

početna jednadžba dobija oblik

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a_x \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + a_y \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + a_z \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}$$

gdje su:

$a_x, a_y, a_z$  = koeficijenti termičke difuzije (temperaturne vodljivosti) u pravcima osi x, y, z respektivno.

Kod nestacionarnog provođenja topline kroz razne ploče, kod kojih je dužina i širina znatno veća od debljine, a zagrijavanje, odnosno hlađenje, se vrši preko površina normalnih na x-os (kao što je slučaj pri lijepljenju furnira, slojevitih ploča, ploča iz usitnjenog drva itd.), može se pretpostaviti da su temperature u pravcima y i z — os ravnomjerne. U tom slučaju je:

$$\frac{\partial t}{\partial z} = \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = \frac{\partial t}{\partial y} = \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = 0$$

pa u vezi s tim početna jednadžba postaje

$$\frac{dt}{d\tau} = a_x \frac{d^2 t}{dx^2}$$

rješenje ove jednadžbe zavisi od graničnih uslova. U slučaju simetričnog zagrijavanja sa obje strane, rješenje se može dobiti razdvajanjem promjenljivih. Pretpostavlja se da rješenje ima oblik produkta dvije funkcije, od kojih jedna zavisi samo od vremena  $\tau$ , a druga samo od položaja koordinate  $x$ , tj:

$$t = \psi(\tau) \varphi(x)$$

Rješenjem jednadžbe dobije se:

$$t = t_s + 4(t_0 - t_s) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{(2n-1)\pi} \left[ (2n-1)\pi \frac{x}{\delta} \right] e^{-[(2n-1)\pi]^2 \frac{a_x \tau}{\delta^2}}$$

gdje je:

$t$  — temperatura,

$t_0$  — početna temperatura drva,

$t_s$  — temperatura ploče preše u kojoj se vrši lijepljenje,

$x$  — udaljenost od sredine do promatrane točke u materijalu koji se zagrijava,

$\delta$  — debljina materijala koji se zagrijava,

$\tau$  — vrijeme grijanja,

$a_x$  — koeficijent temperaturne vodljivosti.

Navedenom jednadžbom mogu se izračunati temperature u bilo kojoj točki ploče, uz dvostrano grijanje za svako vrijeme grijanja. Točnost proračuna zavisi od točnosti izbora koeficijenta termičke difuzije  $a_x$  i broja članova reda koji se u računu uzmu.

Rezultati eksperimentalnih istraživanja su pokazali da se, u granicama vremena i temperatura koje se primjenjuju za lijepljenje furnira na podlogu debljine 16 mm i više ili na srednjicu stolarske ploče, temperatura u sredini ploče ne mijenja, odnosno, pri lijepljenju slijepog furnira na srednjicu stolarske ploče, mijenja se veoma malo, što znači da se zagrijavanje može promatrati kao jednostrano. U tom slučaju, polazeći od toga da je koordinatni početak na površini a ne u sredini ploče kao kod dvostranog grijanja, početna jednadžba može biti riješena Laplaceovom transformacijom. Laplaceova transformacija funkcije temperaturnog polja tada postaje funkcija samo koordinate  $x$  i kompleksne veličine  $s$ .

$$L[\psi(x_1, \tau)] = \int_0^{\infty} \psi(x_1, \tau) e^{-s\tau} d\tau = \psi_1(x_1, s)$$

Primjenom Laplaceove transformacije dobije se konačno rješenje početne diferencijalne jednadžbe koja glasi:

$$t = t_s + (t_0 - t_s) \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{a_x \cdot \tau}} \right)$$

gdje je:

$t$  — temperatura,

$t_0$  — početna temperatura drva,

$t_s$  — temperatura ploče preše,

$x$  — udaljenost od površine ploče do posmatrane točke za koju se izračunava temperatura.

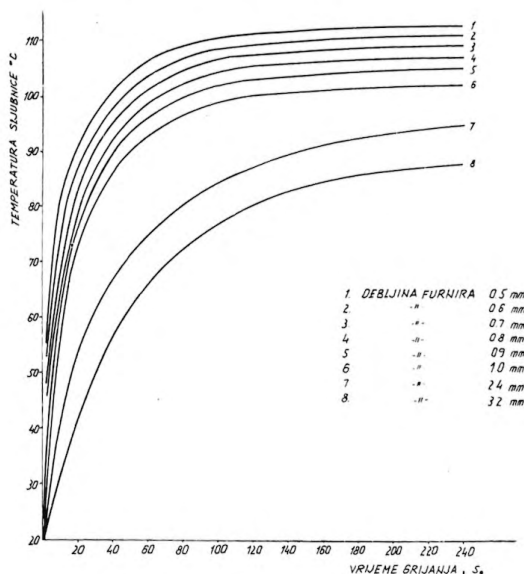
$\tau$  — vrijeme grijanja,

$a_x$  — koeficijent temperature vodljivosti (termičke difuzije),

$\operatorname{erf}$  — funkcija greške.

