

Andrija Bogner, Ivica Grbac, Stjepan Risović¹

Kvantifikacija sposobnosti površine drva za lijepljenje

Determination of the ability of wooden surface for gluing

Pregledni rad • Review paper

Prispjelo - received: 15. 12. 2003. • Prihvaćeno - accepted: 21. 04. 2004.

UDK 630*812.2; 674.07

SAŽETAK • U radu su prikazana svojstva adhezije sa stajališta graničnih površina i njihovih energija. Objasnjena je površinska napetost, kao i površinska energija. Prikazana je razlika između glatke i hrapave površine te izvedena jednadžba za faktor hrapavosti, kao i utjecaj hrapavosti na kut kvašenja i površinsku energiju.

Objašnjen je pojam kritične površinske energije i napravljen njezin proračun za bukovu brušenu površinu. Određen je rad adhezije i objašnjeno kako se on može iskoristiti za ocjenu optimalne površinske napetosti ljepila, a napravljen je i proračun navedenih parametara za bukovu brušenu površinu.

Ključne riječi: rad adhezije, kut kvašenja, kritična površinska energija, faktor hrapavosti, optimalna površinska energija adheziva

ABSTRACT • This paper presents adhesion theory from the standpoint of surface energy. The nature of surface tension is discussed and shown to be dimensionally and numerically similar to surface energy. Differentiation is made between smooth surfaces and rough surfaces and a roughness factor is introduced. Critical surface energy has been explained and calculated for beech sanded surface. The paper also presents work of adhesion as a criterion for the determination of optimum surface tension of adhesives and calculation of the maximum work of adhesion and optimum surface tension.

Key words: work of adhesion, wetting angle, critical surface energy, roughness factor, optimum surface tension of adhesives

1 UVOD 1 INTRODUCTION

Adhezija je neobično važna za pojedine tehnološke procese u drvnoj industriji jer upravo adhezijske sile omogućuju lijepljenje različitih materijala, kako u procesima lijepljenja, tako i u procesima

površinske obrade drva. Adhezija ovisi o mnogo činitelja, a najvažniji su svojstva adherenda (drva) i adheziva (ljepila). Osim toga, ovisi o obradi površine drva i drugim činiteljima (Voyutski, 1975). Iz toga proizlazi da je važno dobro obraditi površinu drva za lijepljenje (sljubnicu) kako bi ona imala što veću energiju za adheziju s ljepi-

¹Autori su izvanredni profesor, redoviti profesor i docent Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

The authors are associate professor, professor and assistant professor, respectively, at the Faculty of Forestry of the Zagreb University.

lom, ali i odabratи ljepilo odgovarajućih svojstava (Bogner, 2002). No i unatoč najbrižnije vodenom procesu, nikad ne postižemo teoretski maksimalnu adheziju zbog nesavršenih uvjeta procesa kao što su nepotpuno povezivanje mogućih mesta za vezu ili zaostalih naprezaanja u spoju koja mogu izazvati mikropukotine itd. (Collett, 1972).

2 POVRŠINSKA ENERGIJA, POVRŠINSKA NAPETOST I GRANIČNA POVRŠINSKA ENERGIJA

2 SURFACE ENERGY, SURFACE TENSION AND INTERFACIAL SURFACE ENERGY

Sposobnost površine drva da stvara adhezijske veze ovisi o površinskoj energiji drva. Pojmovi površinska energija i površinska napetost često su vezani uz pojam

molekulama zraka, nekog drugog plina ili tekućine. Pojmovi površinska energija i površinska napetost definirani su energijom po jedinici površine (J/m^2), što skraćeno pišemo kao (N/m). Granična površinska energija drva u vakuumu nije jednaka energiji kada je površina drva okružena zrakom ili nekim drugim plinom jer se na površinu veže vodena para, prašina, ugljikovodici ili druge tvari s kojima je zrak kontaminiran. Ta je razlika prikazana jednadžbom (1):

$$\Pi_e = \gamma_s - \gamma_{SG} \quad (1)$$

gdje je:

Π_e - razlika između površinske energije drva u vakuumu i površinske energije u zraku

γ_s - površinska energija drva u vakuumu

γ_{SG} - površinska energija drva u zraku.

