

ŠUMARSKI FAKULTET ZAGREB
ZAVOD ZA ISTRAŽIVANJA U DRVNOJ INDUSTRIJI

BILTEN

POSEBNO IZDANJE

**"UVOĐENJE I OPTIMIZACIJA TEHNOLOGIJE
U PRERADI DRVA"**

(Prioritetno istraživanje)



DIGITALNI REPOZITORIJ ŠUMARSKOG FAKULTETA
2018.

S a d r Ź a j

Stranica

P r e d g o v o r

Kolektiv autora

**OPTIMIZACIJA PROCESA LIJEPLJENJA PLOČA IZ
MASIVNOG DRVA U PROIZVODNJI NAMJEŠTAJA 1-159**

1. Predgovor	1
2. Uvod	3
3. Pregled literature	10
4. Opis istraživanja	29
5. Anketa, rezultati ankete i diskusija	50
6. Rezultati prethodnih istraživanja i diskusija ..	56
7. Metode istraživanja	59
8. Pokusni materijal	62
9. Rezultati istraživanja	63
10. Zaključci i diskusija	91
11. Istraživanje utjecaja vrste ljepila i površinske obrade na čvrstoću i estetska svojstva sljubnica	95
12. Literatura	150

R e d a k t o r i :

Prof.dr Stanislav Bađun

Dipl.ing. Vladimir Herak

Prof.dr Mr Mladen Figurić

Prof.dr mr Boris Ljuljka

Tehnički urednik:

Zlatko Bihar

**OPTIMIZACIJA PROCESA LIJEPLJENJA PLOČA IZ
MASIVNOG DRVA U PROIZVODNJI NAMJESTAJA**

Zadatak: OPTIMIZACIJA PROCESA LIJEPLJENJA PLOČA
IZ MASIVNOG DRVA U PROIZVODNJI NAMJEŠTAJA

Voditelj zadatka:

Prof.dr BORIS LJULJKA
Šumarski fakultet u Zagrebu

Suradnici:

Andrija Bogner, dipl.ing.
Šumarski fakultet u Zagrebu

Vlado Koštal, dipl.ing.
Šumarski fakultet u Zagrebu

Ivica Grbac, dipl.ing.
Šumarski fakultet u Zagrebu

Vera Veber-Horvatić
Šumarski fakultet u Zagrebu

mr Ivan Liker, dipl.ing.
RODI - Ravna Gora

Martin Jazbec, ing.
ŠAVRIĆ - Zagreb

Mira Androić, dipl.ing.
ŠAVRIĆ - Zagreb

Vlado Hajdin, dipl. ing.
DI Vrbovsko - Vrbovsko

Božidar Kukulj
DI PAPUK - Pakrac

Ljuban Ostojić, ing.
DI PAPUK - Pakrac

Vuka Nenadović
DI PAPUK - Pakrac

Ivan Frković, dipl. ing.

Nosilac zadatka:

Zavod za istraživanja u drvnoj industriji
Šumarskog fakulteta u Zagrebu.

Izbor i financiranje zadatka:

- Opće udruženje šumarstva, prerade drva
i prometa SRH - Zagreb.
- SIZ - IV za znanstveni rad SRH.

OPTIMIZACIJA PROCESA LIJEPLJENJA
PLOČA IZ MASIVNOG DRVA U PROIZVODNJI NAMJEŠTAJA

1. PREDGOVOR

U ovom radu kompleksno je obuhvaćena i obrađena problematika lijepljenja masivnog drva u cilju dobijanja ploča za izradu raznovrsnih proizvoda, kao što su ploče stolova, sjedišta stolica, pročelja iz masivnog drva itd. S obzirom na veliki broj tehnoloških postupaka, vrsti ljepila i drva, te specifičnosti postupaka u pojedinim pogonima teško je dati neke opće preporuke koje bi osigurale zadovoljavajuću čvrstoću, trajnost i izgled sljubnice. Radi toga bilo je potrebno izvršiti vrlo opsežna istraživanja u nekoliko pogona koji primjenjuju različite tehnološke procese i kod svakog tehnološkog procesa istražiti čitav niz parametara u cilju dobijanja optimalnih veličina koje će biti prezentirane u ovom radu. Veći dio istraživanja koji se odnosi na izradu uzoraka obavljen je u pogonskim uvjetima uz strogu kontrolu svih glavnih utjecajnih parametara na čvrstoću spoja, a manji dio izrade proba i sva ispitivanja čvrstoće izvršen je u laboratoriju Zavoda za istraživanja u drvenoj industriji Šumarskog fakulteta u Zagrebu. Također je izrađen i upitnik za relativno velik broj informativnih podataka, čija je svrha:

- snimanje postojećeg stanja i specifičnih problema u raznim pogonima,
- dijagnosticiranje uzroka problema,
- određivanje utjecajnih parametara.

Upitnikom su obrađeni slični pogoni u republici Hrvatskoj.

Obrađena je i literatura u kojoj su prikazana istraživanja slične problematike u SAD-u, Saveznoj Republici Njemačkoj, Engleskoj i Jugoslaviji. Manje više sva dosadašnja istraživanja tretiraju probleme tako da se eksperimentalni dio odnosi na neka uža i specifična područja, a eksperimen-

ti su rađeni u laboratorijskim uvjetima koji se bitno razlikuju od pogonskih.

Ova istraživanja rezultat su rada većeg broja suradnika koji su u različitoj mjeri sudjelovali u organizaciji istraživanja, izradi uzoraka, mjerenjima i obradi rezultata.

Zahvaljujem svim suradnicima koji su svojim radom pomogli u istraživanjima.

Voditelj zadatka

Prof.dr Boris Ljuljka

2. UVOD

Kontinuirano povećanje cijena drva kao sirovine i stalno smanjenje njegove kvalitete povezano sa sve većim interesom za proizvodima iz masivnog drva, bilo u obliku gotovih proizvoda ili sklopova, bilo ploča i drugih oblika određenih dimenzija, dovelo je do sve većeg uvođenja postupka lijepljenja - postupka koji omogućuje veću ekonomičnu konverziju trupca u gotove proizvode.

Ti trendovi stimulirali su razvoj odgovarajućih procesa i opreme visoke produktivnosti i taj trend će vjerovatno trajati i niz slijedećih godina.

Povećane potrebe masivnog drva reflektirale su se sve do eksploatacije šuma gdje je prisutno povećano učešće manjih promjera i lošije kvalitete trupaca.

Počela se koristiti mogućnost osmišljenog krojenja trupaca na pilanskom stovarištu iako još uvijek sve mogućnosti nisu iskorišćene, nekad iz objektivnih, nekad iz subjektivnih razloga, a to je da se kod krojenja u trupce ima u vidu finalni proizvod.

U finalnoj preradi kod krojenja piljenica i drugih sortimenata nije moguće dobiti za određenu vrstu proizvoda građu najprikladnijih dimenzija, pa se koristi građa prikladne dimenzije i građa znatno veće dimenzije, krojenjem koje nastaje značajan ostatak čija je vrijednost relativno male.

Međutim upravo procesom lijepljenja osiguravamo izradu obradaka željenih dimenzija i kvalitete u potrebnim količinama bez velikog ostatka materijala umanjene vrijednosti.

Uz poznavanje činjenice da će niz neobnovljivih sirovina, koje su baza za mnoge materijale, biti iscrpljeno do kraja stoljeća i da će sirovine - drva obnovljivih izvora s obzirom na povećanu tražnju biti sve manje, jedino pažljivo gospodarenje i racionalne tehnologije prerade u kojoj je bi-

tan postupak lijepljenje mogu osigurati zadovoljenje potreba čovjeka za tim, njemu uvijek dragim materijalom - drvom.

Tako postaje sve jasnije, da su adhezija i adhezivi važno područje u drvanoj industriji, a znanje o adheziji i adhezivima dobivaju sve više na značenju u industriji namještaja i drugih finalnih, kao i primarnih proizvoda prerade drva.

Fenomen adhezije uključen je u 70% svih materijala na bazi drva i taj postotak će sve više rasti. Iako je adhezija pojava koja se najčešće povezuje uz primjenu ljepila ili materijala za površinsku obradu, ima niz slučajeva kada adhezija ima posebno značenje kod čega dolazi do povezivanja zahvaljujući ljepivosti pojedinih kemijskih komponenti drva. To je već dosta dugo poznat fenomen u proizvodnji papira, u novije vrijeme primjenjuje se u proizvodnji ploča, a u najnovije vrijeme pokušava se lijepiti i masivno drvo korišćenjem unutrašnjih sila za vezanje u samom drvu.

Iako se lijepljenje kao tehnika koristilo još u ranim civilizacijama, spoznavanje procesa lijepljenja imalo je dugi put kojemu ni danas nismo došli do kraja.

Dajemo sažet prikaz razvoja teoretskih osnova lijepljenja u skladu s postavkama G.G. Marra-a^{*}.

U prvim spoznajama interackije kod procesa lijepljenja prisutne su dvije komponente:

1. Drvo
2. Ljepilo (vidi sl. 1)

Ovaj primitivni dvokomponentni sistem zahtijevao je jedino da ljepilo penetrira u otvorenu strukturu površine drva i da se stvrdne.

U vremenu razvoja avijacije i prvih opsežnih istraživačkih radova na području lijepljenja došlo se do spoznaje

^{*} Marra, G.G.: The role of adhesion and adhesives in the wood products industry. Zbornik simpozija Wood Adhesives - Research, Application, and Nrrds. 1-8.

da je spoj samo toliko čvrst koliko je čvrsto drvo i da za čvršći spoj moramo uzeti, osim ljepila i čvršće drvo.

Iza toga slijedi drugi period istraživanja dviju grupa istraživača kojima se želilo dokazati dvije različite pretpostavke:

- osnova adhezije drva je mehaničke prirode (ljepilo ulazi u pore drva, stvrdne i tako se ostvaruje čvrsta veza),

- osnova adhezije je kemizam materijala (ljepilo i drvo povezuju se zahvaljujući tzv. specifičnoj adheziji).

Na kraju su obje grupe odstupile od isključivo jednog uzroka adhezije. U međuvremenu razvilo se je još niz novih teorija adhezije od kojih niti jedna nije dala generalno objašnjenje za sve materijale i pojave koje prate lijepljenje, nego može biti osnova samo za neke materijale i neke pojave.

Za razumijevanje i razvoj postupka lijepljenja nije bila dovoljna odgovarajuća teorija adhezije, nego i poznavanje bitnih faktora koji utječu na lijepljenje u realnim uvjetima. U tom smislu značajna je spoznaja o lancu koji se sastoji iz tri međusobno povezane karike:

- drvo,
- ljepilo (adheziv),
- drvo (vidi sliku 2)

Očito je da ovdje obje podloge (1. i 3.) utječu svojim karakteristikama na lijepljenje i čvrstoću spoja, a ako gledamo sloj ljepila onda do adhezije dolazi na dvjema površinama. Tako se težište istraživanja prenosi na kontaktne površine drvo - adheziv i to dovodi do spoznaje lijepljenja putem lanca koji se sastoji iz međusobno povezanih⁵ karika:

- drvo,
- kontaktna površina,
- adheziv,
- kontaktna površina,
- drvo (vidi sliku 3)

U kontaktnoj površini dolazi do kontakta fizičkih i kemijskih svojstava drva s fizičkim i kemijskim svojstvima

ljepila u makro, mikro i molekularnom području (hrapavost i poroznost drva, viskozitet ljepila, kemizam celuloze, lignina i ljepila).

Kod razmišljanja o kontaktnoj površini drva moramo imati u vidu njen izgled. Stanične stijenjeke mogu biti presječene:

- po središnjoj lameli,
- po staničnoj stijenci,
- negdje po sredini stanice,
- zgnječene stanice (vidi sliku 4).

K tome svemu dodaju se varijacije ranog i kasnog drva i specifičnosti pojedinih vrsta.

Druga grupa fenomena koja dolazi do izražaja su vanjski utjecaji na površinu drva prije lijepljenja, (paljenje površine, oksidacija, inaktivacija).

U daljnjim istraživanjima često se dolazilo do kontradiktornih rezultata, naime lom je bio po drvu, što ukazuje u pravilu na izuzetno čvrst spoj, a sama čvrstoća je malena. Analize su pokazale da se radi o tzv. potpovršinskoj destrukciji drva. Ta potpovršinska destrukcija prouzročena je nepravilnom obradom površine ili u procesu lijepljenja pri prešanju. Iz toga slijedi da se javljaju još dvije karike lanca, a to su potpovršinski slojevi. Tako se došlo do spoznajne koncepcije koja se sastoji od 7 karika:

- drvo,
- potpovršinski sloj,
- kontaktna površina,
- adheziv,
- kontaktna površina,
- potpovršinski sloj,
- drvo

(vidi sliku 5)

Analiza ljepila i pojave u sloju ljepila u procesu lijepljenja dovela je do uvođenja dviju novih karika. To su dva vezna sloja u ljepilu koja se nalaze neposredno uz površinu drva.

U procesu lijepljenja otapala iz ljepila ulaze u drvo, neke molekule ljepila migriraju prema površini drva, tamo se

orijentiraju i to sve dovodi do razlika između veznog sloja i središnjeg sloja ljepljiva.

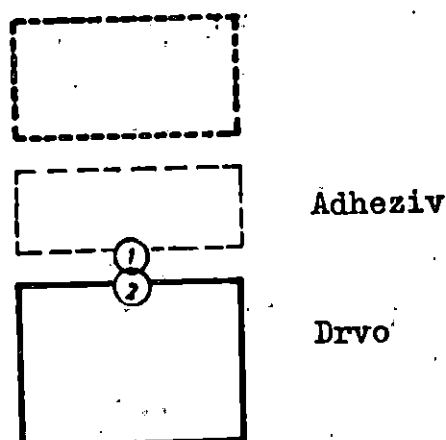
Koncepcija lanca od 9 karika jest:

- drvo,
- potpovršinski sloj,
- kontaktna površina,
- vezni sloj,
- adheziv,
- vezni sloj,
- kontaktna površina,
- potpovršinski sloj,
- drvo

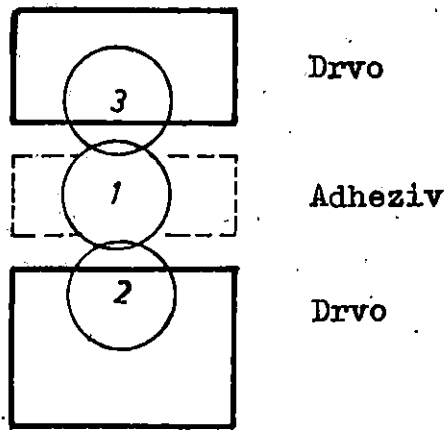
(vidi sliku 6)

Sada imamo relativno jasnu sliku o tome koji sve faktori utječu na adheziju i koliko je kompleksan postupak lijepljenja.

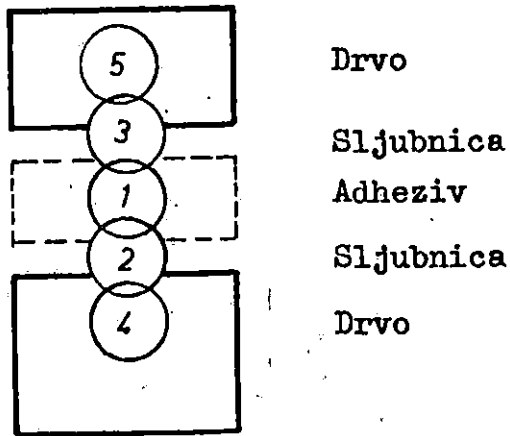
I upravo zbog kompleksnosti, kao i značenja koje će lijepljenje imati u preradi drva, ovo je područje zavrijedito veliku pažnju i daljnja istraživanja.



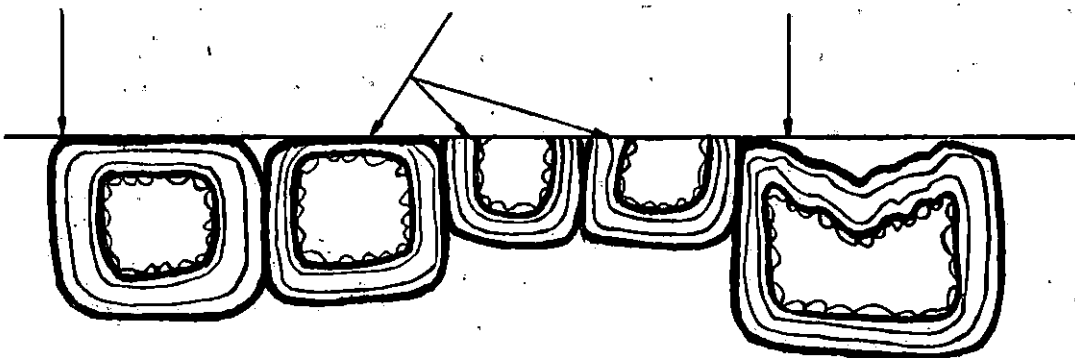
Sl. 1 Lanac od dvije karike



Sl. 2 Lanac od tri karike



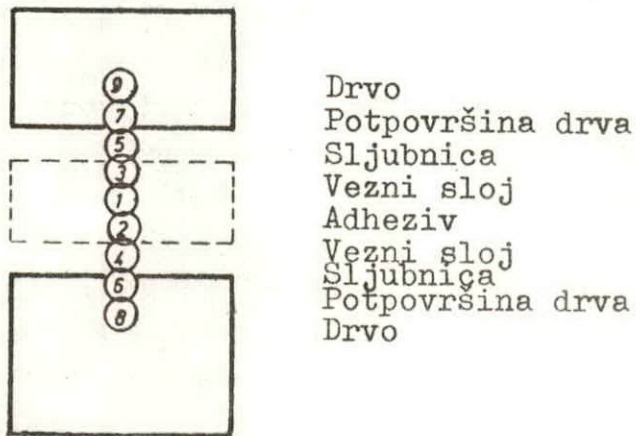
Sl. 3 Lanac od pet karika



Sl. 4 Kontaktna površina drva



Sl. 5 Lanac od sedam karika



Sl.6 Lanac od devet karika

3. PREGLED LITERATURE

1. Općenito o ljepilima i lijepljenju

Svjetski razvoj adheziva osigurava nam stalno otkrivanje novih i poboljšanih formulacija, novih tehnika i opreme i novih proizvoda. Ovaj progres više je evolucionog, nego revolucionarnog karaktera, ali je trajan i donosi rezultate (8). O primjeni pojedinih vrsta ljepila u finalnoj obradi drva i posebno za lijepljenje ploča iz masivnog drva teško je govoriti, jer se većina podataka u literaturi odnosi na cjelokupno područje drvne industrije, pa ljepila koja se primjenjuju za proizvodnju ploča iverica i šperploča čine prevagu po količini. Razvoj ljepila, postupaka i opreme, kao i literaturu o lijepljenju nalazimo u radovima 8, 9, 17, 58 i 63.

2. Polivinilacetatna ljepila

Povećanje otpornosti prema vanjskim utjecajima postiže se kod PVA-c ljepila dodavanjem kromne kiseline, odnosno otvrdivače na bazi fenol rezorcinala. Rezultati povećanja otpornosti prema vremenskim utjecajima govore u prilog primjene kromne kiseline (10).

Neka ispitivanja pokazuju, da određivanje otpornosti prema vremenskim utjecajima na temelju standardiziranih testova (T-1 do T-4 po JUS-u, odnosno B-1 do B-4 po DIN-u) daje rezultate koji u potpunosti odstupaju od rezultata izlaganja sljepljenih spojeva prirodnim vremenskim utjecajima u natkrivenim i nenatkrivenim prostorima (5). PVA-c ljepila s otvrdivačima postižu višu otpornost prema vodi, ako je obrađivanje provedeno uz povišenu temperaturu (14), iako različiti testovi daju dosta proturječne rezultate.

Čvrstoća spoja PVA-c ljepila ovisi o trajanju prešanja, pa se tako nakon 0,5 sati prešanja postižu čvrstoće na smicanje od 18 - 75 daN/cm² ovisno o fabrikatu, nakon 1 sat

45 do 86 daN/cm². Maksimalna čvrstoća postiže se nakon 10 do 30 sati (22).

Niska otpornost prema vodi kod PVA-c ljepila posljedica je toga što u ukupnom suhom ostatku oko 7% čine topivi u vodi polimer-polivinilni alkohol, koji ostaje u ljepilu i nakon sušenja. Zbog toga ljepilo u kontaktu s vodom bubri i dolazi čak do destrukcije. Otpornost prema vodi može se postići blokiranjem hidroksilnih skupina polivinilnog alkohola. To se može postići tretmanom s formaldehidom uz prisustvo solne kiseline, ali se zbog toksičnosti formaldehida i složene opreme ne primjenjuje. Druga mogućnost je postupak s glioksalom kod sobne temperature. Dodavanje aminoaldehidnih predkondenzata zajedno s katalizatorom efikasno je onda kada je prevaga aminoaldehida u odnosu na PVA-c. Kod manjih količina efekti su slabi u sljubnicama se razvijaju unutrašnja naprezanja.

Vodootpornost se postiže i stvaranjem mrežaste strukture polivinilnog alkohola uz pomoć iona željeza, titana, kroma ili cirkonija, ali pri tome dolazi do promjene boje i smanjenja upotrebljivosti ljepila. Dodavanjem etilnog estera ortokremene kiseline postižu se dobri rezultati (80).

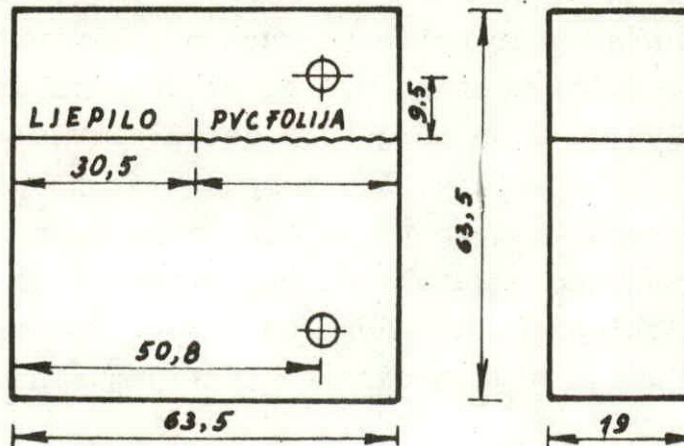
Dodavanjem PVA-c ljepila u karbamidformaldehidna ljepila poboljšavaju se neka svojstva. Pri tome je optimalna količina PVA-c ljepila 30% (mase) (61).

3. Odnos drvo - ljepilo

Odnos drvo - ljepilo odnosno mehanička svojstva spoja procjenjujemo najčešće kidanjem uz posmična naprezanja i tada za čvrstoću uzimamo silu loma podijeljenu na površinu sljepljenog spoja. Čak i u uzorcima za ispitivanje nemoguće je postići jednolično naprezanje po cijeloj površini sljubnice i jednoličan i cjelovit sloj ljepila, kao i površinu drva bez grešaka. U realnim uvjetima uvijek su prisutne kon-

centracije naprezanja i do loma dolazi širenjem jedne ili više mikrogrešaka ili mikropukotina.