I u ovom slučaju točnost proračuna zavisi od pravilnog izbora veličine koeficijenta temperaturne vodljivosti  $a_x$ .

Rezultati eksperimentalnih istraživanja temperaturnog toka u sljubnicama prilikom lijepljenja hrastovog rezanog furnira različite debljine na troslojnu ploču ivericu i prilikom lijepljenja bukovog ljuštenog furnira na srednjicu iz jelovih dasčica prikazani su na slici 3.



Slika 3. Dinamika povećanja temperature u sljubnicama

Na slici se vidi da temperatura u sljubnici raste sve dok postoji razlika između temperature sljubnice i temperature grijača (ploča preše). Također se vidi da je dinamika porasta temperature različita i da se sa smanjenjem razlike temperature grijača i sljubnice porast temperature usporava. To znači da u procesu lijepljenja, ne samo što se temperatura sljubnice stalno mijenja, već je i dinamika promjene različita, najbrža je na početku grijanja, a najmanja na kraju, tj. smanjenjem razlike temperature grijača i sljubnice smanjuje se intenzitet promjene temperature sljubnice.

Na dinamiku promjene temperature sljubnice bitno utječu temperatura grijača i toplinska svojstva drva izražena preko koeficijenta tempe-

raturne vodljivosti  $a_x$ . U slučaju lijepljenja furnira, u procesu lijepljenja (zagrijavanja) učestvuju tri materijala s različitim svojstvima, i to: furnir, ljepilo i podloga na koju se lijepi furnir. Svaki od navedenih materijala ima različitu temperaturnu vodljivost, koja se u procesu zagrijavanja i promjene vlage mijenja. Za korišćenje navedenim rješenjem diferencijalne jednadžbe, za proračun temperaturnog toka u sljubnicama prilikom lijepljenja furnira potrebno je znati koeficijent temperaturne vodljivosti.

Polazeći od rezultata eksperimentalnih istraživanja prikazanih na slici 3, za proračun  $a_x$  upotrijebljena je jednadžba za jednostrano zagrijavanje, za čije je rješenje načinjen program za elektronično računalo kojim je izračunat  $a_x$  za različite slučajeve lijepljenja furnira. Za lijepljenje furnira debljine  $0,5 \div 1,0$  mm na trcslojnu ploču ivericu, pri temperaturama ploča preše  $100 \div 150^\circ\text{C}$ , dobijen je zbirni koeficijent temperaturne vodljivosti  $a_x = 2,38 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/h, a pri lijepljenju ljuštenog bukovog furnira debljine 2,4 i 3,2 mm na srednjicu iz jelovih letvica pri istim temperaturama  $a_x = 5,1 \cdot 10^{-4}$  m/h. Na veličinu  $a_x$  utječe više faktora, kao što su: temperatura, vlažnost drva, vrijeme grijanja itd. I pored toga, prema rezultatima istraživanja, za navedene svrhe, tj. za određivanje vremena lijepljenja, s dovoljnom pouzdanošću mogu se uzeti dobijene veličine za  $a_x$ .

Za proračun dostignute temperature navedenom jednadžbom, uz poznati  $a_x$  za određeno vrijeme zagrijavanja, potrebno je za odgovarajuću

vrijednost  $\frac{x}{2\sqrt{a_x \cdot \tau}}$  znati erf  $\frac{x}{2\sqrt{a_x \cdot \tau}}$  čija je

veličina data u slijedećoj tabeli:

$\frac{x}{2\sqrt{a_x \cdot \tau}}$	erf	$\frac{x}{2\sqrt{a_x \cdot \tau}}$	erf	$\frac{x}{2\sqrt{a_x \cdot \tau}}$	erf	$\frac{x}{2\sqrt{a_x \cdot \tau}}$	erf
0,050	0,05637	0,300	0,32863	0,550	0,56332	0,800	0,74210
0,100	0,11246	0,350	0,37938	0,600	0,60386	0,850	0,77067
0,150	0,16800	0,400	0,42839	0,650	0,64203	0,900	0,79691
0,200	0,22270	0,450	0,47548	0,700	0,67780	0,950	0,82089
0,250	0,27633	0,500	0,52050	0,750	0,71116	1,00	0,84270

Eksperimentalno je utvrđeno da karbamidformaldehidno ljepilo u procesu fizikalno-kemijskih promjena u sljubnicama prolazi kroz tri etape, i to:

Prva etapa, u kojoj je počelo zagrijavanje i kao rezultat toga došlo do ubrzanja procesa polikondenzacije, koja u početku rezultira smanjenjem viskoziteta, a zatim povećanjem, ali u cijeloj toj etapi ljepilo ima sposobnost kvašenja.