Iz toga se vidi da se površina drva stanjem inaktivira, pa je najbolje lijepliti odmah nakon obrade sljubnica.

Površinsku napetost tekućine možemo lako izmjeriti na više načina, npr. pomoću kapilarne elevacije, stalagmometrom, tenzimetarskom vagom ili metodom ispuhivanja plina u tekućinu.

U tablici 1 prikazane su površinske napetosti nekih tekućina.

Površinska je energija za različite vrste drva različita, a postoje i razlike unutar iste vrste s obzirom na presjek, dijelove goda, položaj drva unutar stabla i dr. Ona ovisi i o sadržaju vode u drvu te o temperaturi površine drva.

Površinska energija drva može se mijenjati (povećavati) mehaničkom obradom drva ili modifikacijom površine drva raznim metodama. Dužim stajanjem obrađene površine drva na zraku površinska se energija smanjuje, što je nepovoljno za lijepljenje. U procesima zaštite drva, drvo premažujemo različitim zaštitnim stredstvima (repelentima) kojima smanjujemo površinsku energiju drva radi odbijanja vode od površine drva te ga tako štitimo.

U tablici 2 prikazane su površinske energije za neke vrste drva i stanje površine.

3 RAD KOHEZIJE I ADHEZIJE

3 WORK OF COHESION AND ADHESION

Prepostavimo li da je površinska energija drva γ_s veća od površinske energije ljepila γ_{LG} , tada će adhezija biti spontana i bit će približno jednaka radu kohezije

Vrsta tekućine Types of liquid	Površinska napetost Surface tension γ_{L-G} , mN/m
voda - water	72,3
glicerin - glycerine	65,2
formamid - formamide	59,0
etilenglikol - ethylene-glycol	47,5
anilin - aniline	43,4
etanol - ethanol	22,1
aceton - acetone	22,6
PUR lak PUR-varnish	50,4
alkidni lak alkyd-varnish	53,0
NC lak - NC-varnish	43,7
poliester - polyester	43,9
akrilno ljepilo acrylic glue	29,8
stirol-butadiensko ljepilo styrol-butadien glue	35,1

granična površinska energija ili sučelje, kako je još neki autori nazivaju (Bogner, 1991; Bogner i dr., 2002). Pojam površinske energije vezan je uz energiju površine kručnih tvari, a površinska napetost uz energiju površine tekućina. Ipak moramo napomenuti da je površinska napetost jednaka energiji površine samo kada je diferencijalna promjena slobodne energije sustava u odnosu prema površini pri konstantnom tlaku i temperaturi jednaka nuli (Packham, 1992).

Granična površinska energija je energija između krute, tekuće i plinovite faze.

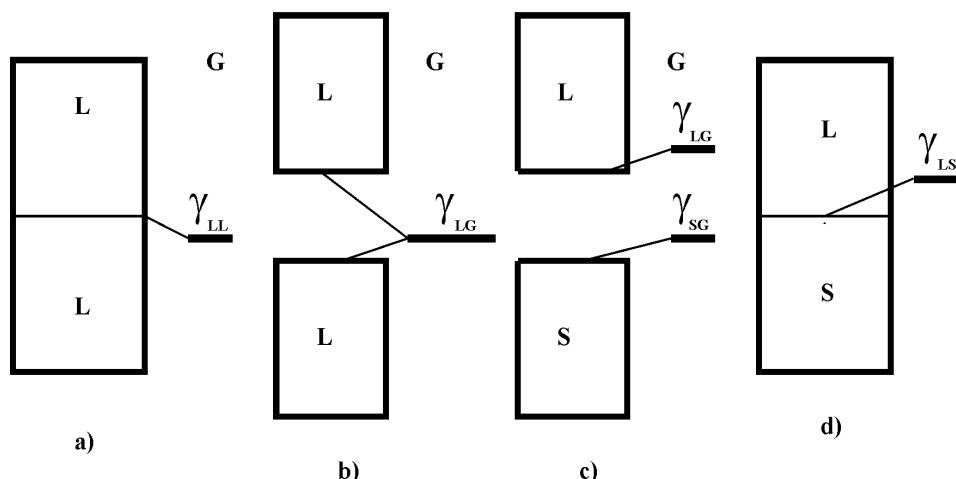
To znači da su slobodne površine krute tvari (drva) ili tekućine (ljepila) samo u svojoj masi okružene istovrsnim molekulama, dok su im vanjske površine okružene