Kod uzoraka govorimo o čvrstoći spoja iako je vrlo često površina loma u cijelosti u drvu. M.S.White i D.W.Green (83) eksperimentirali su s nejednolično napregnutim uzorcima slično ispitivanju čvrstoće drva na cijepanje.



Sl. 7 Uzorak za ispitivanje čvrstoće spoja

Pri tome su ispitivali utjecaj obrade (mikrotom, brušenje, blanjanje) i volumne mase drva. Primjenjeno je rezorcinsko ljepilo. Čvrstoća spoja bila je proporcionalna masi drva. U pogledu obrade najčvršći spojevi dobivaju se na blanjanju površini, a na mikrotomom obrađenoj i brušenoj površini čvrstoće su podjednake. Zanimljivo je da je veća čvrstoća spoja blanjanja površina na ranom, nego na kasnom drvu.

Problemom nejednoličnih naprezanja u uzorcima za ispitivanje čvrstoće na smicanje istraživali su P.F.Walsk, R.H.Leicester i A.Ryan (81).

Kod lijepljenja drva postoje različite kombinacije s obzirom na smjer vlaknaca. Vlakanca mogu biti paralelna s ravninom smicanja, ali zakrenuta s obzirom na podešenu os ili mogu biti zakrenuta prema ravnini smicanja, a paralelna s ravninom okomitom na ravninu smicanja koja ide po podužnoj osi ili pak mogu biti zakrenuta u svim smjerovima.

Čvrstoća spojeva na smicanje općenito se smanjuje zakretanjem smjera vlakana u bilo kojoj ravnini (78).

Drvo moramo promatrati kao dinamičan sistem; u njemu se stalno događaju fizikalne i kemijske promjene. Pod utjecajem zraka, vode u zraku, svjetla i dr. dolazi do promjena volumena, oblika, površine, kemizma, pa tako i odnosa prema ljepilu. Poznato je pravilo da obrađene sljubnice treba što prije slijepiti. Pitanje je uolikoj mjeri je to potrebno učiniti zbog moguće deformacije obratka, odnosno sljubnice, a koliki je utjecaj starenja površine. D.A.Stumbo (75) istražio je utjecaj starenja površine drva na čvrstoću spoja uz konstantnu vlažnost, bez utjecaja svjetla i prašine i ustanovio da stajanjem obrađene površine čvrstoća spoja opada za 0,07 do 0,14 daN/cm² (ispitivanje na vlak), odnosno nakon 3 mjeseca stajanja čvrstoća spoja opada za 12% do 33%, a za 5 mjeseci 30% do 50%.

Kod sušenja drva primjenjuju se različite temperature kojima možemo utjecati na čvrstoću slijepljenog spoja. Posebno je veliko značenje ovog fenomena kod površina koje se nakon sušenja više ne obrađuju, a sušenje se izvodi kod relativno visokih temperatura (furniri, iverje) (13).

Odnosi poroznosti, čistoće površine (realne neravnine, strukturne neravnine, neravnine od obrade) i čvrstoće spoja istraživani su u radu (44). Neravnost površine imala je neznatan utjecaj na čvrstoću spoja. Bitan je utjecaj ranog i kasnog drva.

Obrada površine nožem i abrazivom daje različitu površinu. Grublja je površina kod obrade brušenjem, debljina filma je veća i nejednoličnost u debljini je veća.

Slijepljeni spojevi za obje obrade imaju podjednaku čvrstoću. Jednokratno močenje i sušenje izaziva općenito slabljenje spojeva (tulipanovac, pseudočuga - karbamidformaldehidno i rezorcinsko ljepilo), ali su spojevi brušenih

površina znatno slabiji. Elektronskim mikroskopom ustanovljene su pukotine između podslojeva sekundarnog sloja stanica kod obje obrade, međutim kod brušene površine velik je broj pukotina unutar S_2 sloja, a poznato je da upravo taj sloj ima najveće značenje za athezijske spojeve (73).

Ideje da se drvo lijepi koristeći se athezivnim silama površine drva danas ima sve veći interes, ako se uzme u obzir da je cijena produkata petrokemije (npr. fenola), uz isključenu inflaciju, porasla oko četiri puta u posljednjih dvadeset godina.

Teorijske mogućnosti su u aktivaciji površine raznim sredstvima. Najpovoljniji rezultati postižu se aktivacijom dušičnom kiselinom i upotrebom veznog materijala, npr. vodena otopina tanina. Kod masivnog drva postižu se čvrstoće i do 20 MPa (38).

Sadržaj vode u drvu prije lijepljenja ima značajan utjecaj na čvrstoću i kvalitetu spoja. U ovisnosti o različitim tehnologijama i uvjetima primjene sadržaj vode u drvu kreće se u granicama od 8% do 14%. U tim uvjetima uglavnom nema problema kod lijepljenja, ali uz uvjete da je vlažnost svih slijepljenih dijelova podjednaka. Ipak i kod takve vlažnosti, ako u zimskim uvjetima hladni elementi dođu u topao radni prostor, dolazi do površinske kondenzacije i značajnog povećanja vlažnosti na površini drva, što dovodi do grešaka u lijepljenju. Sadržaj vode ispod 6% može dovesti do grešaka (51).

Priprema površine sljubnica prije lijepljenja ima utjecaj na kvalitetu lijepljenja. Osim različitih načina obrade (piljenje, glodanje) može se koristiti i modifikacija svojstava površine ugušćivanjem, valjanjem i vibracijama, odnosno tretman površine s kemijskim sredstvima (29).

4. Lijepljenje masivnog drva

Kod izrade nosača širinskim lijepljenjem pilanskih elemenata 2x2 inča i 2x6 inča lošije kvalitete postavlja se problem lijepljenja bez posebne obrade rubova i sparivanja obradaka podjednakih mehaničkih svojstava (1).

Kod lijepljenja konstrukcijskih materijala iz masivnog drva važnu ulogu ima samo ljepilo. Primjena karbamidnih ljepila za ove svrhe otežana je zbog problema otvrđivanja na hladno i mehaničkih svojstava spoja. Dodavanjem ljepilu amino i amidoepoksida umjesto otvrđivača i kao modifikatora postižu se dobri rezultati (3, 69).

Lijepljenje produženja na tupi sljub praktički se ne primjenjuje, jer ne daje dobre rezultate. Kod ispitivanja opisanih spojeva bolje rezultate daju ljepila s manjom kontrakcijom volumena i kod primjene predgrijavanja i posebnog tretmana sljubnica smolama (69).

Perkitny i dr (52) istraživali su prikladnost za lijepljenje 6 vrsta drva u Australiji. Lijepljenje kod povišene temperature dalo je bolje rezultate. Rezultati istraživanja čvrstoće spoja na tlačno smicanje komparirani su sa čvrstoćom drva na smicanje i izraženi kao relativna čvrstoća spoja.

Poznato je da kod lijepljenja drva PVA-c ljepilom vrijeme stezanja za prstenasto porozne vrste mora biti nešto duže, nego za difuzno porozne vrste (48). Istraživanja na hrastovini i javorovini pokazala su, da je za 80% čvrstoće nakon 8 sati potrebno trajanje pritiska kod hrastovine dva puta veće, nego kod javorovine. U uvjetima eksperimenta za 5 minuta stezanja postizalo se na javorovini 60% čvrstoće u odnosu na čvrstoću koja se postiže nakon 8 sati.

5. Karakteristike sljepljenih spojeva

Iako slobodan film ljepila ima ograničenu čvrstoću na vlak, ljepilo otvrđeno u sljubnici može ograničiti bubrenje drva. Uzorci iz borovine širine 5 mm uprešani na 50% debljine sljepljeni u ploču bubre samo 70% od maksimalnog iznosa (54). Čvrstoća slobodnih filmova nije ni izdaleka tolika, da ograniči to bubrenje.

Uzorci iz borovine za ispitivanje čvrstoće spoja na smicanje su stlačeni tako, da je površina sljubnica nakon stlačenja iznosila 90%, 80%, 70% i 50% od početne. Nakon toga uzorci su sljepljeni s glutinskim, PVA-c, rezorcinskim, fenolnim, karbamidnim i melaminskim ljepljivom. Ispitivanjem čvrstoće na smicanje takvih uzoraka ustanovljeno je da je kod glutinskog i PVA-c ljepila čvrstoća spoja (računano na početnu površinu sljubnice) podjednaka kod svih stlačenja, kao i nestlačenja, dok se kod ostalih ljepila zapaža manja čvrstoća 40 do 70% kod uzoraka uprešanih na 50% debljine. Izgleda da šupljine u strukturi materijala, a koje su se prešanjem umanjile nemaju utjecaj na čvrstoću na smicanje za glutinsko i PVA-c ljepilo, dok za ostala ljepila imaju manji ili veći utjecaj.

Odlaganjem sprešanih i sljepljenih uzoraka u vodi, bubrenjem i ponovnim sušenjem tako da se postigne početna vlažnost i početna dimenzija i ispitivanjem čvrstoće spoja, ustanovljen je kod rezorcinskog i karbamidnog ljepila pad čvrstoće za oko 60 - 70% kod uzoraka stlačenih na 50% debljine. Međutim taj pad jednak je onom kod stlačenih uzoraka bez bubrenja. Poprečne sile koje vežu u spoju podjednake su bez obzira da li te točke vezanja primičemo ili razmičemo (53).

Naprezanja koja nastaju u materijalima pri njihovom sljepljivanju mogu se podijeliti na privremena i trajna. No i trajna unutrašnja naprezanja mijenjaju se po veličini. Naprezanja najčešće nastaju zbog promjena temperature, bubrenja i kontrakcije volumena. Proračun unutrašnjih naprezanja

gotovo je nemoguć, pa se ona moraju ustanoviti eksperimentalno. Značajan utjecaj na unutrašnja naprezanja ima temperatura (41).

Kod ispitivanja čvrstoće sljepljenih uzoraka tretiranih različitim tekućinama, koje izazivaju bubrenje drva, nije ustanovljena linearna zavisnost između površinskog bubrenja i čvrstoće spoja, pa se kod analize čvrstoće spoja cjelokupan problem mora promatrati trodimenzionalno (34). Na čvrstoću sljepljenih spojeva koji su bubrili u tekućinama ne utječe samo veličina deformacije zbog bubrenja, nego i brzina bubrenja (33).

Opsežna istraživanja elastomehaničkih svojstava ljepila u sljubnici izvršio je W. Clod (16). Istraživanja je vršio na uzorcima otvrđenog ljepila u obliku cijevi i na sljepljenim uzorcima iz drva. Kod ispitivanja čistih ljepila mjereni su karakteristični parametri uz naprezanje na torziju, a kod sljepljenih uzoraka uz ostalo i veličine smicanja.

Najniži modul smicanja imaju PVA-c i glutinsko ljepilo. Bolji su fenolno, resorcinsko i kazeinsko ljepilo. Najviše vrijednosti imaju karbamidna i melaminska ljepila.

Općenito se smatra da kod lijepljenja u drvnoj industriji sljepljeni spoj mora biti jači nego materijal koji se lijepi. Ustanovljavanje čvrstoće spoja izvodi se obično naprezanjem na smicanje ASTM D 905. Postoji mogućnost ispitivanja jednostavnijim testom (68). Teoretski ispitivanje provodimo na smicanje, a u praksi su često vlačna naprezanja naprezanja na savijanje ili kombinacija tih naprezanja. Stvarni odnos čvrstoće na smicanje i čvrstoće na vlak, odnosno na savijanje nije u potpunosti razjašnjen.

Kod ispitivanja sljepljenog spoja lom ide po ljepilu ili po drvu. Kada lom ide po drvu, to nas u principu zadovoljava, ali pažljivim promatranjem površine loma možemo ustanoviti da je destrukciju uzrokovala mehanička obrada sljubnice.

Iako način obrade ima utjecaj na čvrstoću spoja, ako je postignuta korektna geometrija sljubnice, daleko je veće značenje kvalitete obrade (oštar alat, rad bez vibracija, dobra podešenost i sl.).

Dobra penetracija ljepila je znak dobre pripreme sljubnice. Loša penetracija zapaža se kod čupave sljubnice. Količina ljepila od 170 - 220 g/m² u pravilu zadovoljava, odnosno debljina sloja ljepila od 0,2 mm ili suhi film ljepila od 0,1 mm. Kontrola sljubnica obavlja se najbolje uz povećanje 30 do 50 puta. Kod PVA-c ljepila pomaže obojenje jodom.

6. Ispitivanje ljepila

Identifikacija pojedinih vrsta ljepila iz sljubnice sljepljenih proizvoda može katkada predstavljati interes. Metode identifikacije su: boja ljepila u sljubnici, močenje pH indikatorom i spektrofotometrija. Kao pH indikator može poslužiti metiloranž 0,25 g, bromokrezolzelena 0,25 g i indigo karmin 0,01 g otopljeno u 50 g denaturiranog etanola nakon čega se dodaje 25 g vode. Kapljica ovog indikatora nanesena na sljubnicu mijenja boju od crvene za pH < 4, žute za 4-5, zelene 5-8, plavo crna iznad 9 (19).

Za bolje posmatranje ljepila mogu poslužiti specijalna kontrastna močila. Najjednostavniji je tretman koncentriranom klorovodičnom kiselinom u kojoj je otopljen 1% resorcina. Dobar rezultat se postiže smjesom 1:1 10% dušične i 10% kromne kiseline. Tretman 1 min, pranje vodom 1 min i zatim sušenje. Dobri rezultati postižu se i tretmanom 10% dušičnom kiselinom (28).

Koje metode primijeniti za ispitivanje montažnih ljepila, ako se uzmu specifičnosti obrade sljubnica, nanošenja, pritezanja, otvrđivanja i uvjeta u upotrebi. Ispitivanja su pokazala da su uzorci za ispitivanje smicanjem i otpornost prema utjecaju vode od B-0 do B-4 najprikladniji (18).

Kod sljepljenog spoja možemo promatrati tri područja; područje ljepila, područje drva i područje drva impregniranog ljepilom.

Da li sloj drva uz samu sljubnicu povećava unutrašnja naprezanja u procesu otvrđivanja ljepila i to zbog kontrakcije volumena i izlaska vode istraživao je Ivanov (36) i ustanovio da je taj sloj po svojstvima sličniji drvu, nego ljepilu i da tu ne nastaju viša, nego čak i niža unutrašnja naprezanja nego u samom drvu.

Unutrašnja naprezanja istraživana su na uzorku fiksnom na oba kraja mjerenjem promjene naprezanja uz konstantnu deformaciju.

Teoretske formule koje opisuju probleme smicanja sljepljenih uzoraka provjeravane su i eksperimentalno i dokazano je da u potpunosti zadovoljavaju ako se isključi faktor vrijeme. Posebna pažnja mora se pokloniti modulu smicanja. Ako se na uzorke za smicanje urežu fini zarez okomito na sljubnicu, onda se u napregnutom stanju iz posmaknutosti zarez može izračunati modul smicanja

$$G = \frac{P \cdot \delta}{0,64 \cdot \Delta S}, \text{ gdje je}$$

P	...	sila
δ	...	debljina filma ljepila
S	...	posmak zarez
0,64	..	površina deformiranog segmenta ljepila u cm ²

(86)

Kod ispitivanja sljepljenih uzoraka imamo samo jednu sljubnicu i u tom slučaju teško je mjeriti elastična i reološka svojstva sljubnice. Ako se uzorak slijepi tako da je sljubnica okomito na dužu os uzorka i da se ispitivani dio uzorka formira iz niza sljepljenih pločica, kod ispitivanja se lakše uočava utjecaj sljubnice u cjelokupnom sistemu. Ispitivanje kratkotrajnim naprezanjem i dugotrajnim na-

prezanjem daje kod različitih ljepila različite rezultate. Ljepila na PVA-c bazi daju znatno niže čvrstoće kod dugotrajnih naprezanja, dok kod resorcinskih ljepila te razlike nisu značajne. Zanimljivi rezultati dobivaju se stupnjevitim opterećivanjem i rasterećivanjem. Kod dugotrajnih i kratkotrajnih naprezanja međusobno se razlikuje i izgled površine loma (39).

Poznate probleme kod ispitivanja ljepila, kada lom ide po drvu, a procjenjuje se čvrstoća spoja, može se riješiti tako da se ispili pločica pod kutem od 6° prema smjeru vlakana, zatim se obradi za sljubnicu, nakon čega se izrežu pločice veličine 1 inča (2,54 mm) i zalijepe tako da je smjer vlakana okomit, a samo ispitivanje provodi se tako da se uzorci cijepaju tlačenjem klinom u "kidalici", ali tako da vlakana idu prema sljubnici pod kutem 6° , ako se promatra od strane klina.

Učešće loma po drvu ispitano na tri vrste ljepila je ispod 10%. To znači da se na taj način mogu točnije izvršiti komparativna ispitivanja različitih ljepila i isto tako mjeriti njihove kohezivno athezivne karakteristike (71). Kada se pojedini atheziv karakterizira čvrstoćom spoja, tada je potrebno standardizirano ispitivanje u pogledu uzoraka i metode i to zbog različite čvrstoće koja se dobiva na različitim uzorcima i kod različitih metoda. Niz istraživanja kod poprečno sljepljenih uzoraka napreznih na vlak izvršio je Marra (45). Kako poprečno sljepljene pločice ulaze svojim krajevima u čeljusti javljaju se složena naprezanja, a jednoličnija distribucija naprezanja i pretežno učešće vlaka je kod veće debljine pločica. Istraživanja su pokazala da se čvrstoća povećava od $1/2''$ do $2''$, a zatim prema $3''$ lagano opada. Ovaj pad nema eksperimentalno dokazanog obrazloženja, osim poznate postavke da polimerni materijali imaju veću ukupnu otpornost prema složenim naprezanjima, nego prema pojedinačnom. U periodu tvorbe sljepljenog spoja nastaju unutrašnja naprezanja zbog kontrakcije volumena lje-

pila i bubrenja i utezanja drva. Utjecaj tih naprezanja može se uočiti. Uzorke nakon otvrđivanja navlažujemo, odnosno sušimo. Uzorci navlaženi za 4% daju kod pločicaveće debljine 3" do 6" daleko veću čvrstoću, nego nenavlaženi. To se objašnjava smanjenjem unutrašnjih naprezanja i plastifikacijom sistema. Koliko je korektna definicija čvrstoće spoja odnosom prekidne sile i napregnute površine, odnosno pretpostavka da je naprezanje jednako po cijeloj sljubnici, može se provjeriti smanjivanjem sljepljene površine uz pomoć kružnih površina smještenih centralno u površini sljubnice, tretiranih silikonskom smolom. Zanimljivo je da kod većine krutih ljepila smanjenje realne ljepljive površine i na 50% u centralnom dijelu sljubnice ne smanjuje uopće prekidnu silu. Tek kod plastičnih ljepila smanjenje površine sljubnice utječe i na smanjenje prekidne sile.

Utjecaj smjera vlakanaca na čvrstoću spoja istraživao je Rabiej (60). Ispitivao je uzorke na smicanje i to radijalno - radijalno, tangencijalno - tangencijalno i radijalno - radijalno, ali s okomitim smjerom vlakanaca. Vršena su komparativna ispitivanja sljepljenih spojeva PVA-c, KF i resorcinskim ljepljivom, te masivnog drva. Dok su sljepljeni spojevi pokazivali nešto veću čvrstoću kod borovine, podjednaku kod hrastovine ili nešto manju kod bukovine od masivnog drva iste vrste kod paralelnih vlakanaca, kod okomito usmjerenih vlakanaca, čvrstoće su bile tek 30 do 50%.

Opsežna komparativna istraživanja različitih metoda ispitivanja sljepljenih spojeva izvršio je Strichler (74). Komparirao je ispitivanje na uzorcima:

- blok za posmično naprezanje prema ASTM D 905-49,
- uzorak za ispitivanje na smicanje vlačnim silama, kakav se često koristi u Evropi,
- uzorak za ispitivanje na smicanje tlačnim silama,
- uzorci za cijepanje ASTM D 143-52,
- uzorci za cijepanje klinom uz podmazivanje,

- uzorci za cijepanje klinom i kliznim pločama,
- uzorci za cijepanje vlačnim silama.

Komparirane su pojedine metode, njihova prikladnost za određivanje početne čvrstoće, kao i prikladnost za ispitivanje trajnosti (čvrstoća nakon izlaganja različitim utjecajima) sljepljenih spojeva. Različite metode kod posmičnih naprezanja daju različite rezultate. Najniže vrijednosti su kod uzoraka za vlačne sile i na takve uzorke različiti tretmani ubrzanog starenja imaju minimalan utjecaj. Uzorci za smicanje tlačnim silama i blok postupak po ASTM-u daju slične rezultate i na takvim se uzorcima očituje utjecaj starenja.

Kod cijepanja problem je trenje klina, pa autor preporučuje vlačne sile iako se dobri rezultati postižu uzorcima s kliznim pločicama.

Za ispitivanje degradacije autor preporučuje tanke i uske uzorke (1/2"). Drvo ne smije degradirati brže od ljepila, ako nas interesira trajnost spoja.

7. Trajnost spojeva

Metode ispitivanja trajnosti spojeva, odnosno njihove otpornosti prema vodi, držanjem u hladnoj, odnosno vreloj vodi rijetko se koriste u pogonima zbog dugotrajnosti i složenosti ispitivanja. Prikladnija metoda za pogonske uvjete je zagrijavanje u glicerolu, gdje se mogu primjeniti i temperature do 140° C. Kod fenolnih i resorcinskih ljepila, ukoliko nije došlo do potpunog otvrđivanja, glicerol se oboji, pa je i to jedna od prednosti navedene metode (35).

Sve veća primjena sljepljenih proizvoda i poluproizvoda uvjetuje razvoj metode kojom bi se u kratkom vremenu ubrzanim testom odredila prihvatljivost sljepljenog sistema ili proizvoda, odnosno pretskazala dugotrajna svojstva. Kod toga poseban interes predstavlja preciznost ocjene dobivene

na temelju ubrzanih ispitivanja.

Na temelju starenja pod utjecajem povišene temperature (suho starenje) ili vode i temperature (mokro starenje) proračunata su vremena starenja u kojima dolazi do smanjenja čvrstoće na smicanje za 25% kod 20° C za suhe i mokre uvjete. Dobiveni podaci za suho starenje su za 25% gubitka čvrstoće: 1,900.000 god za masivnu javorovinu, 150.000 god. spoj s fenolnim ljepilom i 1,600.000 god. spoj s melaminskim ljepilom. Adekvatni podaci za mokro starenje: masivno drvo 68 god., spoj s fenolnim ljepilom 60 god. i spoj s melaminskim ljepilom 3,2 god. (47).

U toku starenja PVA-c ljepila zapažaju se različite promjene, koje najčešće mogu biti uzrokovane migracijom plastifikatora iz filma ljepila koja je ubrzana kod djelovanja povišene temperature.

Gubitak plastifikatora dovodi do povećanja modula elastičnosti filma što doprinosi da se u filmu razvijaju visoka unutrašnja naprezanja koja s vremenom izazivaju destrukciju filma ljepila. Bitnu ulogu kod toga igraju početna unutrašnja naprezanja koja nastaju pri formiranju filma. Dodavanjem etilsilikata postiže se smanjenje početnih unutrašnjih naprezanja i istovremeno dodavanje bikromata uz katalitički utjecaj mineralne kiseline (fosforna kiselina) dovodi do stvaranja prostorne strukture u polimerizacijskom procesu i u vezi s tim i odgovarajućih svojstava slijepljenog spoja (66).