Druga etapa, u kojoj viskozitet ljepila brzo raste i ljepilo počinje gubiti sposobnost kvašenja, ali još uvijek ima sposobnost lijepljenja.

Treća etapa, u kojoj je ljepilo potpuno izgubilo sposobnost kvašenja i otvrdlo u mjeri koja mu omogućava da samo, bez vanjskog pritiska, dalje održava potpuni kontakt među lamelama drva koje se međusobno lijepe.

Intenzitet ovih promjena, uz konstantno svojstvo ljepila, zavisi od dinamike porasta temperature u sljubnici. Tako se ukupan proces otvrdnjavanja (sve etape), pri brzem porastu temperature u sljubnici, završava za kraće vrijeme i na višoj temperaturi sljubnice. Pri sporijem porastu temperature proces se završava za duže vrijeme i na nižoj temperaturi sljubnice. To znači da je, pri određivanju vremena lijepljenja, neophodno polaziti od dinamike kemijsko-fizikalnih promjena u sljubnicama, koja je u direktnoj vezi s dinamikom temperaturnih promjena u sljubnicama.

Da bi se rezultatima istraživanja temperaturnih promjena u sljubnicama i datim računskim metodama moglo uspješno koristiti u proizvodnoj praksi za određivanje vremena lijepljenja, neophodno je s njima povezati kemijsko-fizikalne promjene ljepila u sljubnicama.

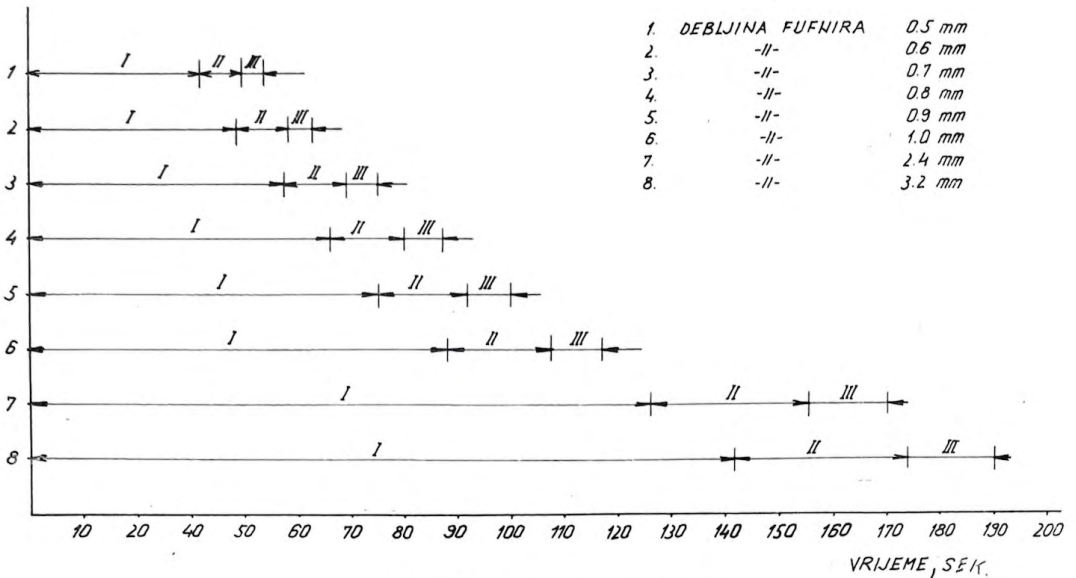
Praćenje kemijsko-fizikalnih promjena u sljubnicama je otežano. U eksperimentima se za tu svrhu koristila osobina ljepila da se u procesu prelaska iz žitkog u otvrdnuto stanje mijenja pH vrijednost. Da bi se vizuelno moglo pratiti ovu promjenu, ljepilu je dodavan metil oranž u količini od 0,2% na količinu ljepila. Metil oranž tekuće ljepilo oboji žuto, a s napredovanjem procesa boja se ljepila mijenja od žute (I etapa) preko narandaste (II etapa) do karmin crvene (III etapa). Ovaj proces je kod eksperimenata vizuelno praćen [2]. Nakon što su za različite uvjete istražena vremena pojedinih etapa, rezultati su provjereni lijepljenjem furnira u laboratorijskim uvjetima.