Tablica 1.
Površinske napetosti nekih tekućina
Table 1
Types of liquid and their respective surface tension

Vrsta drva Wood species	Stanje površine* Condition of surface	Površinska energija Surface energy mN/m
<i>Fagus sylvatica</i>	1	51,5
<i>Fagus sylvatica</i>	5	43,6
<i>Fagus sylvatica</i>	4	42,5
<i>Fagus sylvatica</i>	2	74,3
<i>Pseudotsuga menz.</i>	3	52,8
<i>Pseudotsuga menz.</i>	1	44-50
<i>Pinus sylvestris</i>	4	45,1
<i>Pinus sylvestris</i>	2	66,1
<i>Abies alba</i>	4	44,3
<i>Abies alba</i>	2	83,2
<i>Tsuga heterophylla</i>	4	35,5
<i>Tsuga heterophylla</i>	2	77,3
<i>Thuja plicata</i>	4	47,0
<i>Thuja plicata</i>	2	78,0
<i>Pseudotsuga tax.</i>	4	47,5
<i>Pseudotsuga tax.</i>	2	72,3
<i>Qercus robur</i>	4	14,8
<i>Qercus robur</i>	2	68,9
<i>Betula alleghas.</i>	4	39,0
<i>Betula alleghas.</i>	2	74,2
<i>Tectona grandis</i>	4	54,3
<i>Tectona grandis</i>	2	63,3

*1 - blanjana površina s dubinom hrapavosti $R_t = 43,5 \mu\text{m}$ (*planed surface with $R_t = 43,5 \mu\text{m}$*); 2 - brušeno neposredno prije mjerena karborundum brusnim papirom granulacije F20 (*sanded surface with sanding grit size 60*); 3 - mikrotomirana površina (*microtommed surface*); 4 - mjerjenje obavljeno nakon stajanja obrađene površine u sobnoj klimi nekoliko tjedana (*sanded surface and measured after few weeks*); 5 - brušeno brusnim papirom granulacije F17, dubinska hrapavost $R_t = 18,5 \mu\text{m}$ (*sanded surface with sanding grit size F17, $R_t = 18,5 \mu\text{m}$*)

Tablica 2.
Površinska energija za neke vrste drva i stanje površine
Table 2
Surface energy for some wood species, and condition of surface



tekućine W_C , dakle radu koji je potreban za razdvajanje dvaju slojeva tekućine.

Rad adhezije W_A i rad kohezije W_C najjednostavnije ćemo objasniti pomoću skice na slici 1.

Zamislimo li da je prvi stupac prikazan na slici 1a) stupac neke tekućine i označimo ga sa L, tada je energija međupovršine (γ_{LL}) označene crtanom linijom jednaka 0. Razdvajanjem stupca tekućine po označenoj površini stvorit će se

dve nove granične površine između tekućine i okolnog zraka (slika 1b), a za to će biti potrebna energija koja je jednak energiji novo-nastalih graničnih površina. Budući da je ovdje riječ o razdvajaju istovrsne materije, govorimo o koheziji, pa možemo napisati da je rad kohezije:

$$W_c = 2 \cdot \gamma_{LG} \quad (2)$$

Dakle, ako za primjer uzmemо vodu, bit će potreban rad jednak dvostrukoj

Slika 1.
Stupci tekućine i krutine pri razdvajaju i spajaju te energije graničnih površina u atmosferi zraka G: 1a) stupac tekućine L, 1b) razdvojeni stupci tekućine, 1c) razdvojeni stupac tekućine L i stupac krutine S, 1d) spojeni stupac tekućine i krutine

Figure 1
The columns of liquid and solid at connection and disconnection and their interfacial surface energy in the atmosphere of air G: 1a) the column of liquid L, 1b) disconnected columns of liquid, 1c) disconnected columns of liquid L and solid S, 1d) connected columns of liquid and solid

površinskoj napetosti vode $2 \times 72,3 = 144,6$ mN/m.