Čvrstoća i trajnost spoja ovise i o procesima starenja površine drva prije nanošenja ljepila. Ispitivanja na borovini i brezovini uz primjenu fenolformaldehidnog i kazeinskog ljepila pokazala su da čvrstoća opada tako da se nakon 270 dana starenja površine drva postiže oko 60% čvrstoće spojeva koji su odmah slijepljeni. Za mjesec dana starenja površine čvrstoća spoja opada 8 do 10% (56).

8. Režimi lijepljenja

Kod režima lijepljenja posebnu pažnju zaslužuje pritisak kod lijepljenja. Mnogi istraživači koji se bave tim problemom pristupaju mu s različitih strana. Jedni istražuju pritiske povezano s vrstama ljepila koja primjenjuju, a drugi s uvjetima, kao npr. raspodjela pritiska u sljubnici, povezanost pritiska i termičke predobradbe, onečišćenja sljubnice i dr.

Prema podacima proizvođača ljepila postoje ljepila koja se nanose u tankom sloju kod kojih je potreban viši pritisak (karbamidna - 5 do 12 daN/cm²) i ljepila koja se nanose u debljem sloju, koja mogu zapunjavati sljubnicu, kod kojih se primjenjuje niži pritisak (PVA-c, glutinska, fenolna - 1 do 3 daN/cm²). Smatra se također da povišenje pritiska ne može štetiti.

Kod pritiska možemo govoriti o "vanjskom", to je pritisak kojim izvana djelujemo na obradak i "unutarnjem", koji je jednak vanjskom kada je sljubnica potpuno ravna ili nije jednak, kada se zbog neravnosti sljubnice pritisak skoncentrira na nekoliko vrhova kojima se obradci u sljubnici upiru jedan u drugi. Povećanjem količine ljepila omogućujemo jednoličnu raspodjelu pritiska, no tada ljepilo mora biti takvo da podnosi debljinu koju određuje takva sljubnica.

Sada je razumljivo da se kod primjene PVA-c i sličnih ljepila i karbamidnih ljepila za lijepljenje drva iz masivnog drva radi o različitim problemima. Tako je u prvom slučaju moguća primjena nižih pritisaka i nešto manje kvalitetna obrada sljubnica uz veću količinu nanešenog ljepila, dok u drugom slučaju uz manju količinu ljepila (u debljem sloju KF ljepila razvijaju se unutrašnja naprezanja u procesu otvrđivanja) i točniju sljubnicu primjenjujemo više pritiske.

Kod termoplastičnih ljepila kod čijeg lijepljenja primjenjujemo povišenu temperaturu može doći do smanjenja viskoziteta, te migracije ljepila u drvo što izaziva "gladnu" sljub-

nicu (9).

Intenzifikacija otvrđivanja ljepila često se ne primjenjuje zbog skupe opreme i složenosti postupka. Intenzifikacija zagrijavanjem ljepila u sljubnici kome je dodan vodič električne struje nije našla primjenu, jer je potrebna količina vodljivog punila (grafit) tolika, da dovodi do slabljenja spoja. Kod primjene vlaknastog grafaena dobri rezultati postižu se s koncentracijama 0,7 do 1% (43).

Intenzifikacija uz primjenu predgrijavanja obradaka ima dvije mogućnosti: jednostrano predgrijavanje i dvostrano predgrijavanje. Dvostrano predgrijavanje omogućuje veće skraćivanje procesa, ali je i postupak nešto složeniji (79).

Istraživanje procesa otvrđivanja može se vršiti ispitivanjem čvrstoće spojeva u toku otvrđivanja kao i torzionim nji-halom. Obje metode daju identične rezultate. Zanimljivi su podaci vrijeme želiranja i vrijeme stakljenja. Za određivanje vremena želiranja od posebne je važnosti elastičnost podloge. Samo značenje vremena želiranja bitno je za otvoreno vrijeme. Vrijeme i točka stakljenja govore nam o bitnoj transformaciji u polimeru. Čvrstoća spoja opada nakon točke stakljenja, što se obrazlaže naglim povećanjem krutosti i pojavom unutrašnjih naprezanja. Vrijeme stakljenja je bitno za trajanje stezanja. Pokazalo se na rezorcinskom ljepilu da vrijeme stakljenja ovisi o sadržaju vode u drvu što je razumljivo (55).

9. Primjena VF zagrijavanja kod lijepljenja

Problem dovođenja topline u sljubnicu i jednolično zagrijavanje sloja ljepila po čitavom presjeku rješava se na različite načine. Jedan od njih je i VF zagrijavanje kod kojeg se postiže velika koncentracija energije. Trajanje otvrđivanja u praktičnim uvjetima ovisi o snazi generatora, površini sljubnice i vrsti ljepila. Principijelno se VF zagrijavanje primjenjuje za ona ljepila koja brzo otvrđuju kod povišenja temperature.

Najdulje traje otvrđivanje krezolnih i fenolnih lje- pila, srednje melaminskih, a kratko karbamidnih i PVA-c lje- pila (31). Ljepila se međusobno razlikuju po značajkama bit- nim za VF lijepljenje, pa je zbog toga potrebno ispitivanje prikladnosti ljepila. U nekim slučajevima se poboljšanje li- jepljenja postiže dodavanjem soli (15).

Paljenje drva (probijanje) kod VF zagrijavanja u pro- cesima lijepljenja masivnog drva nije rijetka pojava. Otkla- njanje probijanja smanjenjem snage nerado se primjenjuje zbog produženja vremena lijepljenja. Istraživanja su pokaza- la da u početku otvrđivanja dolazi do stvaranja tzv. linija otvrđivanja u sljubnici koje teku okomito na VF polje. Te li- nije otvrđivanja inicijalni su faktor za paljenje. Vjerojat- nost pojave linija otvrđivanja ovisi o vodljivosti neotvrđe- nog ljepila i naponu struje. Sklonost pregrijavanja linija otvrđivanja i paljenja je proporcionalna umnošku dielektrič- nosti i tangensa gubitka ljepila u otvrđenom stanju (46).

Problemima zagrijavanja ljepila u sljubnici u VF po- lju posvetio je niz radova J. Gefeht iz Rosenheima. U radu iz 1963. (23) istraživao je utjecaj selektivnog zagrijavanja sljubnica (efekt lamele) kod sljubnice paralelne s poljem. Veliko značenje pridaje utjecaju vodljivosti ljepila.

Vodena otopina ljepila sadrži molekularne dipole i ione koji u izmjeničnom električnom polju osciliraju, odnos- no putuju i osnovna su pretpostavka za izmjenu energije. Po- našanje ljepila u VF polju može se procijeniti na temelju nekih značajki kao: dielektričnost za posmičnu polarizaciju i dielektričnost za posmičnu i orijentacijsku polarizaciju, vrijeme relaksacije $\tau = \frac{1}{\omega^*}$, gdje je ω^* karakteristična frekvencija i električna provodnost (24). Kod zagrijavanja lje- pila u sljubnici u VF polju veće je značenje zagrijavanja zbog prolaska struje, nego od dipolnog zagrijavanja. Zagri- javanje provođenjem struje moguće je i kod nižih frekvencija. U početku dolazi do zagrijavanja, ali uskoro se vodljivost pojedinih dijelova smanjuje i zagrijavanje postaje nejedno-

lično, odnosno prekida se. Upravo ta nestabilnost efekta isključila je tehničku primjenu zagrijavanja provođenjem struje niske frekvencije. Kod primjene visoke frekvencije i velike širine sljubnice javlja se nejednoličnost zagrijavanja (širine preko 15 cm). Tada se stanovito poboljšanje postiže ulaganjem u sljubnicu pomoćnih metalnih elektroda. Zbog spomenutog značenja vodljivosti neprikladno je nanošenje katalizatora odvojeno, jer on tada nije jednolično raspodijeljen (25).

Zbog značenja zagrijavanja provođenjem struje posebno je važan podatak električka provodnost pripremljenog ljepila. Provodnost različitih ljepila kreće se u granicama $1,74 \cdot 10^{-3}$, pa do $9,85 \cdot 10^{-5}$ ($1/\Omega \text{ cm}$).

Povećanjem količine otvrđivača postićemo veću provodnost. Isto tako dodatkom kuhinjske soli provodnost se povećava.

Mjerenje izmjene energije u sljubnici može se vršiti ako nam je poznata karakteristika generatora $\eta = f(N)$ i to uz pomoć ulazne snage generatora. Opteretimo generator:

1. praznim radnim kondenzatorom
2. radnim kondenzatorom s drvom bez ljepila
3. radnim kondenzatorom s drvom i ljepilom

Diferencija 2. i 1. daje podatak o izmjeni energije u drvu, a diferencija 3. i 2. o izmjeni energije u ljepilu. Mjerenje brzine porasta temperature još je jedan od kriterija izmjene energije u sljubnici. Tu međutim treba paziti da metalne sonde izvan neutralne zone kondenzatorskog polja deformiraju samo polje, pa su rezultati tek uvjetno primjenjivi. Stoga su živini termometri i termoelementi teško upotreb-
ljivi, a alkoholni i toluolni termometri mogu naći primjenu. Osim navedenog nedostatak metode mjerenja brzine porasta temperature je i taj što se radi o podacima za jednu točku, a ne i o podacima distribucije energije u sljubnici. Izmjenu energije i proces otvrđivanja moguće je pratiti i promjenom

pH vrijednosti za što se primjenjuje metiloranž ili crvena boja.

Raspodjela energije u sljubnici može se ustanoviti kasnijim ispitivanjem čvrstoće spojeva. U toku postupka otvrdjivanja izmjena energije raste približno na dvostruki iznos od početne i nakon postizanja maksimuma za oko 20 s opada, te nakon 150 s iznosi 20% od maksimalne (20).

Iako je kod orijentacije sljubnice duž polja bolje iskorišćenje energije, nego kod poprečne orijentacije i tu dolazi do gubitaka, ako se radi o pločama veće površine. Istraživanja su pokazala da kod ploče iz masivne hrastovine, dimenzija 0,5 x 0,5 m, broja sljubnica od 2 do 6 i PVA-c ljepila odnos energije koji se prenese ljepilu prema onom, koji se prenese drvu iznosi za 2 sljubnice 2:1, za 4 sljubnice 3,95:1, a za 6 sljubnica 5,93:1.

VF zagrijavanje može se koristiti i za predgrijavanje sljubnica, odnosno otparavanje PVA-c ili sličnog ljepila. U tom smislu napravljen je pokus s hrastovim i smrekovim pločicama dimenzija 130x30x5 mm, slijepljene površine 9 cm^2 na koju je nanešeno obostrano PVA-c ljepilo u količini od 0,14 do $0,23 \text{ kg/m}^2$ i jednostrano u količini 0,07 do $0,12 \text{ kg/m}^2$. Uzorci su zagrijavani u VF polju 7 do 15 s i postigli su temperaturu na površini ljepila i drva $35^\circ - 40^\circ \text{ C}$. Pri tome je voda izišla van težinski izraženo u količini oko 50% ukupne mase ljepila. Zatim su uzorci stavljeni u prešu s tlakom od 15 bara za hrastovinu i 8 bara za smrekovinu i prešani 15 s. Postignute su čvrstoće 4,7 do 5,5 MPa (27).

4. OPIS ISTRAŽIVANJA

Istraživanja su provedena u tri međusobno povezane cjeline:

1. Anketa
2. Prethodna istraživanja
3. Osnovna istraživanja

Anketa je provedena u niže navedenim radnim organizacijama:

1. DIK PAPUK - Pakrac, OOUR Tvornica namještaja
2. DI Vrbovsko, Tvornica pokućstva
3. SPIN VALIS, Sl.Požega
4. RO RADIN, Ravna Gora
5. RO ŠAVRIĆ, OOUR Tvornica namještaja - Krapina
6. RO ŠAVRIĆ, OOUR Tvornica namještaja - Vrbovec

Prethodna istraživanja napravljena su na uzorcima u tri radne organizacije i to:

- RO ŠAVRIĆ, OOUR Tvornica namještaja - Krapina
- RO ŠAVRIĆ, OOUR Tvornica namještaja - Vrbovec
- DI Vrbovsko, OOUR Tvornica pokućstva

Na osnovi provedene ankete i rezultata prethodnih istraživanja sačinjen je plan istraživanja koja su provedena u slijedećim radnim organizacijama:

1. RO RADIN, OOUR Tvornica namještaja - Ravna Gora
2. RO ŠAVRIĆ, OOUR Tvornica namještaja - Krapina
3. RO ŠAVRIĆ, OOUR Tvornica namještaja - Vrbovec
4. DIK PAPUK, OOUR Tvornica namještaja - Pakrac

4.1. Opis ankete

Anketa je provedena putem upitnika u ranije navedenim radnim organizacijama. Anketirane radne organizacije imaju različite proizvodne programe, a zajednička karakteristika im je da za svoje proizvode trebaju ploče od masivnog drva. Za proizvodnju ploča koriste različite postupke. Cilj ankete bio

je da prikupi podatke o:

- proizvodnim programima,
- sirovini,
- načinu sušenja drva,
- tehnološkom procesu,
- načinu pakovanja i otpremi
- najčešćim greškama (reklamacijama) itd.

4.2. Opis prethodnih istraživanja

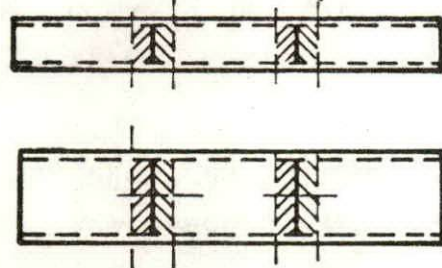
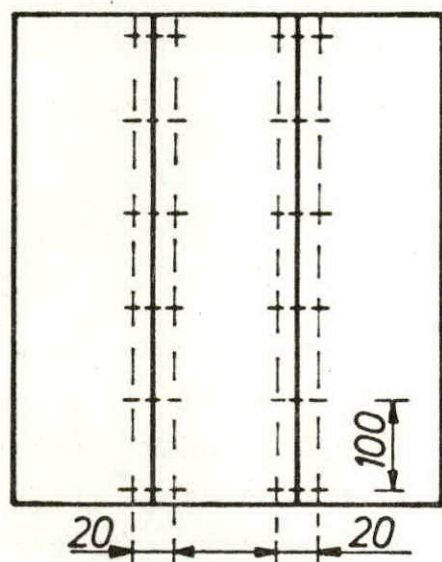
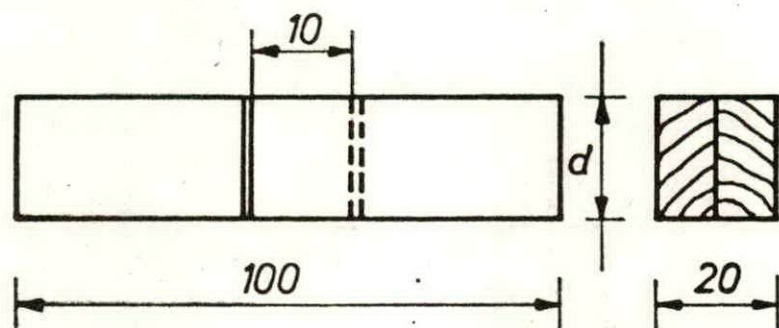
Nakon analiziranja rezultata ankete odlučeno je da se prikupe uzorci iz tri ranije navedene radne organizacije, te da se na tim uzorcima provedu predistraživanja. Broj prikupljenih uzoraka iz pojedinih radnih organizacija prikazan je u tablici 1.

Tab. 1 Broj i vrsta uzoraka za predistraživanja

Radna organizacija	Vrsta drva	Debljina mm	Broj uzoraka	Broj proba
ŠAVRIĆ	Hrastovina	30	3	69
ŠAVRIĆ	"	22	4	36
ŠAVRIĆ	Bukovina	40	3	112
ŠAVRIĆ	"	30	3	56
VRBOVSKO	"	30	5	70

Pod uzorkom podrazumijevamo ploču dobivenu širinskim spajanjem masiva koja se sastoji od tri ili više elemenata. Iz takvih ploča kasnije su izrađene probe za ispitivanje čvrstoće lijepljenog spoja na smik. Na svim uzorcima izmjerena je vlaga, a nakon toga su obilježeni, te su iz njih izrađene probe koje su imale oblik kao što je prikazano na slici 8 .

Debljina probe (d) ovisila je o debljini uzorka, a kod uzoraka koji su bili deblji od 35 mm probe su piljene na pola. Na taj način dobivene su dvije probe, a čvrstoća se računala tako da je suma čvrstoća tih dviju proba dijeljena na dva. Na svim probama izmjerene su dimenzije preklopa i iz-



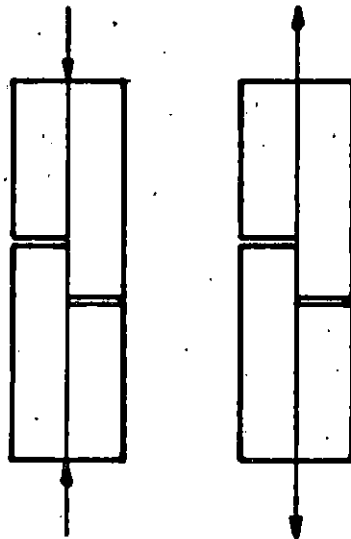
tanji uzorci

deblji uzorci

Sl. 8 Oblik i dimenzije probe za ispitivanje čvrstoće lijepljenog spoja na smik i shema izrade iz uzoraka

računate površine, a zatim se pristupilo kidanju. Kidanje je izvršeno na kidalici "WOLPERT".

Posmična naprezanja na probi možemo izazvati ako probu tlačimo ili ako je razvlačimo, kako je to prikazano na slici 9 .

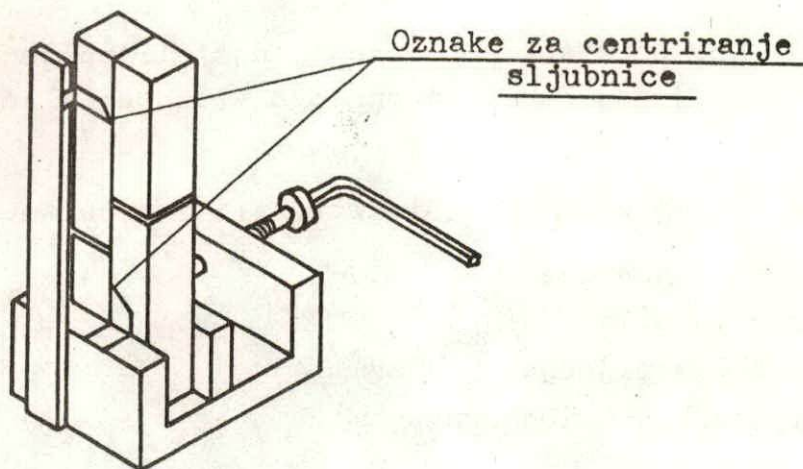


Sl. 9 Mogući načini kidanja proba

Da bi se ustanovilo postoji li kakva razlika između ove dvije metode napravljen je test na dvije grupe uzoraka. Test je pokazao da ne postoje statistički značajne razlike u čvrstoći na smik na uzorcima testiranih grupa. Radi toga je odlučeno da se kidanje proba u buduće izvrši tlačenjem.

Prilikom tlačenja bitno je da sila tlačenja ide paralelno s ravninom sljubnice, kako bi se izbjegla kombinirana naprezanja. Da bi se to postiglo posvećena je velika pažnja izradi proba, kako bi one bile što pravilnijeg oblika i izrađena je naprava za baziranje proba koja je prikazana na slici 10.

Nakon kidanja svih proba izračunate su čvrstoće za svaku probu i srednje vrijednosti čvrstoća za svaku pojedina sljubnicu. Na osnovi toga izračunata je i potrebna ve-



Sl.10 Naprava za baziranje proba

ličina uzoraka za kasnija istraživanja.

Rezultati prethodnih istraživanja prikazani su u točki 6.

4.3. Opis osnovnih istraživanja

Istraživanja su napravljena u ranije navedenim radnim organizacijama. Ove radne organizacije odabrane su zbog specifičnih procesa proizvodnje ploča iz masivnog drva širinskim lijepljenjem i na taj način su obuhvaćeni uglavnom svi tipovi procesa koji se danas koriste u SR Hrvatskoj. U daljnjem tekstu bit će opisana istraživanja u svakoj pojedinoj radnoj organizaciji.

RO "RADIN"

OOOR Tvornica namještaja

Ravna Gora

U ovoj radnoj organizaciji proces počinje umjetnim sušenjem piljene građe, koja se nakon toga kroji u elemente odgovarajućih dimenzija. Slijedi izrada bazne plohe i sljubnice na ravnalici. Nakon toga vrši se nanošenje ljepila na uređaju s valjcima i lijepljenje u protočnoj VF pre-

ši proizvodnje KLI Logatec. Kondicioniranje slijepljenih elemenata vrši se jedan dan i nakon toga vrši se daljnja obrada.

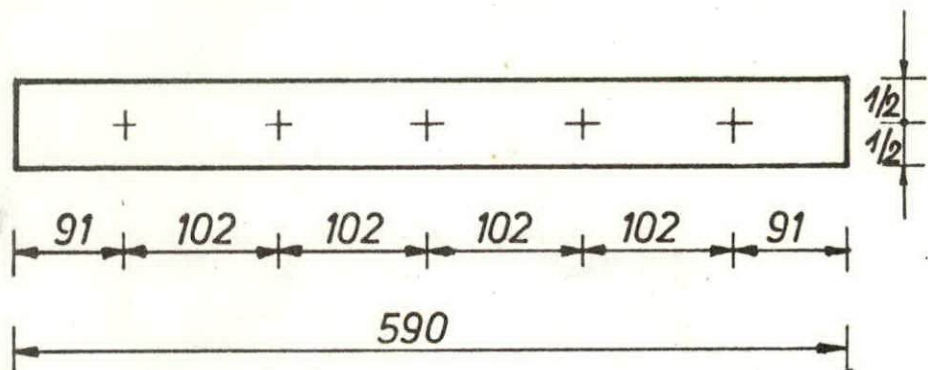
U ovoj radnoj organizaciji istražili smo parametre:

1. Obrada sljubnice
2. Vrsta ljepila
3. Režim lijepljenja
4. Vrijeme kondicioniranja

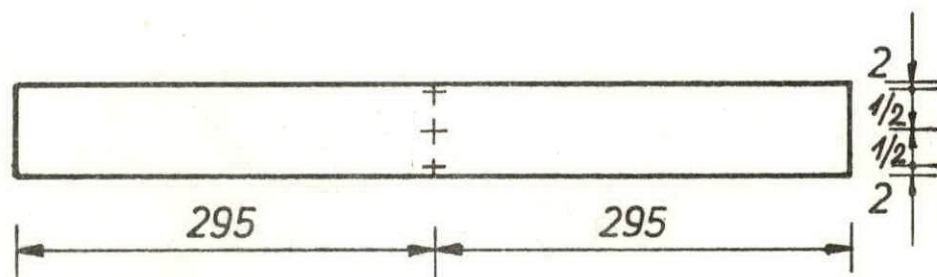
Da bi mogli istražiti navedene parametre bilo je potrebno napraviti uzorke. Svaki uzorak sastojao se od tri elementa od bukovine, znači imao je dvije sljubnice. Uzorci su napravljeni iz elemenata redovne proizvodnje. Prosječna dimenzija elemenata bila je 590 x 240 x 25 mm i 590 x 240 x 55 mm.