Rezultati istraživanja kemijsko-fizikalnih promjena u sljubnicama prikazani su na slici 4.

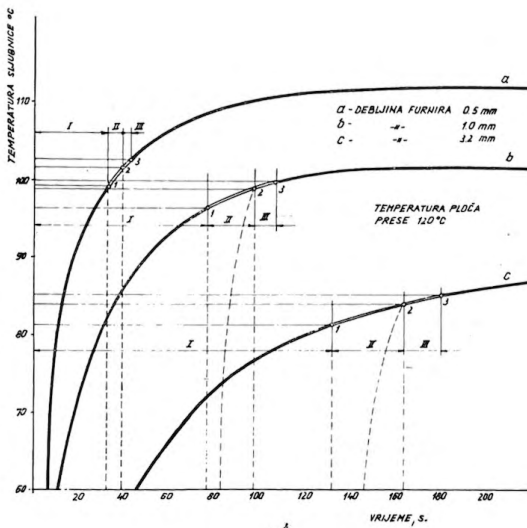
Dinamika porasta temperature u sljubnicama pri ovim eksperimentima bila je približno jednaka dinamici porasta u sljubnicama prilikom stvarnog lijepljenja furnira u laboratorijskim i proizvodnim uvjetima.

Veza između porasta temperature u sljubnicama i fizikalno-kemijskih promjena ljepila prikazana je na slikama 5 i 6.

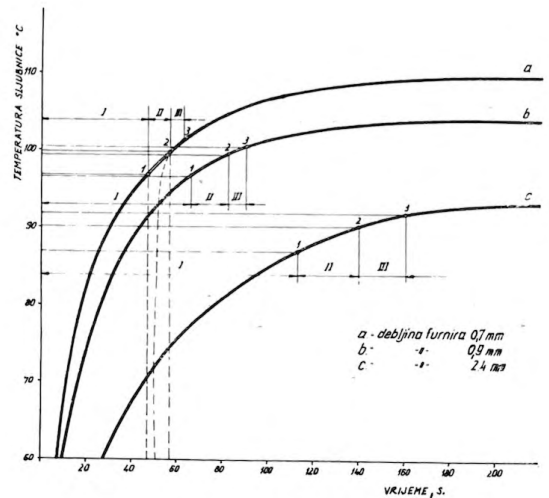
Na slikama se vidi da je, za ljepilo istih svojstava, istu temperaturu ploča preše i različitu deb-



Slika 4. Fizikalno-kemijske promjene u sljubnicama



Slika 5. Povećanje temperature i fizikalno-kemijske promjene



Slika 6. Povećanje temperature i fizikalno-kemijske promjene

ljinu furnira, zbog različite dinamike promjene temperature u sljubnicama, vrijeme pojedinih etapa u procesu otvrdnjivanja ljepila bitno različito. Tako npr. kod furnira debljine 0,5 mm, prva etapa traje oko 32 sek i završava se na temperaturi sljubnice od oko 99°C, kod furnira debljine 1,0 mm prva etapa traje oko 78 sek i završava se na temperaturi sljubnice od oko 96°C, a kod furnira debljine 3,2 mm ova etapa traje oko 116 sek i završava se na temperaturi od oko 81°C. Rezultati pokazuju da, pored odgovarajuće

količine otvrdnjivača, odlučujući uticaj na vrijeme završetka pojedinih etapa u procesu otvrdnjivanja ljepila ima dinamika porasta temperature u sljubnici. U točki 1 na krivuljama a, b i c završena je prva etapa u kojoj se ljepilu ubrzano počinje povećavati viskozitet, a u točki 2 završena je etapa u kojoj ljepilo još uvijek ima sposobnost kvašenja, a u točki 3 ljepilo je otvrdlo u mjeni koja mu omogućava da dalje samo bez vanjskog pritiska održava puni kontakt među lamelama.