Pri adheziji se kontakt krutine s površinom tekućine ostvaruje dodirom cijele površine krutine s površinom tekućine, i to obično nazivamo kontaktom "lice na lice". Kao što se vidi iz slike 1c) energija sustava prije kontakta je $E_{1c} = \gamma_{LG} + \gamma_{SG}$, a energija sustava nakon kontakta na slici 1d) iznosi $E_{1d} = \gamma_{SL}$. Rad adhezije jednak je razlici tih dviju energija, dakle:

$$W_A = E_{1c} - E_{1d} \quad (3)$$

pa možemo napisati da je rad adhezije:

$$W_A = \gamma_{LG} - \gamma_{SG} - \gamma_{SL} \quad (4)$$

Dakle, rad adhezije W_A određen je energijom po jedinici površine potrebnom za razdvajanje faza kruto - tekuće.

Rad adhezije prikazan formулом (4) teško se može izračunati jer su energije granične površine kruto - zrak (γ_{SG}) i kruto - tekuće (γ_{SL}) teško ili nikako mjerljive, pa se rad adhezije izračunava uz pomoć kuta kvašenja.

4 KUT KVAŠENJA 4 WETTING ANGLE

Kap tekućine širit će se na krutoj podlozi dok ne poprimi ravnotežni oblik. Pri tome će zbroj energija na graničnim površinama kruto - tekuće (γ_{SL}), tekuće - zrak (γ_{LG}) i kruto - zrak (γ_{SG}) biti jednak 0. Ako iz točke gdje se sastaju sve tri faze povučemo tangentu s rubom kapi, tada će tangenta s površinom krutine zatvarati kut θ , koji nazivamo kutem kvašenja ili okrajnjim kutem.

Normalna komponenta $\gamma_{LG} \cdot \sin\theta$ uravnotežena je s jednakom i suprotnom adhezivnom silom F prouzročenom površinskom energijom krutine, što je prikazano na slici 2.

Ako je kut kvašenja θ manji od 90° , smatra se da tekućina dobro kvasi krutinu, a ako je kut kvašenja veći od 90° , smatra se da tekućina loše ili nikako ne kvasi krutinu.

Iz slike 2 vidljivo je da su sile površinske napetosti u ravnoteži kada je:

$$\gamma_{SG} = \gamma_{SL} + \gamma_{LG} \cdot \cos\theta \quad (5)$$

Jednadžba (5) zove se Youngova jednadžba, a iz nje se može izračunati $\cos\theta$:

$$\cos\theta = \frac{\gamma_{SG} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LG}} \quad (6)$$

Modifikacijom jednadžbe (6) dobivamo da je

$$\gamma_{LG} \cdot \cos\theta = \gamma_{SG} - \gamma_{SL} \quad (7)$$

Supstitucijom člana ($\gamma_{SG} - \gamma_{SL}$) u jednadžbi (4) s lijevim članom jednadžbe (7) dobivamo novi oblik jednadžbe za izračunavanje rada adhezije:

$$W_A = \gamma_{LG} \cdot (1 + \cos\theta) \quad (8)$$

Pomoću jednadžbe (8) lako možemo izračunati rad adhezije jer se površinska napetost tekućine i kut kvašenja mogu jednostavno izmjeriti.