Nakon krojenja na elementima je izrađena bazna ploha i sljubnica na ravnalici. Srednji pomak pri izradi sljubnica bio je 11 m/min. Jedna grupa elemenata prebačena je u tvornicu namještaja Vrbovsko i na tim elementima je sljubnica izrađena pilom blanjalicom. Odmah nakon izrade sljubnica na svakom elementu je izmjerena geometrija sljubnice. Sljubnice su mjerene uzdužno po sredini debljine obratka na 5 mjernih mjesta. Mjerna mjesta nalazila su se na mjestima gdje će biti preklopi na probama za ispitivanje čvrstoće. Izmjerena je i poprečna geometrija sljubnice okomito na dužu os sljubnice na polovini dužine sljubnice. Poprečna geometrija mjerena je na tri mjerna mjesta i to na samim krajevima i na sredini debljine sljubnice. Rasporedi mjernih mjesta za uzdužna i poprečna mjerenja geometrije sljubnica prikazani su na slici 11, a shematski prikaz uzdužnog i poprečnog mjerenja geometrije sljubnica na slici 12 i 13.

Paralelno s mjerenjem geometrije sljubnica mjereno je i sadržaj vode elemenata. Elementi za mjerenje sadržaja vode odabrani su metodom slučajnih brojeva, a mjerenje je



a)



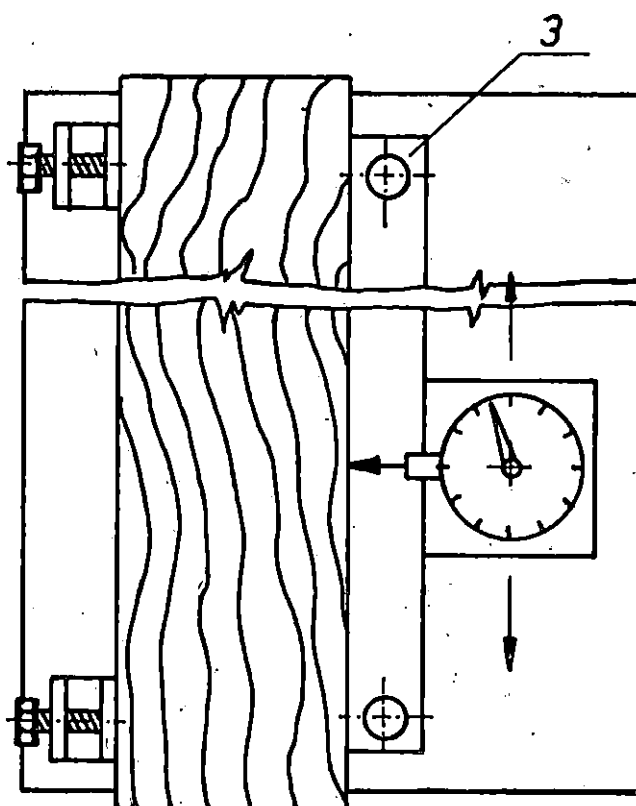
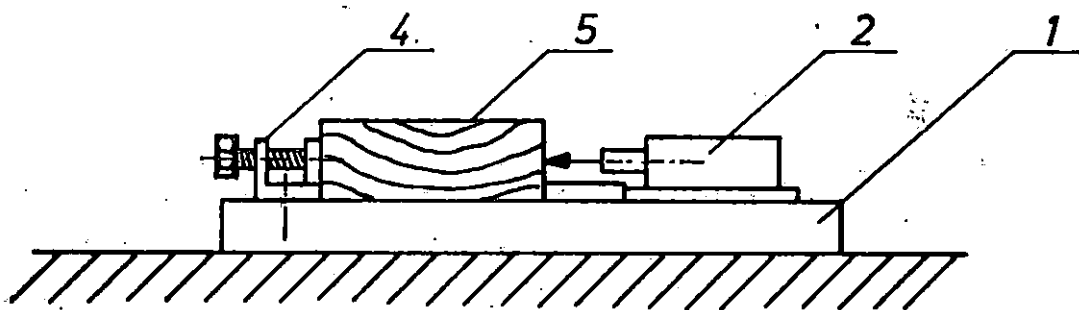
b)

Sl. 11 Raspored mjernih mjesta kod mjerenja geometrije sljubnica

- a) uzdužno
- b) poprečno

izvedeno električnim vlagomjerom RIZ HGR 20. Kasnije, kod izrade proba, od ostataka uzoraka odvojeni su i obilježeni uzorci za mjerenje sadržaja vode gravimetrijskom metodom. Ovi uzorci su složeni u plastične vreće.

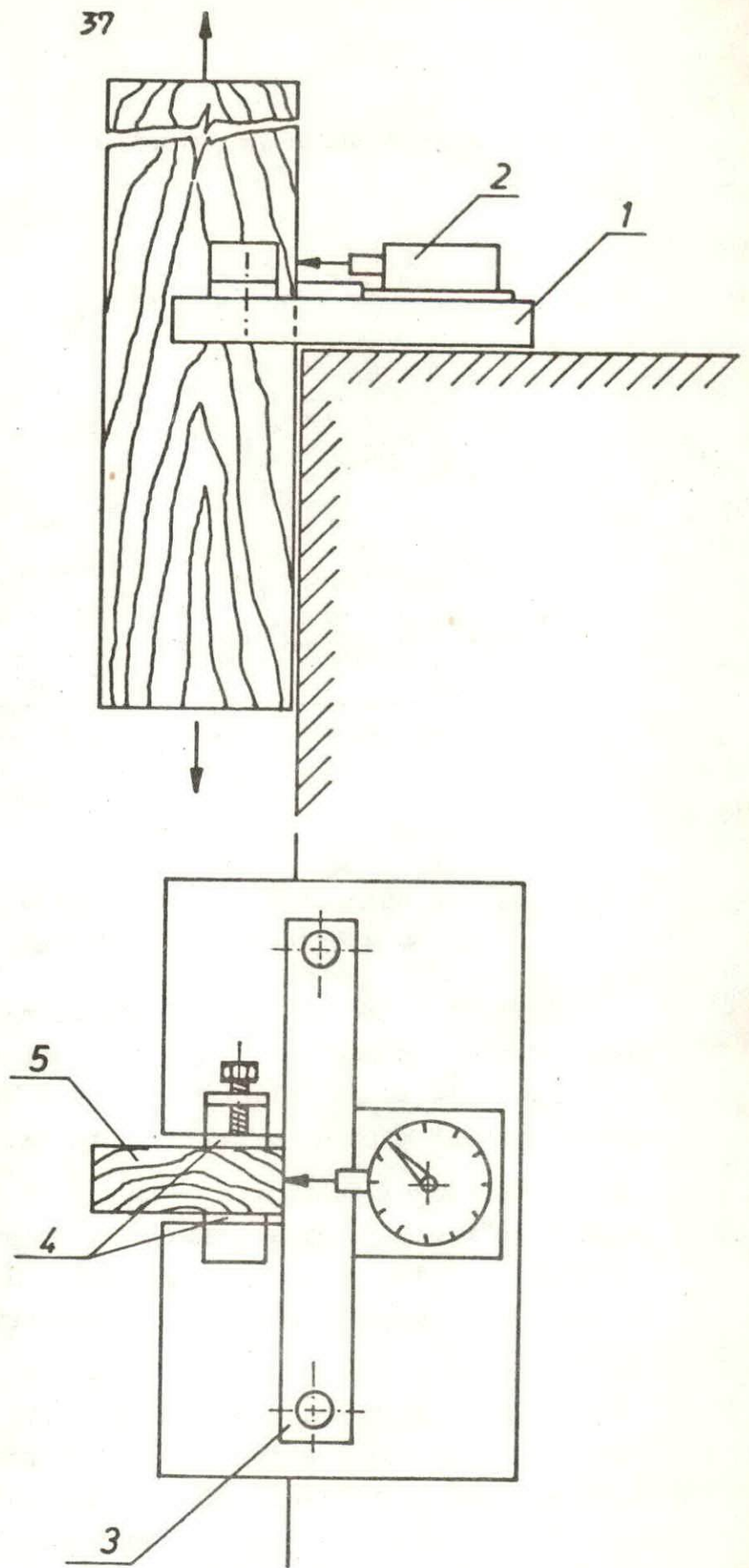
Kod mjerenja geometrije sljubnice dobiveni su podaci o makrogeometriji, tj. o osnovnom obliku i greškama oblika. Za karakteriziranje sljubnice značajna je i mikrogeometrija sljubnice, jer nam ona govori o kontaktnim točkama u užem području. Za mjerenje mikrogeometrije sljubnice potrebni su specijalni instrumenti koje nismo bili u mogućnosti nabaviti zbog visoke cijene i teškoća s uvozom. Ipak, izmjerena je mikrogeometrija sljubnice na nekoliko uzoraka instrumentom koji smo sami napravili. Skica instrumenta za



Sl. 12 Shematski prikaz mjerenja oblika
sljubnice po dužini

1. Mjerni stol
2. Komparator sa nosačem
3. Mjerna letva
4. Oslonci
5. Uzorak

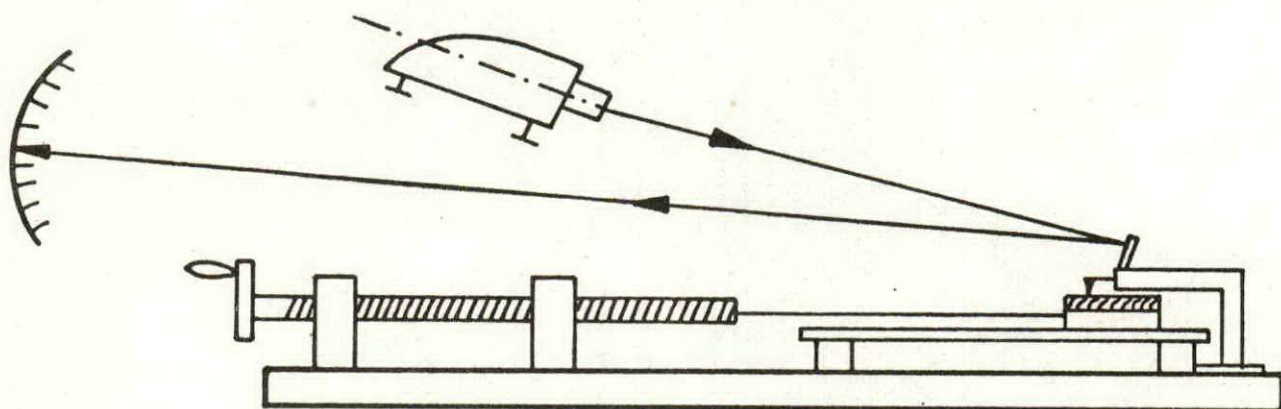
37



1. Mjerni stol
2. Komparator sa nosačem
3. Mjerna letva
4. Oslonci
5. Uzorak

Sl. 13 Shematski prikaz mjerenja poprečnog oblika sljubnice

mjerenje mikrogeometrije površine sljubnica prikazana je na slici 14 .



Sl. 14 Shematski prikaz uređaja za mjerenje mikrogeometrije površine

Također je razvijena jedna nova metoda koja koristi jednostavnija sredstva i daje uvid u mikro i makrogeometriju sljubnice. To je INDIGOGRAM metoda koju je razvio A. Bogner i koja je u radu pokazala dobre rezultate.

Metoda se sastoji u tome, da se umjesto ljepila između površina sljubnica postavi tanki papir i indigo. Sve to zajedno uloži se u prešu i stlači. Nakon vađenja iz preše na papiru su ostala markirana kontaktna mjesta u sljubnici.

Nakon mjerenja geometrije sljubnica, sadržaja vode i kontaktnih mjesta u sljubnici prišlo se izradi uzoraka. Pripremljeno je potrebno ljepilo i izmjeren mu je viskozitet. Uzorci su lijepljeni s osam vrsti ljepila i to:

	Viskozitet s JUS 6/20° C
1. MITOPUR 302 bez otvrđivača	670
2. MITOPUR 302 uz dodatak 5% otvrđivača	268
3. TITEBOND regular	334
4. KF ljepilo - LENDUR	220
5. PVA (MITOPUR) : KF = 1 : 1	200
6. PVA : KF = 2 : 1	315
7. PVA : KF = 3 : 1	-
8. PVA (JOWAT)	505

KF ljepilo za nanošenje i za miješanje s PVA pripremljeno je po slijedećoj recepturi:

2 kg KF smole
20 dakg otvrđivača (NH_4Cl)
1% uree

Ljepilo je nanošeno kistom u količini od 206 g/m^2 na desnu sljubnicu u uzorku, a na lijevu u količini od 412 g/m^2 . To znači da se je kod desne sljubnice mazala samo jedna površina, a kod lijeve obje površine sljubnice.

Temperature prešanja za pojedine uzorke bile su 61°C i 75°C .

Specifični pritisak za pojedine uzorke bio je 5,92, 14,8, 20,4 i $31,6 \text{ daN/cm}^2$.

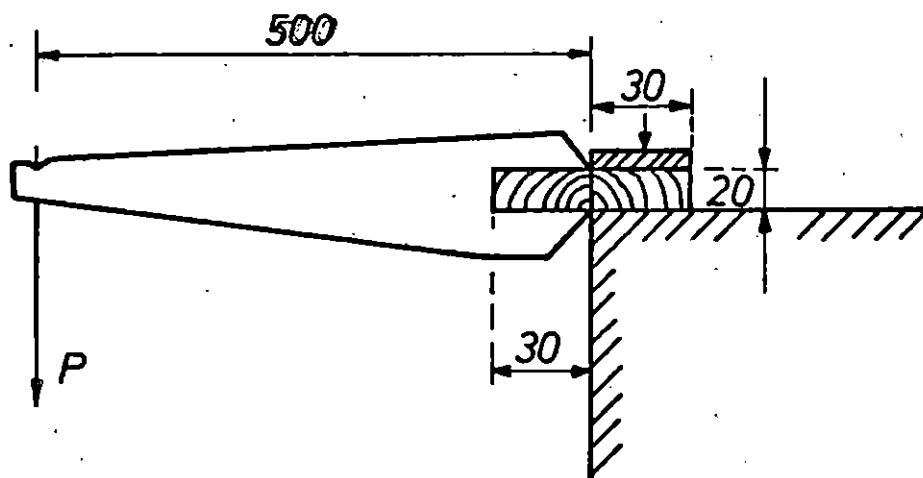
Vrijeme trajanja prešanja iznosilo je za pojedine uzorke 1 min, 1,5 min, 2 min i 2,5 min.

Nakon prešanja uzorci su hlađeni i kondicionirani preko noći, a zatim su blanžani i formatizirani na dimenzije $508 \times 240 \text{ mm}$. Iz tih ploča su izrađivane probe za ispitivanje čvrstoće lijepljenja na smik. Probe su imale oblik i dimenzije kao što je prikazano na slici 8.

Uzorci za istraživanje utjecaja vremena kondicioniranja na čvrstoću spoja imali su drugačiji oblik i dimenzije, jer su neki od njih morali biti slomljeni odmah u pogo-

nu da bi se mogla konstatirati čvrstoća spoja odmah nakon vađenja iz preše, a zbog mogućnosti komparacije i svi ostali uzorci za istraživanje ovog parametra morali su imati isti oblik.

S obzirom da u pogonu nismo raspolagali s kidalicom odlučili smo se da za istraživanje ovog parametra koristimo metodu za ispitivanje čvrstoće na savijanje koja nam se za pogonske uvjete činila najprikkladnijom i koja je prikazana na slici 15 .



Sl. 15 Shematski prikaz metoda za ispitivanje čvrstoće spoja na savijanje

Poluga je bila opterećivana pomiću posude u koju se postepeno dolijevala voda. Nakon loma voda se izvagala i tako je dobivena sila P. Prije samog kidanja na svakom uzorku je sa posmičnim mjerilom izmjerena debljina i širina.

Čvrstoća na savijanje izračunata je po formuli:

$$\sigma = \frac{6 P 50}{b h^2} \quad \left[\text{daN/cm}^2 \right]$$

P sila loma u daN

b širina uzorka, cm

h debljina " , cm

Na kraju su izrađeni i uzorci za komparaciju na isti način kao i ostali uzorci jedino što su bili slijepljeni na

hladno u zvjezdastoj preši. Za te uzorke koristili smo lje-
pilo Mitopur 302 uz dodatak 5% otvrđivača. Pritisak je ost-
varen pomoću vretena, a vrijeme trajanja pritiska bilo je
12 sati.

Pregled svih ispitivanih parametara u radnoj organi-
zaciji RADIN, OOUR Tvornica namještaja iz Ravne Gore sa bro-
jem uzoraka i proba dat je u tablici 2 .

Istraživanja procesa lijepljenja u RO "RADIN" Ravna Gora

Tab. 2

Istraživani parametri	Broj slijepljenih ploča	Broj proba
1. OBRADA SLJUBNICE	(18)	
a) ravnalicom	5	50
b) specijalnom kružnom pilom	13	129
2. VRSTA LJEPILO	(36)	
a) PVA bez otvrđivača /P/	5	50
b) PVA+5% otvrđivača /Po/	5	50
c) Vrbovsko - TITEBOND /T/	5	50
d) KF /K/	5	50
e) PVA+KF = 1:1 /PK1/	4	40
f) PVA+KF = 2:1 /PK2/	5	45
g) PVA+KF = 3:1 /PK3/	4	40
h) JOWAT /J/	3	30
3. REŽIM LIJEPLJENJA	(55)	
a) temperatura 61° C	5	50
b) temperatura 75° C	5	50
c) temperatura 61° C deblji elementi	2 1	(2)x20 (2)x10
d) temperatura 61° C deblji elementi	2 1	(2)x20 (2)x10
e) spec.pritisak 14,8 daN/cm ²	5	50
f) spec.pritisak 20,4 daN/cm ²	5	50
g) spec.pritisak 31,6 daN/cm ²	5	50
h) vrijeme trajanja pritiska 1 min	5	50
i) vrijeme trajanja pritiska 2 min	5	50
j) vrijeme trajanja pritiska 2,5 min	5	50
k) otvoreno vrijeme 10 min	3	30
l) otvoreno vrijeme 15 min	3	30
m) otvoreno vrijeme 20 min	3	30
<u>Vrijeme kondicioniranja</u>	(12)	
n) bez kondicioniranja	5	80
o) sa 5 dana kondicioniranja	3	46
<u>Uzorci za komparaciju</u>	(3)	
p) lijepljenje na hladno u zvjezdastoj preši	3	30

RO "ŠAVRIĆ"
 OOUR Tvornica namještaja
 Krapina

U ovoj radnoj organizaciji proces počinje krojenjem i sušenjem elemenata. Slijedi izrada bazne plohe na dvostranoj blanjalici ili ravnalici i izrada sljubnica na kružnoj pili blanjalici (Dihl).

Za lijepljenje koriste ljepilo TITEBOND REGULAR, viskoziteta JUS 6/20° C 325 s. Nanošenje ljepila je na uređaju sa valjcima, a prešanje u zvjezdastoj hidrauličnoj preši "Žičnica". Otvorenog vremena praktički i nema, jer se elementi odmah nakon nanošenja ljepila ulažu u prešu. Tlak u cilindrima je 16 bara, a vrijeme stezanja ovisi o momentalnim potrebama za pločama iz masivnog drva i kreće se od 0,5 do 2,5 sati. Kondicioniranje elemenata nakon vađenja iz preše iznosi 8 sati i nakon toga slijedi daljnja obrada.

Za naše uzorke uzeti su bukovi elementi iz redovne proizvodnje. Broj uzoraka i proba za ispitivanje čvrstoće na smik dat je u tablici 3.

Tab. 3

Vrsta d r v a	Debljina mm	Broj uzoraka	Broj proba
Bukovina	32	3	64
Bukovina	43	3	64

Prosječne dimenzije uzoraka bile su 480 x 480 mm. Nakon kompletiranja i označavanja uzoraka izmjereno im je sadržaj vode električnim vlagomjerom, uzdužna geometrija sljubnica i snimljena su kontaktna mjesta u sljubnici ranije opisanim metodama.

Lijepljenje uzoraka izvedeno je s ljepilom Titebond regular kojem je prije nanošenja dodano malo vodenog močila u prahu. To je učinjeno iz razloga da se sljubnice oboje, kako bi kasnije njihova veličina bila što uočljivija zbog

potreba mjerenja debljine. Ljepilo je nanošeno kistom na obje plohe sljubnice, a nakon toga uzorci su ulagani u prešu.

Specifični pritisak za uzorke debljine 32 mm iznosio je $10,5 \text{ daN/cm}^2$, a za uzorke debljine 43 mm $7,8 \text{ daN/cm}^2$.

Vrijeme stezanja iznosilo je 60 minuta, a nakon toga uzorci su izvađeni iz preše i kondicionirani 8 sati.

Nakon kondicioniranja uzorci su dvostrano blanžani i iz njih su izrađene probe za ispitivanje čvrstoće spoja na smik.

RO "ŠAVRIĆ"

OOUR Tvornica namještaja

Vrbovec

Proces širinskog spajanja masivnog drva počinje krojenjem i sušenjem elemenata. Zatim slijedi obrada bazne plohe i sljubnice na ravnalici.

Za lijepljenje koriste PVA ljepilo ROTOKOL-1102. Ljepilo je imalo viskozitet $\text{JUS } 6/20^{\circ} \text{ C } 570 \text{ s}$.

Nanošenje ljepila vrši se četkom. Otvorenog vremena praktički i nema, jer se elementi odmah nakon nanošenja ljepila ulažu u uređaj za stezanje.

Uređaj za stezanje je pneumatska prizmatična preša tipa "Đurđenovac OTHP". Tlak zraka u cilindrima iznosi je 6 bara, a vrijeme stezanja bilo je 15 minuta.

Kondicioniranje slijepljenih elemenata je obično preko noći, a najmanje 8 sati, nakon čega slijedi daljnja obrada.

Za naše uzorke uzeti su hrastovi elementi iz redovne proizvodnje. Broj uzoraka i proba za ispitivanje čvrstoće na smik dani su u tablici 4.

Tab. 4

Vrsta d r v a	Debljina mm	Broj uzoraka	Broj proba
Hrastovina	20	5	51

Prosječne dimenzije uzorka bile su 380 x 380 mm. Nakon kompletiranja i označavanja uzoraka izmjeren im je sadržaj vode električnim vlagomjerom, uzdužna geometrija sljubnica i snimljena su kontaktna mjesta u sljubnici, ranije opisanim metodama.

Lijepljenje uzoraka izvedeno je ljepilom Rotokol-1102 kojem je prije nanošenja dodano malo vodenog močila u prahu, zbog ranije navedenih razloga.

Ljepilo je nanošeno kistom na obje plohe sljubnice, a nakon toga uzorci su uloženi u prešu.

Specifični pritisak iznosio je $2,5 \text{ daN/cm}^2$.

Vrijeme stezanja iznosilo je 60 minuta, a nakon toga uzorci su izvađeni iz preše i kondicionirani 8 sati.