U periodu do točke 1 na krivuljama, proces lijepljenja se može ostvariti samo uz zagrijavanje bez povećanog pritiska. Neophodan je samo kontakt između ploča preše i površine drva. U tom periodu počinje zagrijavanje koje na početku rezultira smanjenjem viskoziteta. Kada viskozitet za određene uvjete dostigne minimalnu veličinu, počinje rasti, a kad otprilike naraste na početnu veličinu naglo se povećava, dok u točki 2 ne dostigne veličinu kada je ljepilo već izgubilo sposobnost kvašenja. Prema tome, u periodu između 1 i 2 neophodno je ostvariti vanjski pritisak s ciljem ostvarenja punog kontakta među površinama drva koje se lijepe. Ako se vanjski pritisak ostvaruje u tom periodu, značajno je umanjena mogućnost probijanja ljepila na površinu furnira, jer je to period povećanja viskoziteta, a što je viskozitet veći, pojava ljepila na površinu furnira (difuzija ljepila) je manja. U periodu između točke 2 i 3 ostvaruje se lijepljenje. U točki 3 je moguće skinuti vanjski pritisak i završiti lijepljenje, jer je ljepilo otvrdlo u mjeri koja mu omogućava da dalje samo održava kontakt među drvenim lamelama koje se lijepe. Međutim, ako se dogodi da se ne ostvari zatvaranje preše i puni pritisak u periodu do točke 2 na krivuljama, lijepljenje će biti uz puno grešaka i veliki škart. To se naročito može dogoditi prilikom lijepljenja furnira u višetažnim prešama kod kojih prođe relativno dugo vrijeme od momenta ulaganja prvog elementa u prešu do zatvaranja preše i ostvarenja punog pritiska. Takav slučaj se takođe događa pri lijepljenju tankih šperploča u prešama s velikim brojem etaža, kod kojih punjenje nije istovremeno automatski i kod kojih je zatvaranje sporo.

### ZAKLJUČCI

Na osnovu izloženih rezultata istraživanja mogu se izvesti sljedeći zaključci:

— Za određivanje vremena lijepljenja furnira potrebno je znati uz koju količinu otvrdnjivača ljepilo otvrdnjiva za najkraće vrijeme. Uz jednake ostale uvjete, najvažniji utjecajni faktori na vrijeme otvrdnjivanja su količina dodatnog otvrd-

njivača i temperatura. S njima je moguće regulirati vrijeme lijepljenja u širokim granicama.

— U zavisnosti od dinamike porasta temperature u sljubnicama, ljepilo otvrdnjiva pri različitoj temperaturi i vremenu. Tako npr. ljepilo istih svojstava, uz istu količinu dodatog otvrdnjivača i istu temperaturu ploča preše, uz veći intenzitet porasta temperature, otvrdnjiva na većoj temperaturi i za kraće vrijeme. Ako je intenzitet porasta temperature manji, otvrdnjiva na nižoj temperaturi i za duže vrijeme.

— Temperaturu sljubnice u svakom momentu moguće je veoma lako izračunati datom jednačbom, uzimajući tabelarnu vrijednost za funkciju greške erf.

— Uvjet za egzaktnu proračnu temperature sljubnice je točno određen koeficijent temperaturne vodljivosti. Prema rezultatima istraživanja, za slučaj lijepljenja furnira debljine 0,5 — 1,0 mm na ploču ivericu  $a_x = 2,38 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{h}$ , a za slučaj lijepljenja slijepog ljuštenog bukovog furnira debljine 2,4 — 3,2 mm na srednjicu iz letvica jele/smreke  $a_x = 5,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{h}$ .

— U svim slučajevima lijepljenja furnira neophodno je da se zatvaranje preše i ostvarenje radnog pritiska ostvari u II etapi kemijsko-fizikalnih promjena ljepila, tj. u etapi kada ljepilo ima sposobnost kvašenja i kada mu je viskozitet započeo rasti. Ostvarenje punog pritiska u I etapi, kada se ljepilu smanjuje viskozitet, može imati za posljedicu veliku difuziju i pojavu ljepila na površini furnira.

### LITERATURA

1. BACKOVIĆ, M.: (1980). Rezultati istraživanja metode određivanja vremena otvrdnjivanja ljepila. Pregled, br. 1—2, Sarajevo.
2. BACKOVIĆ, M.: (1976). Uticajni faktori na proces i kvalitet lijepljenja furnira, Sarajevo.
3. BACKOVIĆ, M.: (1978). Istraživanje mogućnosti unapređenja i ubrzanja tehnike furniranja pločastih elemenata namještaja, Sarajevo.
4. CUDIČOV, B. S.: (1968). Teorija topljivosti obradke drvnesini, Moskva.
5. TEMKINA, R. Z.: (1971). Sintetički klej v derevoobrabotke, Moskva.
6. SVORČMAN, G. S.: (1970). Teplovie svojstva drvnesnostružičnih plit. Derevoobrabot. prom. br. 7.

Recenzent: Prof. dr B. Ljuljka