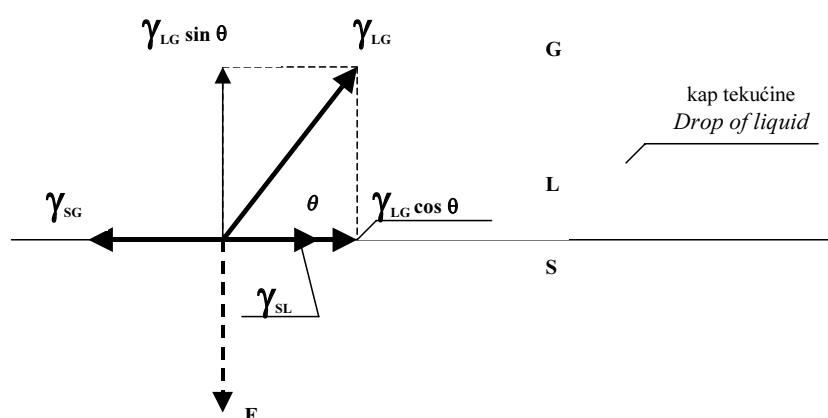
Kut kvašenja različit je za razne vrste drva i različite vrste obrade, što se vidi iz tablice 3.

Slika 2.

Kut kvašenja i sile površinskih napetosti između faza zrak G, tekućina L i krutina S

Figure 2

Wetting angle and forces of surface tension between phases, air G, liquid L and solid S



Vrsta drva Wood species	Obrada površine Condition of surface	Kut kvašenja* θ , ° Wetting angle θ , °
bukovina - beech	blanjano - planed	48,0
bukovina - beech	blanjano i premazano 10%-tnom otopinom NH ₄ OH planed and treated with 10% NH ₄ OH	20,8
bukovina - beech	fino piljeno - fine saw	33,9
bukovina - beech	fino piljeno i premazano 10%-tnom otopinom NH ₄ OH fine sawn and treated with 10% NH ₄ OH	25,8
smrekovina - spruce	blanjano - planed	43,9
smrekovina - spruce	blanjano i premazano 10%-tnom otopinom NH ₄ OH planed and treated with 10% NH ₄ OH	38,7
smrekovina - spruce	fino piljeno - fine sawn	18,2
smrekovina - spruce	fino piljeno i premazano 10%-tnom otopinom NH ₄ OH fine sawn and treated with 10% NH ₄ OH	18,2

* U svim navedenim primjerima kut kvašenja mјeren je na radijalnom presjeku drva.

Iz tablice 3 vidljivo je da na kut kvašenja utječe i vrsta obrade površine, dakle hrapavost drva. Utjecaj hrapavosti na kvašenje prvi je definirao Wenzel 1949. godine, a hrapavost je definirao kao omjer realne površine i njezine geometrijske projekcije, što možemo prikazati jednadžbom:

$$r = \frac{A}{a} \quad (9)$$

r - faktor hrapavosti

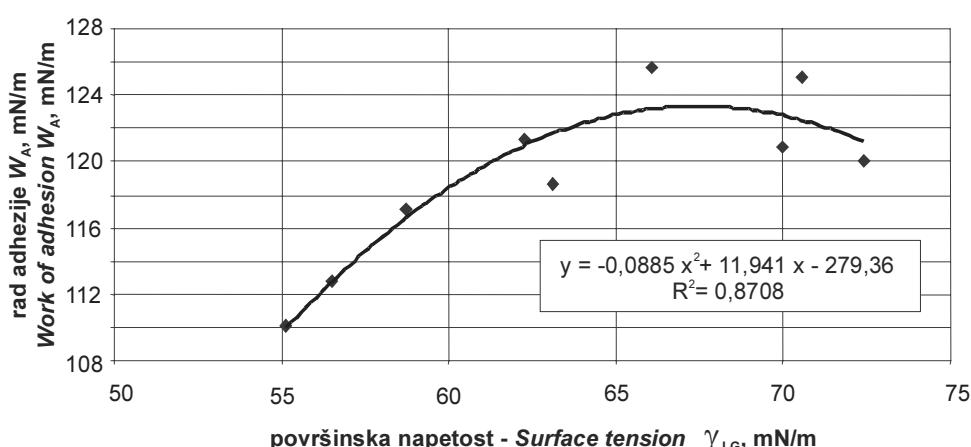
A - realna površina plohe

a - geometrijska projekcija plohe.