Nakon kondicioniranja uzorci su dvostrano blanžani i iz njih su izrađene probe za ispitivanje čvrstoće spoja na smik.

DIK "PAPUK"

Pakrac

Proces širinskog spajanja masivnog drva počinje krojenjem i sušenjem elemenata. Nakon sušenja elementi se uskladištavaju u prostoru koji ima mogućnost regulacije relativne zračne vlage i temperature, kako bi se izjednačio sadržaj vode između elemenata i po rresjeku svakog elementa. Iz prostora za kondicioniranje uzet je jedan uzorak na kojem je istražen gradijent vlage.

Zatim slijedi obrada bazne plohe na ravnalici i sljubnice na glodalici, na čijem vretenu je montirana kružna pila ili glava s noževima. Dakle vidljivo je da se sljubnice obrađuju na stolnoj glodalici na dva načina.

Za lijepljenje koriste ljepilo TITEBOND REGULAR, koje je imalo viskozitet $JUS\ 6/20^{\circ}\ C\ 307s$. Pokušali su koristiti i RAKOL LP75/84 i smatraju da se ta dva ljepila ne razlikuju po kvaliteti.

Nanošenje ljepila vrši se četkom.

Otvorenog vremena praktički nema, jer se elementi, odmah nakon nanošenja ljepila, ulažu u uređaj za stezanje.

Uređaj za stezanje je zvjezdasta preša, a pritisak se ostvaruje ručno, pomoću dva vretena u svakoj etaži.

Vrijeme stezanja je 1 sat.

Kondicioniranje slijepljenih elemenata je preko noći, nakon čega slijedi daljnja obrada.

Naši uzorci izrađeni su od hrastovih i bukovih elemenata, koji su slijepljeni Titebond i Rakol ljepilom. Broj uzoraka i proba za ispitivanje čvrstoće na smik prikazan je u tablici 5 .

Tab. 5

Vrsta d r v a	Obrada sljubnice	Vrsta ljepila	Debljina mm	Broj uzoraka	Broj proba
Bukovina	kružna pila	Titebond	35	3	38
Bukovina	kružna pila	Rakol LP 75/84	35	3	51
Bukovina	glava s noževima	Titebond	35	1	12
Hrastovina	kružna pila	Titebond	32	3	48

Prosječne dimenzije uzorka bile su 450 x 450 mm. Nakon kompletiranja i označavanja uzoraka izmjeren im je sadržaj vode električnim vlagomjerom, uzdužna geometrija sljubnica i snimljena su kontaktna mjesta u sljubnici ranije opisanim metodama.

Lijepljenje uzoraka izvedeno je ljepilom TITEBOND REGULAR i RAKOL LP 75/84, kao što je navedeno u tablici 5. Ljepilima je prije nanošenja dodano malo vodenog močila u prahu zbog ranije navedenih razloga.

Ljepilo je nanošeno kistom na jednu plohu sljubnice, a nakon toga uzorci su uloženi u prešu.

Vrijeme stezanja iznosilo je 60 minuta, a nakon toga uzorci su izvađeni iz preše i kondicionirani 12 sati.

Nakon kondicioniranja uzorci su dvostrano blanžani i iz njih su izrađene probe za ispitivanje čvrstoće na smik.

U nastavku dajemo kompletan prikaz istraživanih parametara u tablici 6.

Parametri su imali karakteristike i veličine koje su naznačene u tablici, no u procesu širinskog spajanja masivnog drva lijepljenjem javljaju se i drugi parametri koji nisu navedeni u ranije spomenutoj tablici i koji u ovom radu nisu imali konstantne vrijednosti. Iz ove grupe parametara spomenut ćemo najvažnije, a to su:

- makro i mikro geometrija sljubnice,
- sadržaj vode elemenata.

Dakle elementi koji su uzeti za istraživanje nisu selekcionirani ni po jednom od dva ranije spomenuta parametra, već su odabrani po principu slučajnih uzoraka, ali su oba parametra mjerena.

Sadržaj vode mjeren je na svakom elementu prije samog lijepljenja, a isto i geometrija sljubnice, kao što je već ranije opisano.

Za ovakvu metodu odlučili smo se iz dva razloga.

Prvi razlog bio je da dobijemo što realnije rezultate. Naime selekcioniranjem elemenata dobili bi daleko veće čvrstoće spojeva koje ne bi odgovarale rezultatima koji se postižu u praksi.

Drugi razlog je bio da ustanovimo veličine navedenih parametara kod različitih tehnoloških procesa, te da na osnovi tih veličina odredimo najpovoljniji tehnološki proces. Rezultati ovih parametara bit će prikazani u točki 6. Rezultati istraživanja.

4.4 Opis istraživanja u laboratoriju

Laboratorijski dio istraživanja rađen je u laboratoriju Zavoda za istraživanja u drvnoj industriji Šumarskog fakulteta u Zagrebu. Istraživanja su sadržavala mjerenja debljine sloja ljepila u sljubnici pomoću stereo mikroskopa povećanja 60x, a zatim je izvršeno precizno mjerenje i izračunavanje površine onog dijela sljubnice na probi na kojem će se dogoditi lom i kidanje proba na kidalici WOLPERT. Izmjerena je i mikrogeometrija sljubnica kontaktnom metodom.

Kompletan prikaz istraživanih parametara

Tab. 6

Radna organizacija	Vrsta drva	Debljina mm	Obrada sljubnice na	Vrsta ljepila	Temp. pres. °C	Specifični pritisak daN/cm ²	Trajanje pritiska min	Otvoreno vrijeme min	Vrijeme kondicioniranja sati	Broj slijepljenih ploča (uzoraka)	Broj proba
"RADIN" Ravna Gora	bukovina	20	ravnalici	MITOPUR 402-5 A + 5% otvrdivača	61	14,8	1,5	0,5	12	5	50
"	"	20	kr. pili	TITEBOND regular	61	14,8	1,5	0,5	12	7	69
"	"	20	"	"	61	14,8	1,5	0,5	12	6	60
"	"	20	ravnalici	MITOPUR 402-5 A bez otvrdivača	61	14,8	1,5	0,5	12	5	50
"	"	20	"	MITOPUR 402-5 A + 5% otvrdivača	61	14,8	1,5	0,5	12	5	50
"	"	20	"	TITEBOND reg.	61	14,8	1,5	0,5	12	5	50
"	"	20	"	LENDUR	61	14,8	1,5	0,5	12	5	50
"	"	20	"	MITOPUR:LENDUR = 1:1	61	14,8	1,5	0,5	12	4	40
"	"	20	"	MIT.:LEN. = 2:1	61	14,8	1,5	0,5	12	2	20
"	"	20	"	"	61	14,8	1,5	0,5	12	3	30
"	"	20	"	MIT.:LEN. = 3:1	61	14,8	1,5	0,5	12	4	40
"	"	20	"	JOWAT PVAC	61	14,8	1,5	0,5	12	3	30
"	"	20	"	MITOPUR 402-5 A + 5% otvrdivača	61	14,8	1,5	0,5	12	5	50
"	"	20	"	"	75	14,8	1,5	0,5	12	5	50
"	"	50	"	"	61	5,92	1,5	0,5	12	2	20x(2)
"	"	50	"	"	61	5,92	1,5	0,5	12	2	20x(2)
"	"	50	"	TITEBOND reg.	61	5,92	1,5	0,5	12	1	10x(2)
"	"	50	"	"	61	5,92	1,5	0,5	12	1	10x(2)
"	"	20	"	MITOPUR 402-5 A + 5% otvrdivača	61	14,8	1,5	0,5	12	5	50
"	"	20	"	"	61	20,4	1,5	0,5	12	5	50
"	"	20	"	"	61	31,6	1,5	0,5	12	5	50
"	"	20	"	"	61	14,8	1,0	0,5	12	5	50
"	"	20	"	"	61	14,8	2,0	0,5	12	5	50
"	"	20	"	"	61	14,8	2,5	0,5	12	5	50
"	"	20	"	"	61	14,8	1,5	10	12	3	30
"	"	20	"	"	61	14,8	1,5	15	12	3	30
"	"	20	"	"	61	14,8	1,5	20	12	3	30
"	"	20	"	TITEBOND reg.	61	14,8	1,5	0,5	0	3	48
"	"	20	"	JOWAT PVAC	61	14,8	1,5	0,5	0	2	32
"	"	20	"	TITEBOND reg.	61	14,8	4,5	0,5	5 dana	2	31
"	"	20	"	JOWAT PVAC	61	14,8	1,5	0,5	5 dana	1	15
"	"	20	"	MITOPUR 402-5 A + 5% otvrdivača	20	Bučna preša	40	0,5	12	3	30
"SAVRIC" Krapina	"	32	kr. pili	TITEBOND reg.	20	10,5	60	0,5	8	3	64
"	"	43	"	"	20	7,8	60	0,5	8	3	64
"SAVRIC" Vrbovec	hrastovina	20	ravnal.	ROKOL 1102	20	2,5	60	0,5	8	5	51
"PAPUK" Pakrac	bukovina	35	kr.pili na glod.	TITEBOND reg.	20	-	60	0,5	12	3	38
"	"	35	"	"	20	-	60	0,5	12	3	51
"	hrastovina	32	"	RAKOL LP 75/84	20	-	60	0,5	12	3	48
"	bukovina	35	stol.glod. dalice	TITEBOND reg.	20	-	60	0,5	12	1	12

5. ANKETA, REZULTATI ANKETE I DISKUSIJA

Anketa je provedena u 6 radnih organizacija na području SR Hrvatske, koje pored ostalog u svojim proizvodnim procesima imaju i širinsko spajanje masiva. U upitnik je trebalo unijeti podatke o:

- proizvodnom programu,
- sirovini,
- sušenju sirovine,
- tehnološkom procesu širinskog spajanja masiva od krojenja do površinske obrade i uskladištenja gotovih proizvoda,
- ostalo.

5.1. Diskusija o rezultatima ankete

Iz tablice 7 je vidljivo da anketirane RO imaju različite proizvodne programe, no zajednička karakteristika im je da za navedene proizvode trebaju ploče od masivnog drva, pa ih radi toga proizvode u svojim pogonima. Za proizvodnju ploča najviše se koristi bukovina, zatim hrastovina, jelovina i jasenovina. U proizvodnji najčešće dolaze osušeni gotovi elementi. Radne organizacije uglavnom su orijentirane na sirovinu iz vlastitih pilana.

Vidljivo je da trupci na stovarištu odleže kratko vrijeme (1/2 do 6 mjeseci). Parenje bukovine ne vrši nijedan od anketiranih proizvođača. Prirodno sušenje traje relativno kratko, što je uzrok visokom sadržaju vode u početku umjetnog sušenja, kao i velikim varijacijama sadržaja vode.

Različite vrste drva ne suše se zajedno, ali se kod nekih proizvođača, vjerovatno zbog boljeg korišćenja kapaciteta sušionica, prakticira sušenje različitih debljina zajedno, a to je nepovoljno kako sa stanovišta energetske potrošnje, tako i sa stanovišta kvalitete osušene građe.

Medij za navlaživanje uglavnom je vodena para, što je povoljnije od navlaživanja vodom.

Izjednačavanje i kondicioniranje uglavnom se obavlja, nakon čega se građa uskladištava u prostoru koji nema moguć-

nosti kondicioniranja, osim kod DIK "PAPUK" Pakrac. Kondicioniranje pogona ne obavlja se ni u jednoj radnoj organizaciji.

Kontrola sirovine i obrađenih elemenata kod nekih radnih organizacija postoji, a kod nekih ne, no svi anketirani proizvođači vrše sortiranje po boji i teksturi što je svakako povoljno kako iz estetskih razloga, tako i iz razloga kvalitete slijepljenog spoja.

Od vrsta ljepila najviše se koristi PVA ljepilo i Titebond, a način nanošenja ljepila je pomoću kista ili valjka. Ljepilo se obično nanosi na jednu plohu sljubnice no povoljnije bi bilo kad bi se nanosilo na obje plohe.

Sljubnice se obrađuju na ravnalici, stolnoj glodalici i kružnom pilom blanjalicom. Najpovoljniji način obrade je kružnom pilom blanjalicom.

Iz rezultata usporedbe ostalih parametara vidljivo je da se sirovina za vlastite pilane nabavlja uglavnom iz okolnih šumarija. O klimatskim uvjetima na područjima anketiranih radnih organizacija nema dovoljno pouzdanih podataka, što govori da se ti uvjeti ne prate.

Prirodnom sušenju trebalo bi posvetiti više pažnje i to u prvom redu boljem uređenju terena, dakle čišćenju od korova, izvođenju drenaže i kanala za odvod podzemnih i površinskih voda. Također treba voditi više računa o pravilnom slaganju i pokrivanju složajeva.

Umjetno sušenje provodi se u različitim tipovima sušionica od starih klasičnih zidanih sušionica sa "foxboro" uređajima za kontrolu i regulaciju parametara sušenja, pa do modernih sušionica gdje se praćenje i upravljanje procesom sušenja vrši putem elektronike. Najčešće greške od sušenja su vitoperenje, nutarnje pukotine i čeone pukotine. Kontrola unutarnjih naprezanja vrši se povremeno ili se uopće ne vrši, te postoji mogućnost pojave unutarnjih naprezanja u elementima koji će se koristiti za izradu ploča od masivnog drva. Kod takvih elemenata nemoguće je izraditi sljub-

nice pravilne makrogeometrije, što se kasnije odražava na kvalitet i čvrstoću slijepljenog spoja.

Manipulacija građom obavlja se raznim tipovima viličara, osim kod starih klasičnih sušionica, gdje se to vrši vagonetima.

Tehnologija krojenja obavlja se po shemi:

- poprečno krojenje na raznim tipovima kružnih pila za poprečno krojenje,
- uzdužno krojenje na kružnim ili tračnim pilama.

U radnoj organizaciji "SPIN VALIS" Sl.Požega elementi se ne kroje u finalnom pogonu.

Kod obrade iskrojenih elemenata postoje uglavnom četiri načina:

1. Izrada baznih ploha dvostranim blanjanjem i izrada sljubnice na kružnoj pili blanjalici.
2. Izrada bazne plohe na ravnalici i izrada sljubnice na kružnoj pili montiranoj na osovini stolne glodalice.
3. Izrada bazne plohe na ravnalici i izrada sljubnice na stolnoj glodalici sa glodalom.
4. Izrada bazne plohe i sljubnice na ravnalici.

Možemo reći da je s obzirom na mikro i makrogeometriju sljubnice najpovoljniji način 1., a najnepovoljniji način 4. Konstrukcijski oblik sljubnice je kod svih anketiranih tupi sljub.

Koriste se različiti uređaji za pritezanje, koji se mogu podijeliti prema načinu ostvarivanja pritiska na:

- hidraulične preše (Vrbovsko, Ravna Gora, Krapina),
- pneumatske preše (Sl.Požega, Vrbovec),
- ručno stezanje pomoću vretena (Pakrac).

Prema konstrukciji preše dijelimo na:

- zvjezdaste okretne preše (Krapina, Vrbovsko, Pakrac),

- prizmatske okretne preše (Sl.Požega, Vrbovec),
- protočne preše (Ravna Gora).

Intenzifikacija otvrdnjavanja ljepila primjenjuje se jedino u "RADIN-u" Ravna Gora i to pomoću VF uređaja.

Općenito možemo reći da su u ovom istraživanju bile bolje hidraulične preše od pneumatskih, zbog većeg specifičnog pritiska koji se na tim uređajima postiže.

Zvezdasta preša sa ručnim stezanjem vretena, s kojim radi "PAPUK" Pakrac može ostvariti velike pritiske, ali ti pritisci nisu konstantni, ne mogu se regulirati i nisu jednoliko raspoređeni po sljubnici, već su na krajevima na kojima se nalaze vretena pritisci veći, nego u srednjem dijelu sljubnica. To može izazvati istiskivanje ljepila iz zona sa prevelikim pritiskom, što nepovoljno djeluje na kvalitet i čvrstoću spoja. Osim toga ovakav način rada izaziva pojačan fizički napor radnika. Navedeni nedostaci mogli bi se djelomično otkloniti uvođenjem pneumatskog pištolja sa moment glavom za pritezanje.

VF protočna preša koju koriste u "RADIN-u" Ravna Gora ima veliki kapacitet, no zahtjeva strogo pridržavanje režima lijepljenja, a naročito sadržaja vode drva i geometrije sljubnica. Smatramo da PVA ljepilo koje se momentalno koristi nije najpovoljnije zbog svojih termoplastičnih karakteristika. Naime ukoliko se zbog nepravilne geometrije sljubnica ili nekog drugog razloga, nakon vađenja elemenata iz preše, pojave u zoni sljubnica unutarnja naprezanja postoji mogućnost otvaranja sljubnica, jer su drvo i ljepilo zagrijani, a zbog termoplastičnih karakteristika ljepila nije tog momenta postignuta dovoljna čvrstoća spoja.

Kontrola vremena i pritiska lijepljenja, te kontrola slijepljenih ploha provodi se povremeno ili se uopće ne provodi, pa bi tome trebalo posvetiti veću pažnju.

Nakon vađenja slijepljenih ploha iz uređaja za pritezanje i kondicioniranja slijedi daljnja mehanička obrada koja je približno ista kod svih anketiranih i sastoji se od

slijedećih operacija:

- blanjanje na zadanu debljinu,
- formatiziranje,
- obrada rubova,
- bušenje,
- brušenje.

Najčešća greška koja se pojavljuje, već u ovoj fazi obrade, je otvaranje sljubnica što govori da sa dotadašnjim procesom nešto nije bilo uredu.

Ne vrši se ni kontrola sadržaja vode slijepljenih ploča nakon tehnoloških navlaživanja, kao ni kontrola promjene oblika ploča i njihovih sastavnih dijelova.

Kod površinske obrade primjenjuje se močenje raznim močilima (vodena močila, uljna močila, temeljne boje) i nakon toga lakiranje uglavnom kod svih anketiranih sa NC lakom.

Primjenjuju se i različite tehnike nanošenja materijala za površinsku obradu.

Močilo se nanosi špricanjem, uranjanjem i brisanjem viška pigmenta i na stroju sa valjcima, ako se radi o potpuno ravnim plohama.

Lak se uglavnom nanosi nalijevanjem ili špricanjem.

Sušenje je uglavnom u protočnim konvekcijskim sušionicama.

Najčešća greška nakon površinske obrade kod svih anketiranih proizvođača koji koriste PVA ljepila je bubrenje ljepila u sljubnici (markiranje sljubnica).

O utjecaju pakiranja i uskladištenja gotovih proizvoda ne kvalitet slijepljenih ploča nismo dobili dovoljno podataka.

Iz analiza reklamacija pristiglih sa terena može se zaključiti da se reklamacije uglavnom odnose na otvaranje sljubnica, pukotine od sušenja i mehanička oštećenja.

Tablica 7

Anketa karakterističnih proizvođača masivnog namještaja (sažetak)

Parametri	R 0	DIK PAPUK Pakrac	DIP Vrbovsko	SPINVALIS Sl.Požega	RADIN Ravna Gora	ŠAVRIĆ Krapina	ŠAVRIĆ Vrbovec
Proizvodni program	- stolovi - stolice - uklade - ostalo	+	+	+	+	+	+
Vrsta drva	- hrastovina - bukovina - ostalo	+	+	+	+	+	+
Količina masivnog drva koja se preraduje	- mjesečno - 5 godišnje	1300 15615	800 9800	190 2280	800 9600	750 9000	300 3500
Debljine koje se širinski sprječuju /mm/		25, 32, 36, 45	38, 50, 65	25, 38, 50	25, 32, 38, 45, 60, 70	22 - 77	25, 32, 38
Šifre elemenata		3090 hrastovih 4090 bukovih		100%		Bu 100%	Br 100%
Pokrovci ljepljivi	- vlastita pilana - druge pilane - lomov. brušnice	90% - 10%	100% - -	100% - -	100% - -	100% - -	100% - -
Specifični preparati za el. glodalice		+	+	+	+	+	+
Vrijeme osušenja trup. priprema bukovina	1 mj. NE			1/2 mj. NE	6 mj. NI	NE	1 mj. NE
Preporučena suhoća mj.	3-12		5-8		6	4-6	6
Preporučeni sadržaj vlage	30-80%		20-40%		20-60%	25-40%	25-40%
Sadržaj vlage vrste zajedno	NE		NE		NE	NE	NE
Sadržaj vlage raznih deblj. zajedno	NE		DA/NE		DA	NE	DA
Metoda sušenja	vođa DA/DA		para DA/DA		para DA/DA	para DA/DA	vođa DA/DA
Preporučena suhoća vlage	7-9 Ka 6-8 W		5-9		8-10	7-9	8
Isključivanje suha grana	DA		DA		DA	DA	DA
Kondicioniranje skladišta	DA		NE		NE	NE	DA
Kontrola cirkulacije	DA		NE		NE	DA	NE
Kondicioniranje pogona	NE		NE		NE	DA	DA
Kontrola obradenih elemenata	DA		DA		DA	DA	DA
- prolazna	DA		NE		NE	DA	DA
- totalna	NE		NE		NE	DA	DA
Sortiranje po boji i teksturi	DA		DA		DA	DA	DA
Vrsta ljepljiva	PVA		Titebond		PVA	Titebond	PVA
Količina ljepljiva mj./god.							
Princip i kontrola ljepljiva	NE		NE		NE	550/6500 kg	750/9000 kg
Isključenost kapiciteta	DA		DA		DA	DA	NE
Redukcija elemenata	DA		NE		NE	DA	DA
Kontrola elemenata iz skladišta			NE		NE	DA	NE
Temperatura °C	- prostorija - ljepljiva - drva	15-20 15-20 15-20	12-22 12-22 12-22	18-20 18-20 18-20		18-22 18-22 18-22	18-20 18-20 18-20
Način nanošenja ljepljiva	- kist - valjci - drugo	+	+	+	+	+	+
Obrada sljubnice kruž.pilom		+	+	+	+	+	
Obrada sljubnice kruž.pilom na stol. glodalici		+					

6. REZULTATI PRETHODNIH ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

Cilj prethodnih istraživanja bio je da se razviju metode istraživanja, te da se dođe do orijentacionih vrijednosti istraživanih parametara, kako bi se na osnovi tih vrijednosti mogla isplanirati osnovna istraživanja i odrediti veličina uzoraka.

Rezultati prethodnih istraživanja prikazani su u tablici 8. U tablici je pored srednje čvrstoće prikazana standardna devijacija σ , zatim standardna greška $\sigma_{\bar{x}}$ i izračunate su granice povjerenja po obrascu:

$$P \left(\bar{x} - \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \cdot 1,96 < \mu < \bar{x} + \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \cdot 1,96 \right) = 0,95$$

Dakle uz vjerojatnost od 95% možemo očekivati da će se srednje vrijednosti čvrstoća osnovnog skupa kretati između donje i gornje granice povjerenja. Na kraju tablice izračunat je razmak povjerenja koji je u stvari razlika između gornje i donje granice povjerenja.

Ako na osnovi podataka iz tablice 8 pretpostavimo da je standardna devijacija osnovnog skupa $\sigma_0 = 27,30 \text{ daN/cm}^2$, a razmak povjerenja $14,09 \text{ daN/cm}^2$, tada uz rizik od 5% možemo izračunati potrebnu veličinu uzorka:

$$\sigma_{x_0} = \frac{14,09 : 2}{1,95} = 3,61$$

$$n = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_{x_0}^2} = \frac{745,29}{13,03} = 57$$

Dakle svaki istraživani parametar treba izračunati ispitivanjem najmanje 57 proba.

U točki 4.2. rečeno je da posmična naprezanja u probi možemo izazvati na dva načina. Prvi način je da probu razvlačimo ili da je tlačimo kao što je to prikazano na slici 9. Da bi ustanovili da li čvrstoća ovisi o načinu kida-

Tab. 8 Rezultati prethodnih istraživanja

Radna organizacija	Vrsta drva	Debljina	Broj proba	Srednja čvrstoća daN/cm ²	σ	$\sigma_{\bar{x}}$	Granice* povjerenja		Razmak povjerenja
							donja	gornja	
"ŠAVRIĆ"	HR	30	69	115,38	25,97	3,13	109,25	121,51	12,26
"ŠAVRIĆ"	HR	22	36	118,15	21,97	3,66	110,98	125,32	14,34
"ŠAVRIĆ"	BU	40	56(2)	143,21	23,44	3,13	138,08	149,34	12,26
"ŠAVRIĆ"	BU	30	56	107,97	29,48	3,94	100,25	115,69	15,44
DI VRBOVSKO	BU	30	70	135,09	35,67	4,11	127,03	143,15	16,12

$$\sigma_{sr} = 27,30$$

$$\bar{x} = 14,09$$

* Granice povjerenja izračunate su sa pouzdanošću od 95%

danja probe podijelili smo probe izrađene iz uzoraka DI Vrbovsko u dvije grupe, te smo u prvoj grupi izazvali lom tlačenjem, a u drugoj razvlačenjem probe u kidalici i dobivene čvrstoće testirali "t" testom. Rezultati ovog pokusa prikazani su u tablici 9.

Tab. 9

	Broj proba	Srednja čvrstoća daN/cm ²	s ²	sd ²	t
TLAK	42	131,52	1.604,53	76,77	1,02
VLAK	28	140,45	811,67		

S obzirom da je izračunato $t < 2$ možemo uz vjerojatnost pogreške od 5% tvrditi da između dviju testiranih srednjih čvrstoća ne postoji signifikantna razlika, pa prema tome zaključujemo da način kidanja proba ne utječe na čvrstoću. Odlučeno je da se u ovom pokusu probe kidaju tlačenjem.

Na uzorcima za prethodna istraživanja mjeren je i sadržaj vode. Rezultati su prikazani u tablici 10.

Tab. 10

Radna organizacija	Broj elemenata	Vrsta drva	u_{\max} (%)	u_{\min} (%)	\bar{u} (%)
"ŠAVRIĆ"	24	Hrastovina	12	5	8,23
"ŠAVRIĆ"	56	Bukovina	10	< 5	6,76
DI VRBOVSKO	40	Bukovina	6	< 5	5,05

Iz rezultata prikazanih u tablici vidljivo je da kod RO "ŠAVRIĆ" postoji velika varijabilnost u sadržaju vode između pojedinih elemenata, a srednji sadržaj vode bi odgovarao ukoliko pretpostavimo da će u toku daljnjeg tehnološkog procesa doći još do tehnološkog navlaživanja koje će povisiti sadržaj vode na 8 - 10%, što bi odgovaralo relativnoj vlazi zraka od 43 - 55% i temperaturi od 20° C.

Kod DI Vrbovsko ne postoji velika varijabilnost između sadržaja vode kod pojedinih elemenata, ali je srednji sadržaj vode prenizak. Kada se u toku tehnološkog procesa elementi navlaže za još 2%, tada će srednji sadržaj vode među elementima biti cca 7,05%, što odgovara relativnoj vlazi zraka od 37% i temperaturi od 20° C. Svi proizvodi koji u toku upotrebe dođu u prostorije sa višom relativnom vlagom zraka, navlaživat će se i bubriti. Ako se u nekom proizvodu dogodi da su zajedno slijepljene bočnica i blistača, tada će uslijed različitih koeficijenata bubrenja doći do markiranja sljubnice.

Zbog ranije nevedene problematike odlučeno je da se u osnovnim istraživanjima izmjeri i sadržaj vode elemenata prije lijepljenja.

7. METODE ISTRAŽIVANJA

U toku ovog istraživanja korišćene su slijedeće metode:

- izrada proba za ispitivanje čvrstoće slijepljenog spoja na smik,
- ispitivanje čvrstoće slijepljenog spoja,
- mjerenje sadržaja vode u elementima za lijepljenje,
- mjerenje mikro i makro geometrije sljubnice,
- utvrđivanje kontaktnih mjesta u sljubnici,
- mjerenje temperature prešanja u sljubnicama,
- mjerenje viskoziteta ljepila,
- mjerenje količine nanosa ljepila,
- mjerenje debljine skrutnutog sloja ljepila u sljubnici.

Izrada proba za ispitivanje čvrstoće spoja

Probe za ispitivanje čvrstoće spoja izrađene su iz uzoraka dobivenih širinskim spajanjem masiva, koji su se sastojali od tri ili više elemenata. Oblik i dimenzije proba, kao i shema izrade iz uzoraka prikazani su na slici 8.

Način izrade proba tekao je tako da su uzorci, nakon sljepljivanja i kondicioniranja, blanžani na zadanu debljinu (d). S obzirom da su elementi za izradu uzoraka odabrani iz redovne proizvodnje konačna debljina proba ovisila je o debljinama proizvoda za koje su ti elementi bili namijenjeni. Nakon toga izvršeno je zacrtavanje širine (20 mm) i uzdužno krojenje na tračnoj pili.

Kod uzoraka koji su bili deblji od 35 mm probe su piljene napola. Na taj način dobivene su dvije probe, a čvrstoća se računala tako da je suma čvrstoća od te dvije probe dijeljena sa 2.

Poprečno krojenje na dužinu od 100 mm izvršeno je na preciznoj poteznoj kružnoj pili, a zasijecanje preklopa na tračnoj pili. Gotove probe su šifrirane i pohranjivane u vreće od PVC folije. Šifra probe sadržavala je podatke o u-

zorku i položaju probe u uzorku.

Ispitivanje čvrstoće slijepljenog spoja

Ispitivanje čvrstoće slijepljenog spoja izvršeno je na kidalici WOLPERT. Posmična naprezanja izazvana su tlačenjem probe brzinom od 6 mm/min. Prije ulaganja probe u kidalicu izmjerene su dimenzije preklopa, kako bi se kasnije mogla izračunati površina. Dimenzije preklopa mjerene su pomičnim mjerilom s mogućnošću očitavanja od 0,1 mm. Nakon toga su probe ulagane u napravu za baziranje koja je prikazana na slici 10. Ova naprava osigurala je da djelovanje sile bude paralelno s površinom sljubnice. Nakon kidanja izračunata su naprezanja po formuli:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

τ ... čvrstoća slijepljenog spoja na smik /daN/cm²/

F ... sila loma /daN/

A ... površina preklopa /cm²/

Mjerenje sadržaja vode u elementima za lijepljenje

Mjerenje sadržaja vode u elementima za lijepljenje izvršeno je električkim valgomjerom RIZ HGR 20, a na uzorcima izrađenim u radnoj organizaciji "RADIN" Ravna Gora i gravimetrijski. Uzorci za mjerenje kojima je sadržaj vode određen gravimetrijskom metodom izdvojeni su od ostalog materijala nakon izrade proba.

Mjerenje mikro i makro geometrije sljubnice

Odmah nakon obrade sljubnica, na svakom elementu je izmjerena makro geometrija sljubnice. Sljubnice su mjerene uzdužno, a mjerna mjesta su se nalazila na mjestima preklopa na probama. U odnosu na debljinu elementa mjerenja su vr-

šena na sredini debljine. Poprečna geometrija sljubnice mjerena je na sredini dužine elementa na tri mjerna mjesta i to na samim krajevima i na sredini debljine. Raspored mjernih mjesta za uzdužno i poprečno mjerenje makrogeometrije sljubnice prikazan je na slici 11. Mjerenje je vršeno pomoću komparatora montiranog na nosač koji je klizio po vodilici uz koju je prislonjena sljubnica. Mogućnost očitavanja na komparatoru iznosila je 0,01 mm. Shematski prikazi uređaja za mjerenje uzdužne i poprečne makro geometrije sljubnice vidljivi su na slikama 12 i 13.

Utvrđivanje kontaktnih mjesta u sljubnici

Kontaktne mjesta u sljubnici snimljena su indigogram metodom.

Metoda se sastoji u tome da se umjesto ljepila između površina sljubnica postavi tanki papir i indigo. Zatim se uzorak uloži u uređaj za pritezanje i pritegne. Nakon vađenja iz uređaja za pritezanje na papiru ostanu markirana kontaktna mjesta.

Metoda je veoma jeftina i jednostavna, a daje uvid u mikro i makro geometriju sljubnice, kao i u distribuciju pritiska u sljubnici.

Mjerenje temperature prešanja u sljubnici

Temperatura u sljubnici mjerena je u radnoj organizaciji "RADIN" Ravna Gora, jer u ovoj organizaciji koriste intenzifikaciju otvrdnjavanja ljepila u sljubnici pomoću VF struje.

Temperatura u sljubnici mjerena je živinim termometrom i to tako da se kuglica sa živom ulagala u prethodno izrađen otvor u sljubnici odmah nakon isključivanja VF polja.

Mjerenje viskoziteta ljepila

Viskozitet ljepila mjeren je Fordovim viskozimetrom prema metodi predloženoj u JUS-u H.K8.022/1977.

Mjerenje količine nanosa ljepila

Zbog relativno malih količina ljepila, mnogo različitih vrsta ljepila i izvođenja istraživanja u različitim pogonima u ovom istraživanju ljepilo smo nanosili pomoću kista.

Nanesenu količinu ljepila izračunali smo tako da smo na 20 uzoraka bukovog furnira, koje smo prethodno izvagali, nanijeli ljepilo pomoću kista. Nakon nanošenja ljepila na furnir uzorke smo ponovo izvagali. Iz razlika masa furnira sa ljepilom i bez ljepila i površina furnira izračunata je prosječna količina nanesenog ljepila.

Mjerenje debljine skrutnutog sloja ljepila u sljubnici

Ovo mjerenje je izvršeno pomoću mjernog mikroskopa uz povećanje od 60x. Mjerno mjesto je bilo na sredini dužine preklopa na probi.

8. POKUSNI MATERIJAL

Kao pokusni materijal u ovom radu korišćena je bukovina i hrastovina, kao i različita ljepila koja navodimo:

- MITOPUR 402 - 5A
- TITEBOND REGULAR
- LENDUR PS
- JOWAT PVAc sa kratkim otvorenim vremenom
- ROTOKOL 1102
- RAKOL LP 75/84

9. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Rezultate istraživanja podijelili smo u tri grupe:

- Rezultati istraživanja čvrstoće proba za različite parametre;
- Rezultati istraživanja geometrije sljubnice;
- Rezultati istraživanja sadržaja vode u elementima pripremljenim za lijepljenje

9.1. Rezultati istraživanja čvrstoće proba za različite parametre

Rezultati istraživanja prikazani su u tablici 11. U prvoj koloni tablice navedene su vrijednosti ili karakteristike istraživanih parametara.

U radnoj organizaciji "RADIN" Ravna Gora istraživani su parametri:

1. Obrada sljubnice
2. Vrsta ljepila
3. Režim lijepljenja

Svi uzorci izrađeni su iz bukovine, kao što je opisano u poglavlju 4. Sljubnice su bile izrađene na ravnalici, osim kod parametra 1b.

Svi uzorci, osim uzoraka za parametre 2a, 2c, 2d, 2e, 2f, 2g i 2h bili su slijepljeni sa PVA ljepilom MITOPUR 402-5A uz dodatak 5% otvrdivača. Uzorci za istraživanje parametara pod oznakom 2a, 2c, 2d, 2e, 2f, 2g i 2h slijepljeni su ljepilima kao što je prikazano u tablici i opisano u poglavlju 4.

Srednja temperatura u sljubnici bila je kod svih uzoraka 61°C , osim kod uzoraka za parametar 3b, kod kojih je srednja temperatura iznosila 75°C .

Svi uzorci imali su debljinu 20 mm, osim uzoraka za parametre 3c i 3d, koji su imali debljinu 50 mm.

Pokazatelji čvrstoće spoja

Tab. 11.

Promatrani parametar	Vrsta ljepljiva	Loz po drvu	Loz po drvu i sloju ljepljiva	Loz po sloju ljepljiva	Srednja čvrstoća	Faktor ukupne čvrstoće
		[%]	[%]	[%]	[daN/cm ²]	[%]
"RADIN" Ravna Gora						
1. OBRADA SLJUBNICE						
a) Ravnalica	A	27	28	83	85,14	64
b) Kružna pila blanjalica	T	68	10	27	102,32	82
	A	48	28	28	85,15	71
2. VRSTA LJEPLIVA						
a) PVA bez otvrdivača (P)	P	12	22	88	51,44	59
b) PVA+5% otvrdivača (Po)	A	12	34	34	75,66	65
c) "Titebond" (Vrbovsko) (T)	T	48	22	30	102,11	87
d) KF (K)	K	38	34	28	86,16	64
e) PVA:KF = 1:1 (PK1)	PK1	15	62,8	25	39,54	83
f) PVA:KF = 2:1 (PK2)	PK2	45	50	8	122,40	84
	PK2	60	20	20	112,85	89
g) PVA:KF = 3:1 (PK3)	PK3	25	40	35	78,35	67
h) "Jovat" (J)	J	43	30	27	107,93	87
3. REŽIM LIJEPLJENJA						
a) Temperatura 61° C	P ₂	46	34	20	102,63	89
b) " 75° C	P ₂	26	41	32	96,80	80
c) " 61° C	P ₂	32,5	52,5	10	120,31	94
d) deblji elementi	T	40	25	35	116,24	79
e) Temperatura 61° C	P ₂	13	37,5	32,5	122,31	86
f) deblji elementi	T	40	15	45	119,70	36
g) Spec.prit. 14,8 daN/cm ²	P ₂	36	30	34	109,30	87
h) " 20,4 " "	P ₂	44	28	30	92,91	81
i) " 31,6 " "	P ₂	28	30	24	104,23	34
j) Vrijeme traj.prit. 1'	P ₂	34	42	24	104,23	85
k) " " 2,5'	P ₂	22	30	48	77,07	68
l) " " 5'	P ₂	56	26	18	110,83	87
m) Otvoreno vrijeme 10'	P ₂	70	30	18	123,47	94
n) " " 15'	P ₂	30	47	13	102,50	85
o) " " 20'	P ₂	33	60	7	134,03	93
n) Uzorci sa komparacijom	P ₂	23	54	23	108,26	79
DIK "PAPUK" Pakrac						
1. BUKOVINA debljine 35 mm ljepljivo "Titebond", sljubnica izrađena kruž.pilom	T	53	28	21	136,12	81
2. BUKOVINA debljine 35 mm ljepljivo "Rakol" LP 75/84 sljub.israd.s kruž.pilom	P ₂	53	41	6	141,08	101
3. HRASTOVINA debljine 32 mm ljepljivo "Titebond", sljubnica izrađena s kruž.pilom	T	56	44		122,52	97
4. BUKOVINA debljine 35 mm ljepljivo "Titebond", sljubnica izrađena s glodalom	T	67	33		145,95	92
"ŠAVRIĆ" Krapina						
1. BUKOVINA debljine 32 mm ljepljivo "Titebond", sljubnica izrađena s kruž.pilom	T	61	39		151,98	100
2. BUKOVINA debljine 43 mm ljepljivo "Titebond", sljubnica izrađena kruž.pilom	T	72	26		142,36	101
"ŠAVRIĆ" Vrbovec						
1. HRASTOVINA debljine 20 mm ljepljivo "Rotokol" 1102, sljub.israđena na ravnalici	P ₂	12	88		106,78	109

64

Specifični pritisak kod svih uzoraka iznosio je $14,8 \text{ daN/cm}^2$, osim kod uzoraka za parametre 3c, 3d, 3f i 3g. Kod uzoraka 3c i 3d specifični pritisak iznosio je $5,92 \text{ daN/cm}^2$, a kod uzoraka 3f i 3g kao što je navedeno u tablici 11.

Vrijeme trajanja pritiska iznosilo je kod svih uzoraka 1,5 min, osim kod uzoraka 3h, 3i i 3j kod kojih su ta vremena iznosila kao što je navedeno u tablici.

Otvoreno vrijeme iznosilo je kod svih uzoraka 0,5 min, osim kod uzoraka za parametre 3k, 3l i 3m kod kojih su ta vremena iznosila kao što je navedeno u tablici.

Svi uzorci lijepljeni su u hidrauličnoj protočnoj VF preši tipa VF-S/23/1700 proizvodnje KLI Logatec. Uzorci za parametar 3n lijepljeni su u uređaju za pritezanje sa vretenom i služili su za komparaciju.

Kod parametara koji se odnose na DIK "PAPUK" Pakrac potrebno je osim karakteristika navedenih u tablici još navesti da je pritezanje izvršeno u zvjezdastoj preši, ručno pomoću vretena. Temperatura je iznosila 20° C , a vrijeme trajanja pritiska bilo je 60 minuta.

Kod parametara koji se odnose na RO "ŠAVRIĆ" OOUR Krapina potrebno je osim karakteristika navedenih u tablici još navesti da je pritezanje izvršeno u zvjezdastoj hidrauličnoj preši tipa "ŽIČNICA" HSR 1974, te da je specifični pritisak kod uzoraka debljine 32 mm iznosio $10,5 \text{ daN/cm}^2$, a kod uzoraka debljine 43 mm $7,8 \text{ daN/cm}^2$. Temperatura prešanja bila je 20° C , a vrijeme stezanja iznosilo je 60 min.

Kod parametara koji se odnose na RO "ŠAVRIĆ" OOUR Vrbovec potrebno je osim karakteristika navedenih u tablici još navesti da je pritezanje izvršeno u okretnoj trostranoj pneumatskoj preši tipa OTPP proizvodnje Đurđenovac. Specifični pritisak iznosio je $2,5 \text{ daN/cm}^2$. Temperatura prešanja bila je 20° C , a vrijeme stezanja iznosilo je 60 minuta.

Na sve uzorke ljepilo je nanošeno ručno pomoću četke.

Svi navedeni parametri prikazani su i tablično u poglavlju 4. tablica 6. Druga kolona tab. 11 odnosi se na podatke o vrsti ljepila. Niže dajemo značenje kratica:

P = MITOPUR 402-5A bez dodatka otvrdivača

Po = MITOPUR 402-5A sa dodatkom 5% otvrdivača

K = LENDUR (2 kg KF smole; 20 dakg NH_4Cl ; 1% uree)

PK1 = MITOPUR sa otvrdivačem : LENDUR = 1 : 1

PK2 = MITOPUR sa otvrdivačem : LENDUR = 2 : 1

PK3 = MITOPUR sa otvrdivačem : LENDUR = 3 : 1

T = TITEBOND REGULAR

J = JOWAT PVAC ljepilo s kratkim otvorenim vremenom

Ra = RAKOL LP 75/84

Ro = ROTOKOL 1102

U trećoj, četvrtoj i petoj koloni tablice nalaze se podaci o postotku loma po drvu, sloju ljepila i kombiniranom lomu po drvu i sloju ljepila. Ovi podaci dobiveni su analiziranjem preloma.

U šestoj koloni prikazana je srednja čvrstoća svih proba za određeni parametar.

U sedmoj koloni prikazan je "faktor ukupne čvrstoće", koji je dobiven dijeljenjem srednje čvrstoće sa srednjom čvrstoćom proba kod kojih se destrukcija dogodila po drvu.

$$\text{Faktor ukupne čvrstoće} = \frac{\sigma_{sr}}{\sigma_{drva}} \cdot 100 \quad \text{\%}$$

σ_{sr} = srednja čvrstoća na smik /daN/cm²/

σ_{drva} = srednja čvrstoća na smik proba sa destrukcijom po drvu /daN/cm²/

Analiziranjem preloma na probama ustanovljena su tri vida destrukcije:

- destrukcija po drvu,
- destrukcija po sloju ljepila,
- destrukcija po drvu i sloju ljepila.

Općenito se smatra da čvrstoća spoja zadovoljava ako destrukcija ide po drvu. To znači da bi srednja čvrstoća bila najveća kada bi kod svih proba u uzorku destrukcija išla po drvu. S obzirom da to u praksi nije slučaj faktor ukupne čvrstoće je obično manji od 100%. Dakle faktor ukupne čvrstoće nam pokazuje odnos između srednje čvrstoće i najveće čvrstoće lijepljenog spoja.

Može se dogoditi da faktor ukupne čvrstoće bude i veći od 100%. Ovakav slučaj dogodit će se kod primjene dobrog ljepila, režima lijepljenja i dobre obrade sljubnica, dakle kod spojeva visoke kvalitete ili ako su se na probama sa destrukcijom po drvu u blizini sljubnice nalazile neke greške drva koje mogu umanjiti čvrstoću drva. Tada će srednja čvrstoća biti veća od srednje čvrstoće proba s lomom po drvu, pa će i faktor ukupne čvrstoće biti veći od 100%.

Diskusija o rezultatima prikazanim u tablici 11.

Za sve parametre navedene u tablici 11 napravljena je analiza varijance čije rezultate prikazujemo u tablici 12.

Analiza varijance čvrstoće spojeva

Tab. 12

Izvori varijanci	Stupnjevi slobode	Suma kvadrata	Sredina kvadrata	F	F tablično 5%
Tretmani	34	759.465,02	22.337,21	14,08	1,43
Pogreške	1407	2232.086,75	1.586,42		
Ukupno:	1441	2991.551,77			

Iz tablice 12 vidljivo je da je $F > F$ tablično ($14,08 > 1,43$). Uz vjerojatnost pogreške od 5% možemo zaključiti da analizirane srednje čvrstoće ne potiču iz istog osnovnog skupa. To znači da razlike među njima nisu nastale slučajno, već su nastale kao rezultat djelovanja različitih parametara, odnosno različitih tehnoloških procesa.