Iz jednadžbe (10) vidi se da hrapavost multiplicira kvašenje, a time i površinsku energiju drva, pa se na taj način povećava i rad adhezije.

Rad adhezije vrlo je koristan parametar jer pomoću njega možemo izračunati optimalnu površinsku napetost ljepila za površinu drva koju želimo lijepiti i koja ima određena svojstva (Bogner, 2002), što je prikazano na slici 3.

Površina bukovine bila je obrađena brusnim papirom granulacije 60. Postavlja se pitanje koju površinsku napetost treba imati ljepilo da bi se postigla maksimalna



Za idealno glatke plohe faktor hrapavosti iznosi $r=1$, a za hrapave plohe $r>1$. Ako kut kvašenja na idealno glatkoj plohi označimo sa θ , a na kut hrapavoj plohi sa θ' , tada možemo napisati da je:

$$\cos\theta' = r \cdot \cos\theta \quad (10)$$

adhezija. Maksimalnoj adheziji odgovara i maksimalni rad adhezije, koji možemo izračunati koristeći se površinskom napetosti tekućine i kutom kvašenja, što se vidi iz jednadžbe (8).

Ako više tekućina različitih površinskih napetosti pomoću specijalne pipete

Tablica 3.
Kut kvašenja za destiliranu vodu i neke vrste drva za različito obradene površine

Table 3
Wetting angle for distilled water and some wood species and condition of surface

Slika 3.
Odnos između površinske napetosti γ_{LG} i rada adhezije W_A za površinu bukovine brušenu brusnim papirom granulacije br. 60, $W_{A,max} = 123,40 \text{ mN/m}$, $\gamma_{LG, opt} = 67,46 \text{ mN/m}$

Figure 3
Relation between surface tension γ_{LG} and work of adhesion W_A for the sanded surface, and the calculation of maximum work of adhesion $W_{A,max} = 123,40 \text{ mN/m}$ and optimum surface tension $\gamma_{LG, opt} = 67,46 \text{ mN/m}$

nanešemo na površinu drva i pomoću specijalnog uređaja za svaku izmjerimo kut kvašenja možemo izračunati rad adhezije pomoću jednadžbe (8). Ako svakoj tekućini pridružimo odgovarajući rad adhezije, na grafikonu ćemo dobiti niz točaka koje možemo izjednačiti parabolom. Najveći rad adhezije imat će tekućina čija se vrijenost površinske napetosti nalazi točno ispod vrha parabole, pa možemo zaključiti da i ljepilo mora imati istu površinsku napetost jer će samo tada slijepljeni spoj imati maksimalnu adheziju. Maksimalni rad adhezije možemo izračunati pomoću jednadžbe (11):

$$W_{\text{Amaks}} = \left(\frac{4 \cdot a \cdot c - b^2}{4} \right) \quad (11)$$

Optimalnu površinsku napetost možemo izračunati pomoću jednadžbe (12):

$$\gamma_{\text{LG opt}} = -\frac{b}{2 \cdot a} \quad (12)$$

gdje su a , b i c konstante jednadžbe parabole.

U primjeru sa slike 3 maksimalni je rad adhezije iznosio 123,40 mN/m, a tome odgovara površinska napetost tekućine od 67,46 mN/m. U ovom istraživanju korištene su tekućine površinskih napetosti prikazanih u tablici 4.

površinske napetosti, npr. tekućina iz tablice 4.

Ako nacrtamo kosinus kuta kvašenja kao funkciju površinske napetosti tih tekućina, tada ekstrapolacijom pravca do točke $\cos \theta = 1$ možemo odrediti parametar koji procjenjuje površinsku energiju, a zovemo ga kritičnom površinskom energijom i označavamo ga sa γ_c , što je za površinu bukovine brušenu brusnim papirom granulacije br. 60 prikazano na slici 4.