Da bi mogli međusobno uspoređivati srednje čvrstoće za različite parametre, napravljena je tablica 13 iz koje možemo

Usporedbe srednjih čvrstoća za pojedine parametre

Tab. 15

Promatrani parametar	Vrsta ljepila	Redni broj	Srednja čvrstoća	Redni broj parametra s kojim se vrši usporedba																																				
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35		
"RADIN" Ravna Gora																																								
1. OBRADA SLJUBNICE																																								
a) Ravnalica	A	1	85.14																																					
b) Kružna pila blanjalica	T	2	109.32																																					
	A	3	86.15																																					
2. VRSTA LJEPILO																																								
a) PVA bez otvrdivača (P)	P	4	51.44																																					
b) PVA+5% otvrdivača (Po)	A	5	75.66																																					
c) "Titebond"(Vrbovsko)(T)	T	6	105.11																																					
d) KP (K)	K	7	86.16																																					
e) PVA:KF = 1:1 (PK1)	PK1	8	99.54																																					
f) PVA:KF = 2:1 (PK2)	PK2	9	122.40																																					
	PK3	10	113.65																																					
g) PVA:KF = 3:1 (PK3)	PK3	11	76.35																																					
h) "Jowat" (J)	J	12	107.93																																					
3. REŽIM LIJEPLJENJA																																								
a) Temperatura 610 C	A	13	108.63																																					
b) " 750 C	A	14	96.80																																					
c) " 610 C	A	15	120.31																																					
deblji elementi	T	16	116.24																																					
d) Temperatura 610 C	A	17	132.31																																					
deblji elementi	T	18	119.70																																					
e) Spec.prit. 14,8 daN/cm ²	A	19	109.30																																					
f) " 20,4 " "	A	20	96.94																																					
g) " 31,6 " "	A	21	101.23																																					
h) Vrijeme traj.prit. 1'	A	22	101.29																																					
i) " " " 2'	A	23	77.07																																					
j) " " " 2,5'	A	24	110.83																																					
k) Otvoreno vrijeme 10'	A	25	123.47																																					
l) " " " 15'	A	26	102.90																																					
m) " " " 20'	A	27	131.03																																					
n) Uzorci za komparaciju	A	28	108.76																																					
DIK "PAPUK" Pakrac																																								
1. BUKOVINA debljine 35 mm ljepilo "Titebond", sljub-nica izrađena kruž.pilom	T	29	136.12																																					
2. BUKOVINA debljine 35 mm ljepilo "Rakol" LP 75/84 sljub.izrađ.s kruž.pilom	Ra	30	141.08																																					
3. HRASTOVINA debljine 32 mm ljepilo "Titebond", sljub-nica izrađena s kruž.pilom	T	31	122.52																																					
4. BUKOVINA debljine 35 mm ljepilo "Titebond", sljub-nica izrađena s glodalom	T	32	145.95																																					
"ŠAVRIĆ" Krapina																																								
1. BUKOVINA debljine 32 mm ljepilo "Titebond", sljub-nica izrađena s kruž.pilom	T	33	151.96																																					
2. BUKOVINA debljine 43 mm ljepilo "Titebond", sljub-nica izrađena kruž.pilom	T	34	142.34																																					
"ŠAVRIĆ" Vrbovec																																								
1. HRASTOVINA debljine 20 mm ljepilo "Rotokol" 1102, sljub.izrađena na ravnalici	Ra	35	106.76																																					

vidjeti postoji li između dvije uspoređivane srednje čvrstoće statistički značajna razlika (oznaka "+" znači da razlika postoji, a "-" da je nema). Kod ovog testa vjerojatnost pogreške je 5%.

Iz tablice 13 vidljivo je da je najveća čvrstoća od 151,96 daN/cm² postignuta na uzorcima iz RO "ŠAVRIĆ" Krapina, koji su bili izrađeni iz bukovine debljine 32 mm i slijepljeni TITEBOND ljepilom. No ako pogledamo tablicu 13 vidjet ćemo da između spomenute najveće srednje čvrstoće i srednjih čvrstoća pod rednim brojevima 29, 30, 32 i 34 ne postoje statistički značajne razlike. Iz ovog možemo zaključiti da se najveće čvrstoće spoja postižu tehnološkim procesima koje koriste ove dvije radne organizacije, a koji su ranije opisani. Iz tablice 13 također je vidljivo da smo u radnoj organizaciji "PAPUK" Pakrac ispitali ljepilo RAKOL LP 75/84 koje je dalo jednako dobre rezultate, kao i ljepilo TITEBOND REGULAR. Kod usporedbi srednjih čvrstoća na uzorcima iz hrastovine vidljivo je da su veću čvrstoću imali uzorci iz Pakraca, nego uzorci iz Vrbovca, a između tih čvrstoća također postoji statistički značajna razlika.

U radnoj organizaciji "RADIN" Ravna Gora uspoređivani su parametri:

1. Obrada sljubnice
2. Vrsta ljepila
3. Režim lijepljenja

Iz tablice 11 vidljivo je da se postiže veća čvrstoća ako je sljubnica obrađena sa kružnom pilom blanjalicom, ali samo kod upotrebe TITEBOND ljepila, dok je kod upotrebe MITOPUR ljepila postignuta gotovo ista srednja čvrstoća i kod uzoraka obrađenih na kružnoj pili i na ravnalici. Razlog tome treba tražiti u velikim varijacijama i sadržaju vode pojedinih elemenata, uslijed čega u samom procesu prešanja, dok su elementi pod utjecajem VF polja, dolazi do njihovog mjestimičnog naglog sušenja i razvijanja unutarnjih naprezanja u sljubnicama. S obzirom da MITOPUR ljepilo spada u grupu PVA ljepila, zbog svoje termoplastične karakteristike ne postiže maksi-

malnu čvrstoću nakon vađenja iz preše, već tek kada se elementi i ljepilo u sljubnici ohlade. Pri popuštanju pritiska oslobađaju se unutarnja naprezanja nastala u elementima uslijed naglog sušenja izazvanog pod utjecajem VF polja i na taj način oslabljuje spoj. Makrogeometrija sljubnice koja je prije ulaganja elemenata u prešu bila korektna sada to više ne mora biti, jer se elementi uslijed naglog sušenja mogu deformirati. Ovo bi bilo korisno istražiti na taj način da se na elementima izmjeri makrogeometrija sljubnice, a nakon toga da se ti isti elementi bez ljepila ulože u prešu i prešaju pod uobičajenim režimom. Nakon vađenja elemenata iz preše trebalo bi ponovo izmjeriti makrogeometriju sljubnice, te izračunati razlike.

Ovdje moramo odmah napomenuti da smo kod istraživanja ovog tehnološkog procesa u nekim slučajevima dobili različite srednje čvrstoće iako su parametri procesa bili jednaki. Razlog tome su ranije opisana unutrašnja naprezanja na koja nismo mogli utjecati.

Pri istraživanju najpovoljnije vrste ljepila najveću čvrstoću su imali uzorci slijepljeni sa mješavinom PVA i KF ljepila u omjeru 2:1, a također i ljepila TITEBOND REGULAR i JOWAT i možemo reći da između čvrstoća dobivenih sa ova tri ljepila nema statistički značajnih razlika.

Pri istraživanju režima lijepljenja veća čvrstoća postignuta je pri srednjoj temperaturi u sljubnici od 61°C , nego kod temperature od 75°C , iako usporedba ovih dviju čvrstoća nije dala značajnu razliku. Kod lijepljenja debljih elemenata (50 mm) pri temperaturi u sljubnici od 61°C sa ljepilima MITOPUR i TITEBOND imali smo radi kontrole dvije grupe uzoraka i obje grupe su dale približno jednake rezultate, koji se međusobno statistički značajno ne razlikuju. Vrlo visoku srednju čvrstoću postigli smo upravo sa MITOPUR ljepilom. To se može objasniti činjenicama da je kod ovih elemenata bio manji specifični pritisak (6 daN/cm^2), pa možemo zaključiti da je ovaj specifični pritisak povoljniji, a također i time da se deblji elementi u VF polju sporije suše, pa se radi to-

toga i manje deformacije od tanjih elemenata što ima za posljedicu manja unutarnja naprezanja.

Kod specifičnog pritiska od 14,8, 20,4 i 31,6 daN/cm² postignute su nešto slabije srednje čvrstoće i između njih nema statistički značajnih razlika.

Najpovoljnije vrijeme trajanja pritiska je 2,5 min, a otvoreno vrijeme 20 min.

Uzorci za komparaciju zalijepljeni su istom vrstom ljepljiva, kao i uzorci 2b, koji su prešani u VF preši, te su uzorci za komparaciju postigli veću čvrstoću spoja. Ako znamo da su uzorci za komparaciju stezani u ručnoj preši sa vretenom i da je prešanje vršeno pri temperaturi od cca 20° C onda možemo pretpostaviti da su unutarnja naprezanja u sljubnici kod ovih uzoraka mnogo manja, nego kod uzoraka lijepljenih u VF preši, pa je zato i čvrstoća veća.

Rezultati istraživanja parametra "vrijeme kondicioniranja" nisu prikazani u tablici 11 radi toga jer je, kako je već ranije opisano, kod ovog parametra primjenjena drugačija metoda istraživanja. Rezultati ovog istraživanja prikazani su u tablici 14.

Srednje čvrstoće lijepljenog spoja kod istraživanja parametra "vrijeme kondicioniranja"

Tab. 14.

Vrijeme kondicioniranja	Ljepilo	Čvrstoća daN/cm ²	Broj proba
Bez kondicioniranja	T	84,60	48
	J	81,46	32
Kondicioniranje 5 dana	T	85,99	31
	J	78,51	15

Analiza varijance je pokazala da razlike čvrstoća nisu značajne, pa zaključujemo da duga vremena kondicioniranja ne utječu na čvrstoću spoja, što je u skladu sa istraživanjima Millett, M.A., Gillespie, R.H. i Baker, A.J. (47).

9.2. Rezultati istraživanja geometrije sljubnice

S obzirom da je geometrija sljubnice važan faktor za čvrstoću spoja u ovom radu posvećena je velika pažnja istraživanju ovog parametra.

Istraživanje je vršeno na nekoliko načina i to:

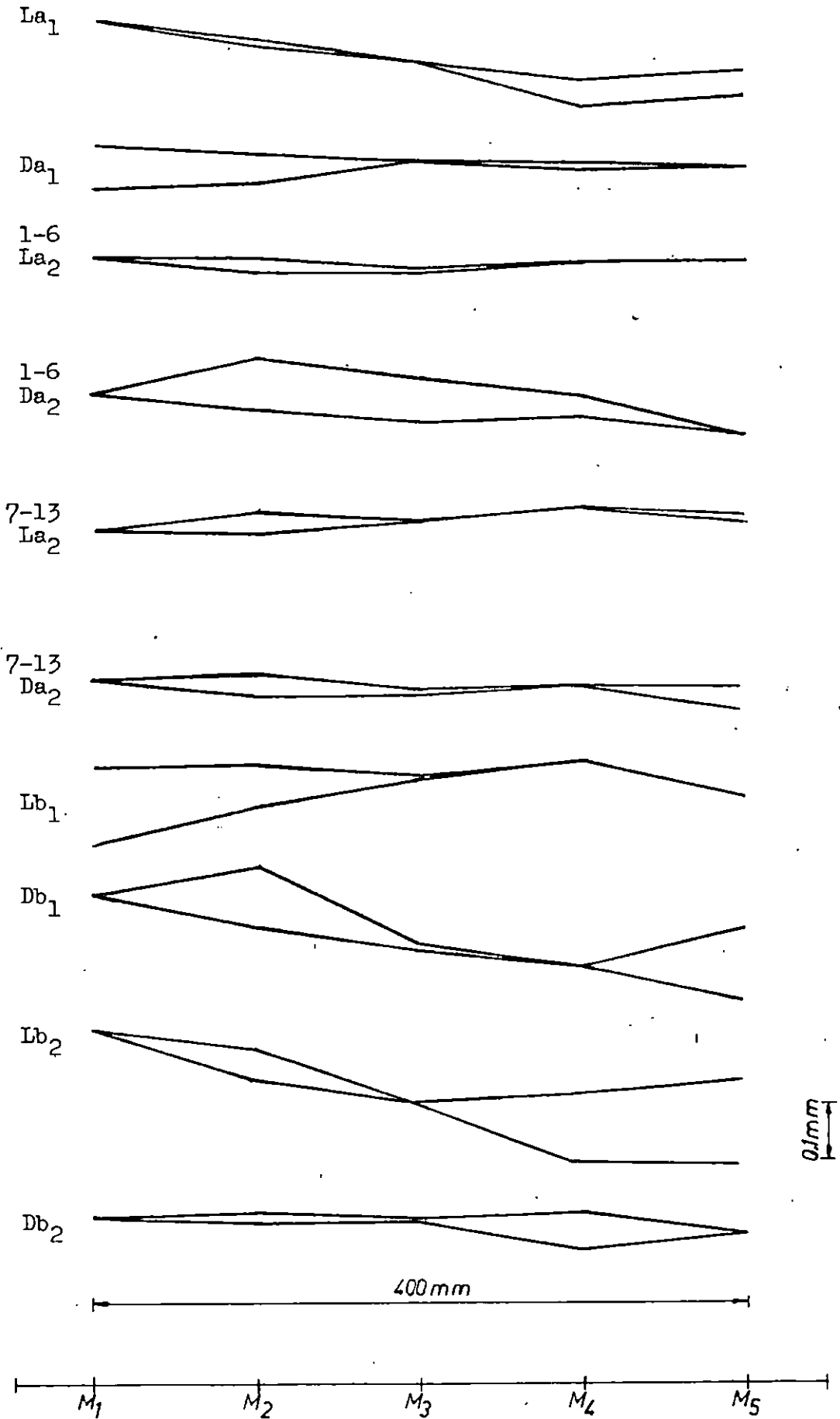
- mjerenje makrogeometrije sljubnica pomoću komparatora,
- istraživanje kontaktnih mjesta u sljubnici indigogram metodom,
- mjerenje mikrogeometrije sljubnice kontaktnom metodom,
- mjerenje debljine sloja ljepila u sljubnici.

Mjerenje makrogeometrije sljubnice vršeno je već ranije opisanom metodom. Iz podataka dobivenih mjerenjem konstruirani su makrogeometrijski oblici sljubnica koji su prikazani na slikama od 16 do 22.

Istraživanje kontaktnih mjesta u sljubnici izvršeno je ranije opisanom indigogram metodom. Za svaku radnu organizaciju u kojoj su vršena istraživanja odabrana su po dva karakteristična indigograma i prikazana na slici 23 i 24. Iz prikazanih indigograma možemo zaključiti sljedeće:

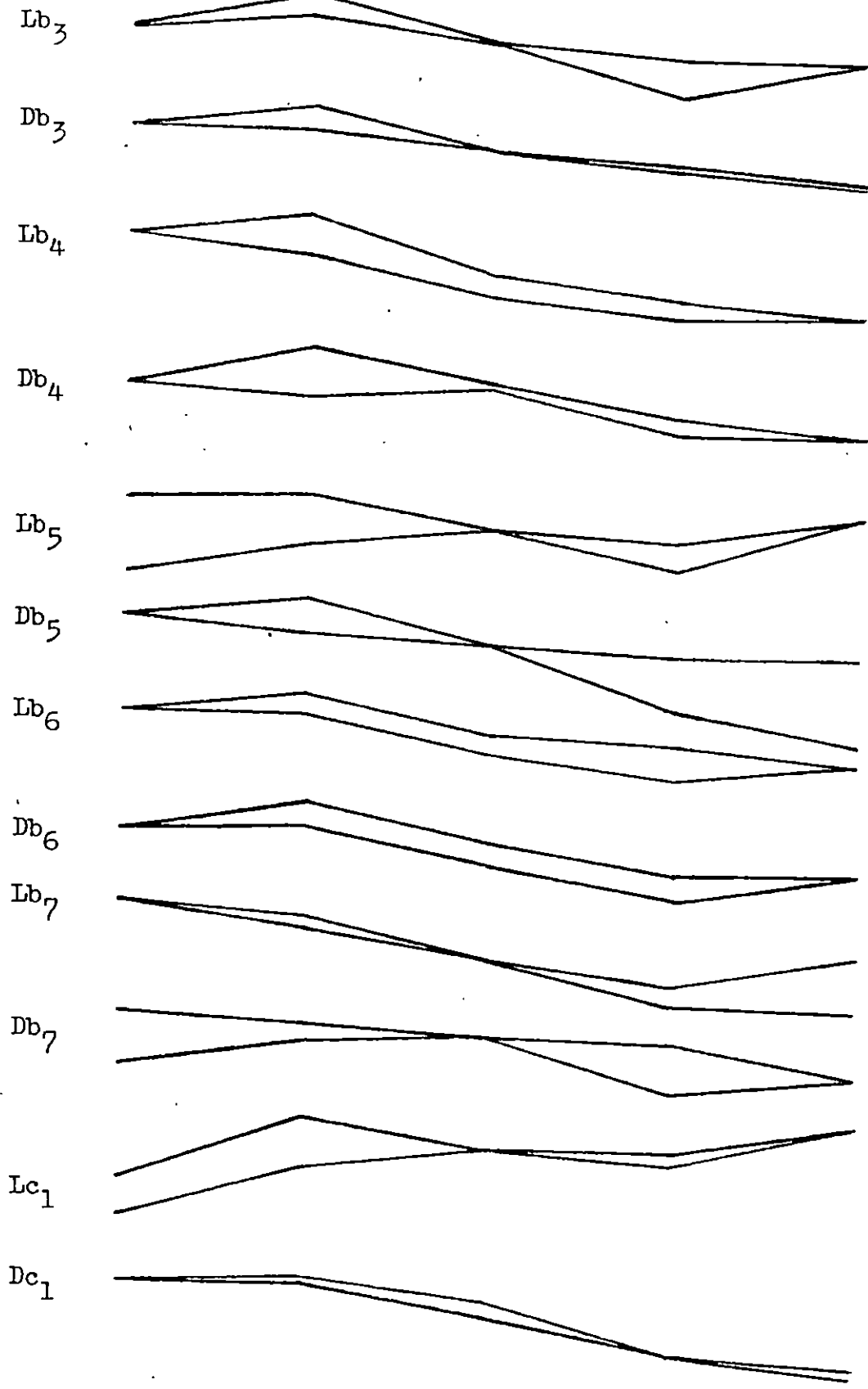
Na slici 23 a, b, c i d prikazani su indigogrami dobiveni u radnoj organizaciji PAPUK Pakrac. Na ovim indigogramima vidljivo je da distribucija pritiska po dužini sljubnice nije jednolika (krajevi sljubnica su nešto tamniji od sredina). Ovo nas navodi na zaključak da na krajevima sljubnica prevelik specifični pritisak dovodi do istiskivanja ljepila iz tih područja, pa u tim zonama nastaje tako zv. "gladna sljubnica", što bi moglo biti uzrokom otvaranja sljubnice na krajevima.

Na istoj slici pod "e" i "f" prikazani su karakteristični indigogrami dobiveni u radnoj organizaciji RADIN Ravna Gora. Na ovim indigogramima vidljivo je da distribucija pritiska po širini sljubnice nije jednolika. Ovo je vjerojatno posljedica nepravilne geometrije sljubnica, odnosno ravnina