Dakle, kritična površinska energija γ_c jednaka je upravo onoj površinskoj napetost tekućine pri kojoj ona potpuno kvasi površinu, a kut kvašenja θ jednak je nuli, pa možemo napisati da je $\gamma_{\text{LG}} \leq \gamma_c$.

Zisman (1963, 1964) je u svojim radovima dokazao pravocrtni odnos γ_{LG} i $\cos \theta$ za različite tekućine koje kvase neku krutu tvar, i to je definirao jednadžbom (13):

$$\cos \theta = 1 + b \cdot (\gamma_c - \gamma_{\text{LG}}) \quad (13)$$

gdje je b kosina pravca, dakle tga .

Uspoređujući sliku 3 i 4, možemo odrediti parametre za maksimalan rad adhezije $W_{\text{Amaks}} = 123,40 \text{ mN/m}$ kojem odgovara optimalna površinska napetost tekućine $\gamma_{\text{LGopt}} = 67,46 \text{ mN/m}$ i kritičnu

Tablica 4.
Vrsta tekućine i
površinska napetost

Table 4
Types of liquid and
their respective surface
tension

Tekućina <i>Liquid</i>	Omjer <i>Ratio</i>	Površinska napetost γ_{LG} , mN/m <i>Surface tension γ_{LG}, mN/m</i>
destilirana voda <i>distillate water</i>		72,400
glicerol <i>glycerol</i>		63,100
kalcijev klorid/voda <i>calcium chloride/water</i>	5/95	70,001
kalcijev klorid/voda <i>calcium chloride/water</i>	10/90	70,539
etilen-glikol/voda <i>ethylene-glycol/water</i>	10/90	66,048
etilen-glikol/voda <i>ethylene-glycol/water</i>	20/80	62,260
etilen-glikol/voda <i>ethylene-glycol/water</i>	30/70	58,736
etilen-glikol/voda <i>ethylene-glycol/water</i>	42,5/57,5	56,505
etilen-glikol/voda <i>ethylene-glycol/water</i>	55/45	55,153

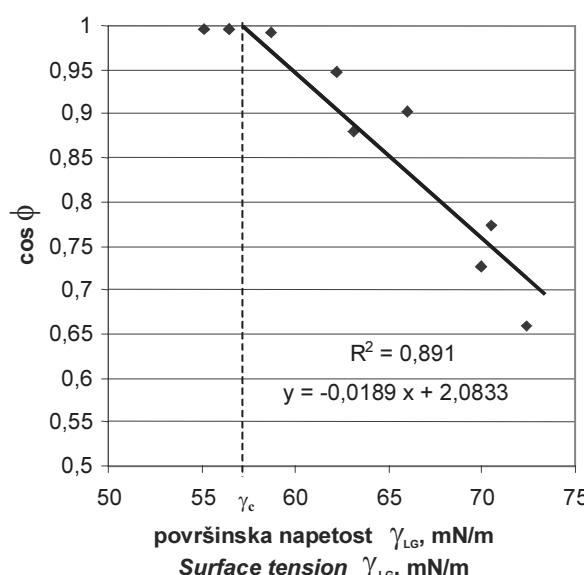
5 IZRAČUNAVANJE POVRŠINSKE ENERGIJE

5 CALCULATION OF SURFACE ENERGY

Jedna od metoda za izračunavanje površinske energije zasniva se na Zismanovim (1963, 1964) istraživanjima. Osnova metode jest mjerjenje kuta kvašenja za niz tekućina s različitim vrijednostima

površinsku energiju $\gamma_c = 57,2 \text{ mN/m}$ za površinu bukovine brušenu brusnim papirom granulacije br. 60.

Iz vrijednosti navedenih parametara vidljivo je da je kritična površinska energija manja od optimalne površinske napetosti tekućine, dakle one površinske napetosti koju bi trebalo imati ljepilo da bi za dotočnu kritičnu površinsku energiju rad adhezije



Slika 4.

Odnos površinske napetosti γ_{LG} i kosinusa kuta kvašenja uz proračun kritične površinske energije $\gamma_c=57,2 \text{ mN/m}$ za površinu bukovine brušenu papirom granulacije br. 60

Figure 4
Relation between surface tension γ_{LG} and cosine wetting angle and calculation of critical surface energy $\gamma_c=57,2 \text{ mN/m}$ for sanded beech surface with sanding paper grit size 60

bio maksimalan. Dakle, nije točna tvrdnja da bi za dobru adheziju površinska energija drva i površinska napetost ljepila morali biti maksimalni, a površinska energija međufaze kruto - tekuće minimalna, što bi se moglo pogrešno zaključiti promatraljući samo jednadžbu (4).

6 ZAKLJUČAK

6 CONCLUSION

Kut kvašenja važan je parametar pomoću kojega možemo odrediti energetska svojstva površine drva. Taj se kut relativno lako mjeri, a moderna mjerna oprema omogućuje precizno mjerjenje i obradu mjernih podataka putem računala.

Metodama prikazanim u radu može se procjenjivati slobodna površinska energija drva, a uz pomoć rada adhezije može se procijeniti optimalna površinska napetost adheziva pri kojoj će rad adhezije biti maksimalan.

Površinu drva moguće je modificirati i tako joj povećati površinsku energiju. Modifikacija se može izvesti premazivanjem kemikalijama, izlaganjem ionizirajućem zračenju ili mehaničkim metodama kojima se površina obrađuje tako da se postigne odgovarajuća hraptavost.

Opisane metode omogućuju nam da mjerimo adheziju te da putem modifikacije površine drva i prilagodbe površinske napetosti ljepila postignemo maksimalno moguću adheziju, a time čvrstoću i trajnost lijepljenih spojeva drva.

7 LITERATURA

7 REFERENCES

- Bogner, A. 1991: Modifikation der Holzoberfläche zur Verbesserung der Verleimung. Holz als Roh- und Werkstoff, 49 (7-8): 271 - 275.
- Bogner, A., Grbac, I., Despot, R. 2002: Adhesion and Optimum Surface Tension of Adhesives. Wood Research, 47 (4): 17 - 26.
- Collett, B. M. 1972: A Review of Surface and Interfacial Adhesion in Wood Science and Related Fields. Wood Science and Technology, 6 (1): 1 - 42.
- Gray, V. R. 1962 : The Wettability of Wood. Forest Products Journal, 12 (9): 452 - 461.
- Nguyen, T., Johns, E. 1978: Polar and Dispersion Forces Contributions to the Total Surface Free Energy of Wood. Wood Science and Technology, 12: 63 - 74.
- Packham, D. E. 1992: Handbook of Adhesion. Ed.D.E.Packham, Longman Scientific and Technical, Harlow Essex, England, 455 - 458.
- Rabel, W. 1971: Einige Aspekte der Benetzungstheorie und ihre Anwendung auf die Untersuchung und Veränderung der Oberflächeneigenschaften von Polymer. Farbe und Lack, 77 (10): 997 - 1006.
- Voyutski, S. 1975: Colloid Chemistry. Moscow, MIR Publishers.
- Wehle, H. D. 1979: Zur Bestimmung der Oberflächenspannung von Holz und Oberflächenmaterialien. Teil II. Holztechnologie, 20 (4): 219 - 222.
- Wenzel, R. N. 1949: Surface roughness and contact angle. J. of Phys. and Colloid Chem. 53.
- Zisman, W. A. 1963: Influence of constitution on adhesion. Ind. and Eng. Chem. 55 (10): 19 - 38.
- Zisman, W. A. 1964: Relation of equilibrium contact angle to liquid and solid constitution Advances in Chemistry Series 43.

Corresponding address:

Assoc. Prof. ANDRIJA BOGNER, PhD

Department for Design and
Technology of Wood Products

Faculty of Forestry, University of Zagreb
Svetosimunska 25, HR-10000 ZAGREB
CROATIA

E-mail: bogner@sumfak.hr