Mjerna mjesta
Sl.16 Zazori u sljubnicama

74



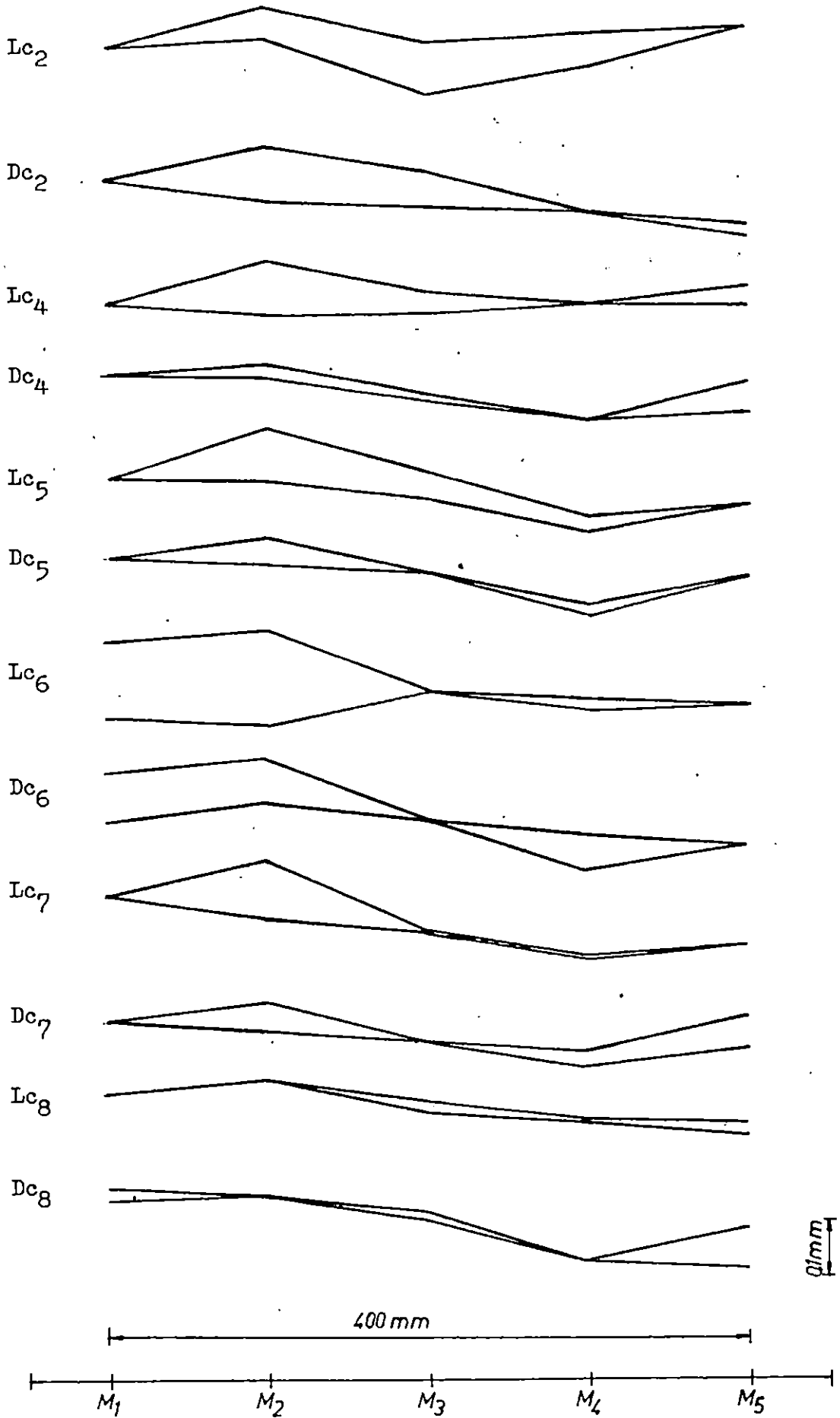
400mm

0.1mm

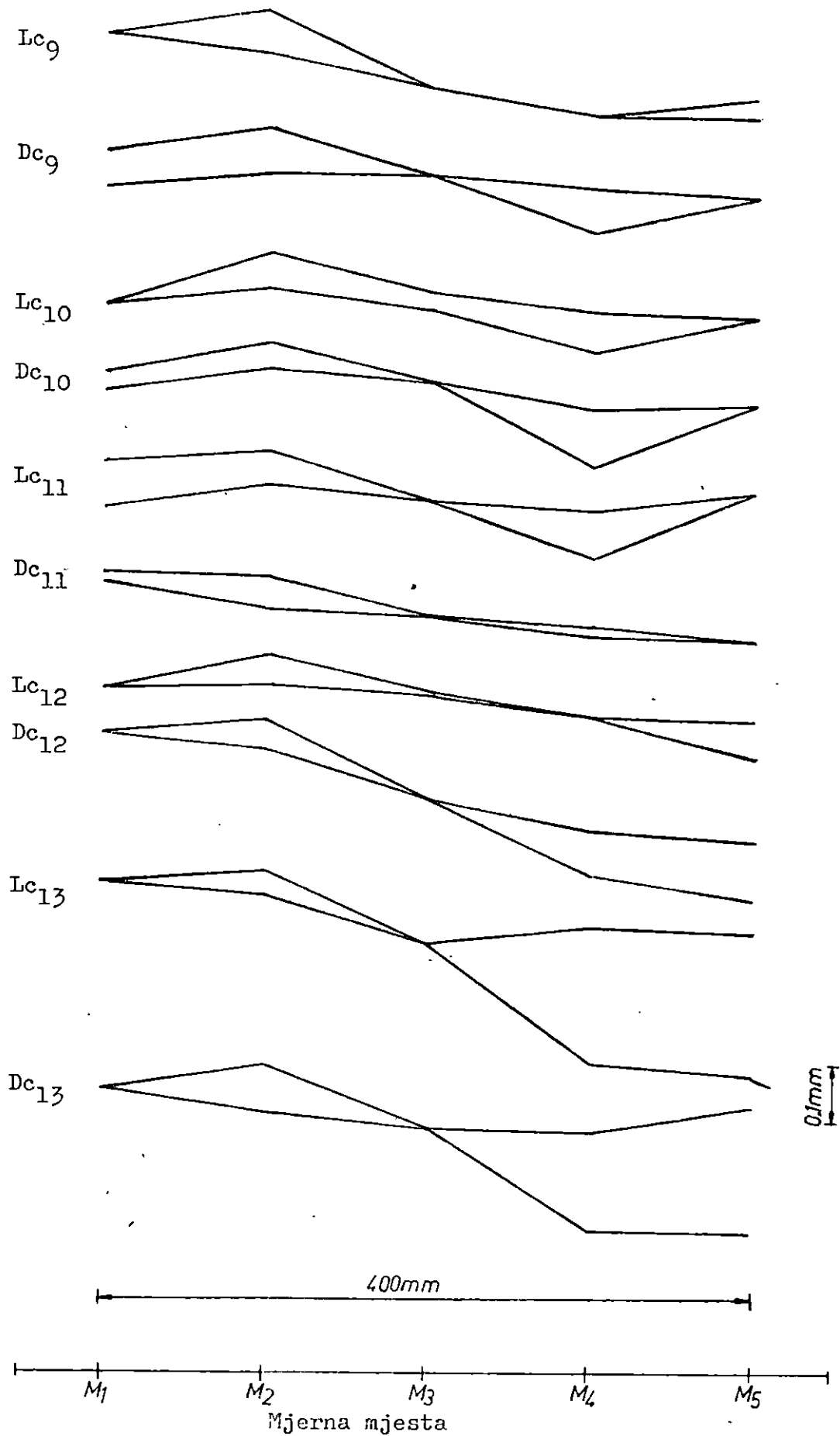
M₁ M₂ M₃ M₄ M₅

Mjerna mjesta

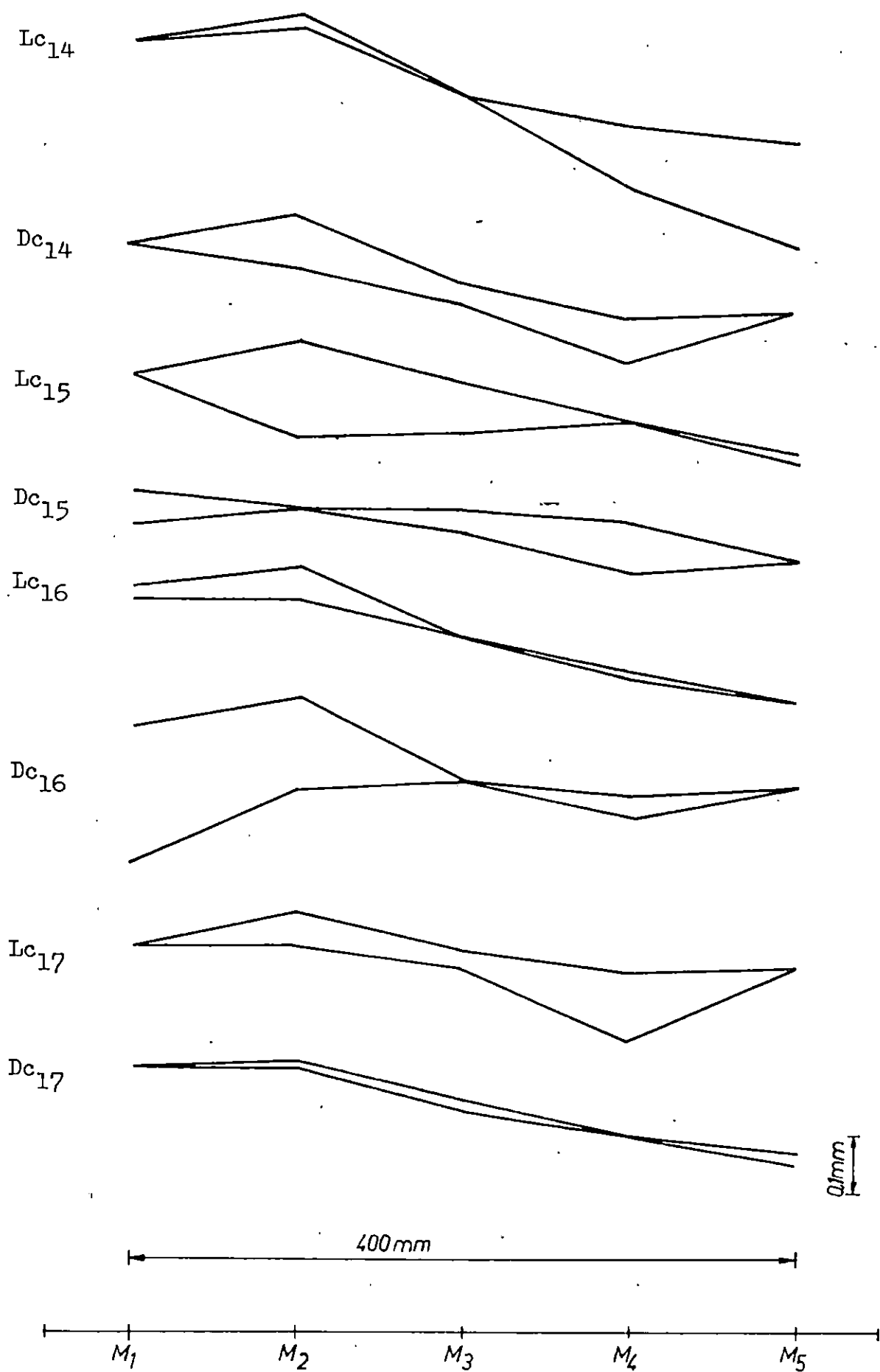
Sl.17 Zazori u sljubnicama



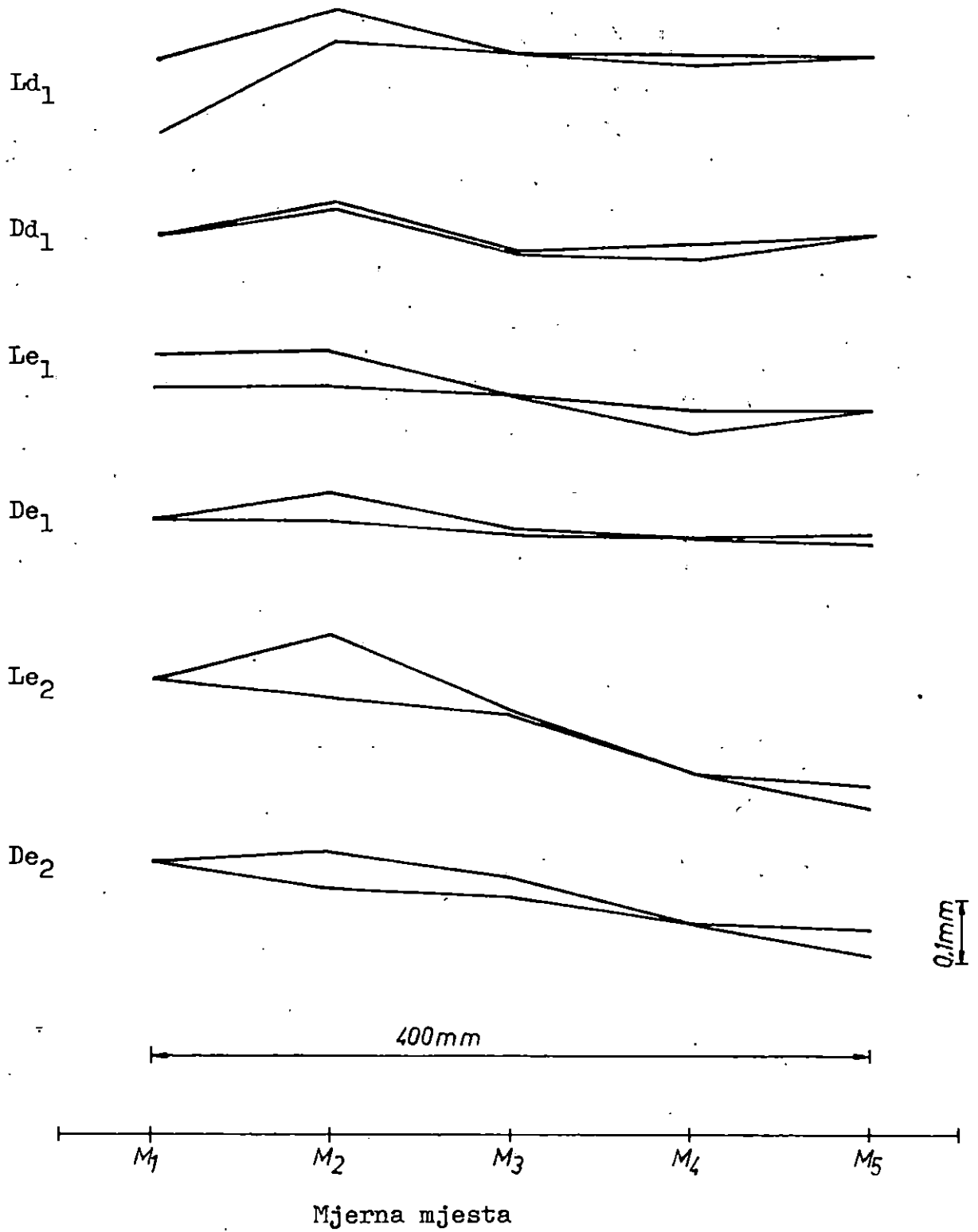
Mjerna mjesta
Sl. 18 Zazori u sljubnicama



Sl. 19 Zazori u sljubnicara



Mjerna mjesta
Sl. 20 Zazori u sljubnicama

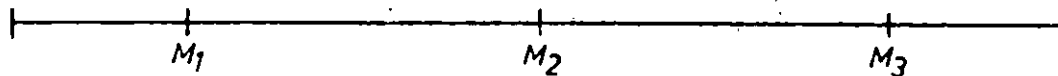


Sl. 21 Zazori u sljubnicama

0,1mm

"ŠAVRIĆ" - Vrbovec, hrastovina 20 mm

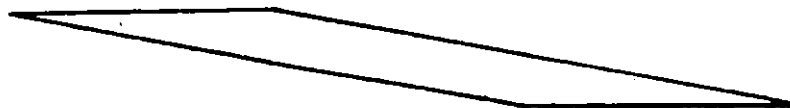
200 mm



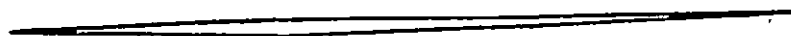
Mjerna mjesta



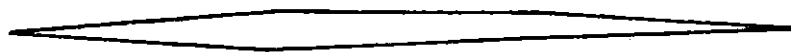
"ŠAVRIĆ" - Krapina, bukovina 32 mm



"ŠAVRIĆ" - Krapina, bukovina 43 mm



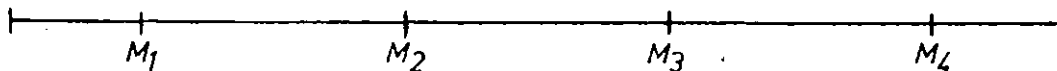
"PAPUK" - Pakrac, bukovina 35 mm



0,1mm

"PAPUK" - Pakrac, hrastovina 32 mm

300 mm



Mjerna mjesta

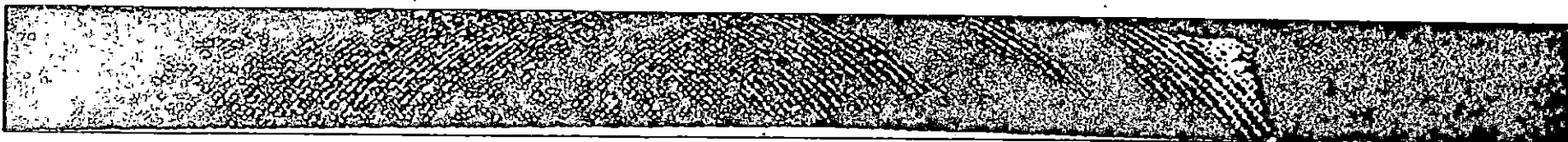
Sl.22 Zazori u sljubnicama

Legenda uz slike 16 do 22

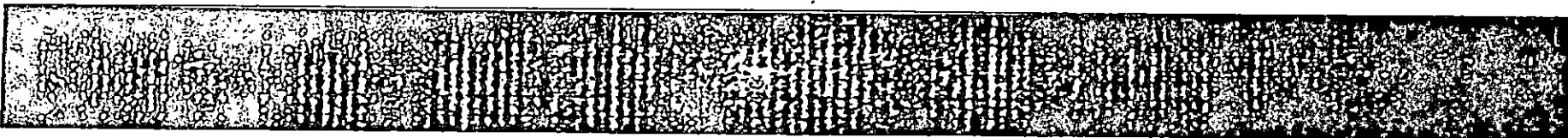
Simbol	Značenje
L	Lijeva sljubnica uzorka
D	Desna sljubnica uzorka
a	Obrada sljubnice
a ₁	ravnalicom
a ₂	specijalnom kružnom pilom
b, e ₂	Vrsta ljepila
b ₁	PVA bez otvrđivača
b ₂	PVA + 5% otvrđivača
b ₃	Vrbovsko TITEBOND
b ₄	KF
b ₅	PVA + KF = 1 : 1
b ₆	PVA + KF = 2 : 1
b ₇	PVA + KF = 3 : 1
e ₂	JOWAT
c	Režim lijepljenja
c ₁	temperatura 61° C
c ₂	temperatura 75° C
c ₄ , c ₅	temperatura 61° C (deblji elementi)
c ₆	specifični pritisak 14,8 daN/cm ²
c ₇	specifični pritisak 20,4 daN/cm ²
c ₈	specifični pritisak 31,6 daN/cm ²
c ₉	vrijeme trajanja pritiska 1 min
c ₁₀	vrijeme trajanja pritiska 2 min
c ₁₁	vrijeme trajanja pritiska 2,5 min
c ₁₂	otvoreno vrijeme 10 min
c ₁₃	otvoreno vrijeme 15 min
c ₁₄	otvoreno vrijeme 20 min
c ₁₅ , c ₁₇	Vrijeme kondicioniranja
c ₁₅	bez kondicioniranja
c ₁₇	5 dana kondicioniranja
e ₁	Uzorci za komparaciju
e ₁	lijepljenje na hladno u zvjezdastoj preši



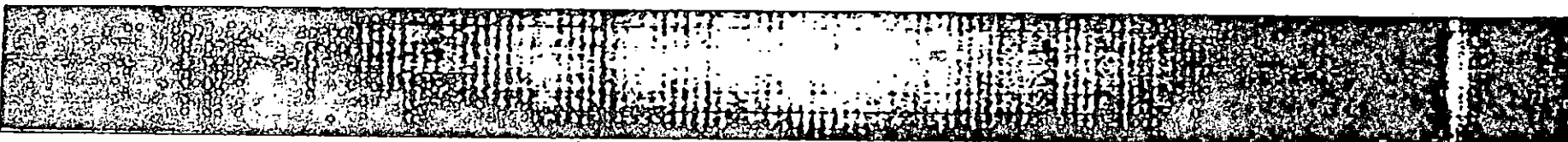
a) Pakrac; kružna pila, bukovina 35 mm



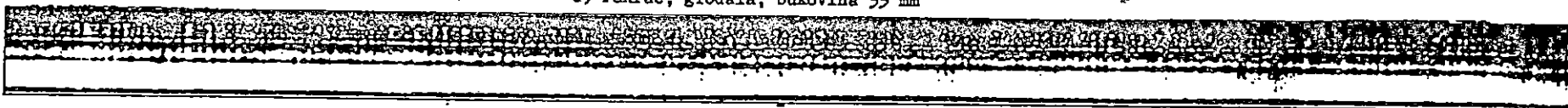
b) Pakrac; kružna pila, bukovina 35 mm



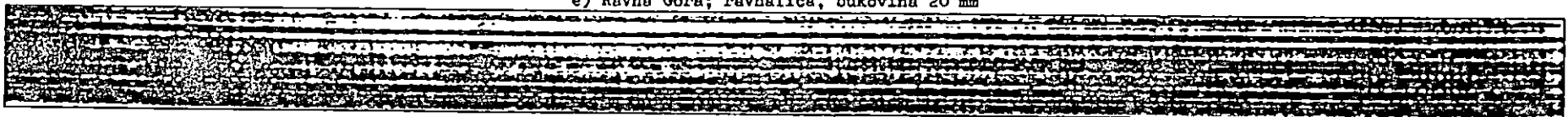
c) Pakrac; glodala, bukovina 35 mm



d) Pakrac; glodala, bukovina 35 mm



e) Ravna Gora; ravnalica, bukovina 20 mm

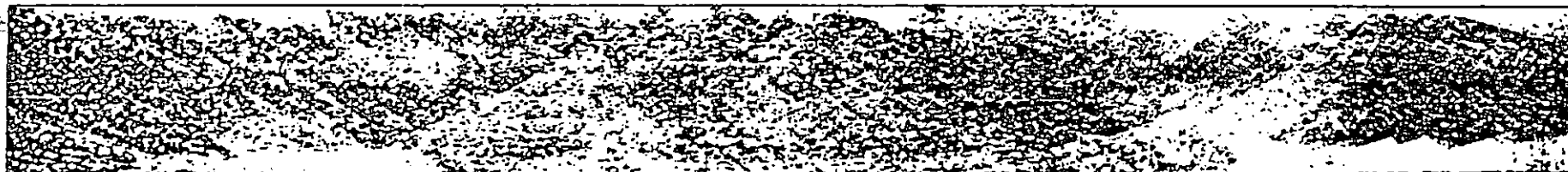


f) Ravna Gora; ravnalica, bukovina 20 mm

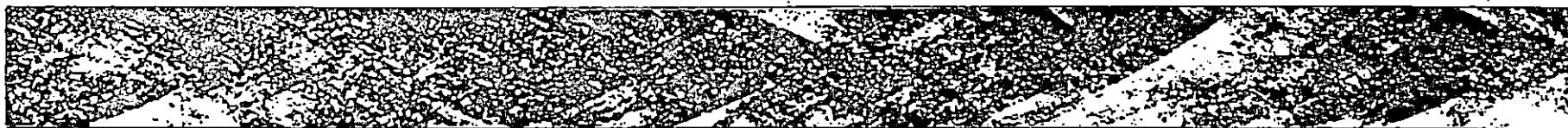
Sl.23 Kontaktne mjesta u sljubnici



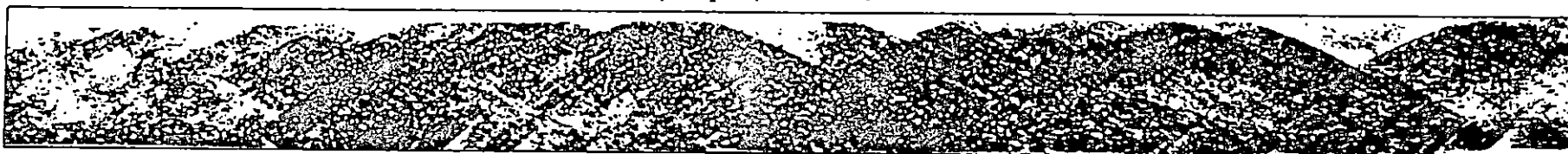
a) Krapina; bukovina 43 mm



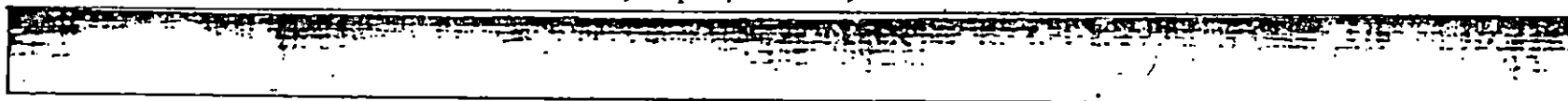
b) Krapina; bukovina 43 mm



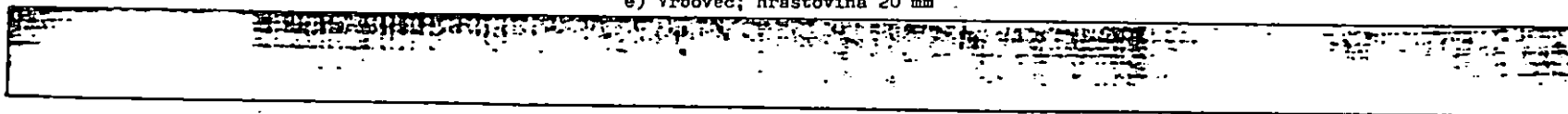
c) Krapina; bukovina 32 mm



d) Krapina; bukovina 32 mm



e) Vrbovec; hrastovina 20 mm



f) Vrbovec; hrastovina 20 mm

Sl. 24. Kontakna mjesta u sljubnici

sljubnica nije pod pravim kutom u odnosu na baznu plohu elementa. Ovakav slučaj ima za posljedicu smanjenje čvrstoće spoja, jer se u zonama sa manjim specifičnim pritiskom stvaradeblji sloj ljepila, pa u tim zonama prevladava kohezijska čvrstoća ljepila koja je obično manja od adhezijske čvrstoće. Ovo je pogotovo nepovoljno u ovom tehnološkom procesu u kojem imamo intenzifikaciju otvrdnjavanja ljepila zagrijavanjem sa VF strujom, zbog problema termoplastičnosti PVA ljepila koji smo već ranije opisali.

Sličan problem primjećuje se i na indigogramima prikazanim na slici 24 e, f, koji se odnose na radnu organizaciju ŠAVRIĆ Vrbovec. Pored toga kod ovih indigograma (e, f) vidljivo je da je specifični pritisak premalen.

Za indigograme koji se odnose na radnu organizaciju ŠAVRIĆ Krapina, a koji su prikazani na slici 24 a, b, c, d možemo reći da je distribucija pritiska po površini sljubnica dobra. Jedino možemo primjetiti da je kod tanjih elemenata specifični pritisak veći (tamniji otisak), nego kod debljih elemenata.

Mikrogeometrija sljubnice izmjerena je ranije opisanom metodom na uzorcima radnih organizacija ŠAVRIĆ Vrbovec slika 25 i ŠAVRIĆ Krapina slika 26. Iz dijagrama je vidljivo da se kod Vrbovca pored mikroneravnina primjećuju i makroneravnine (cikloide), jer se sljubnica obrađuje na ravnalici.

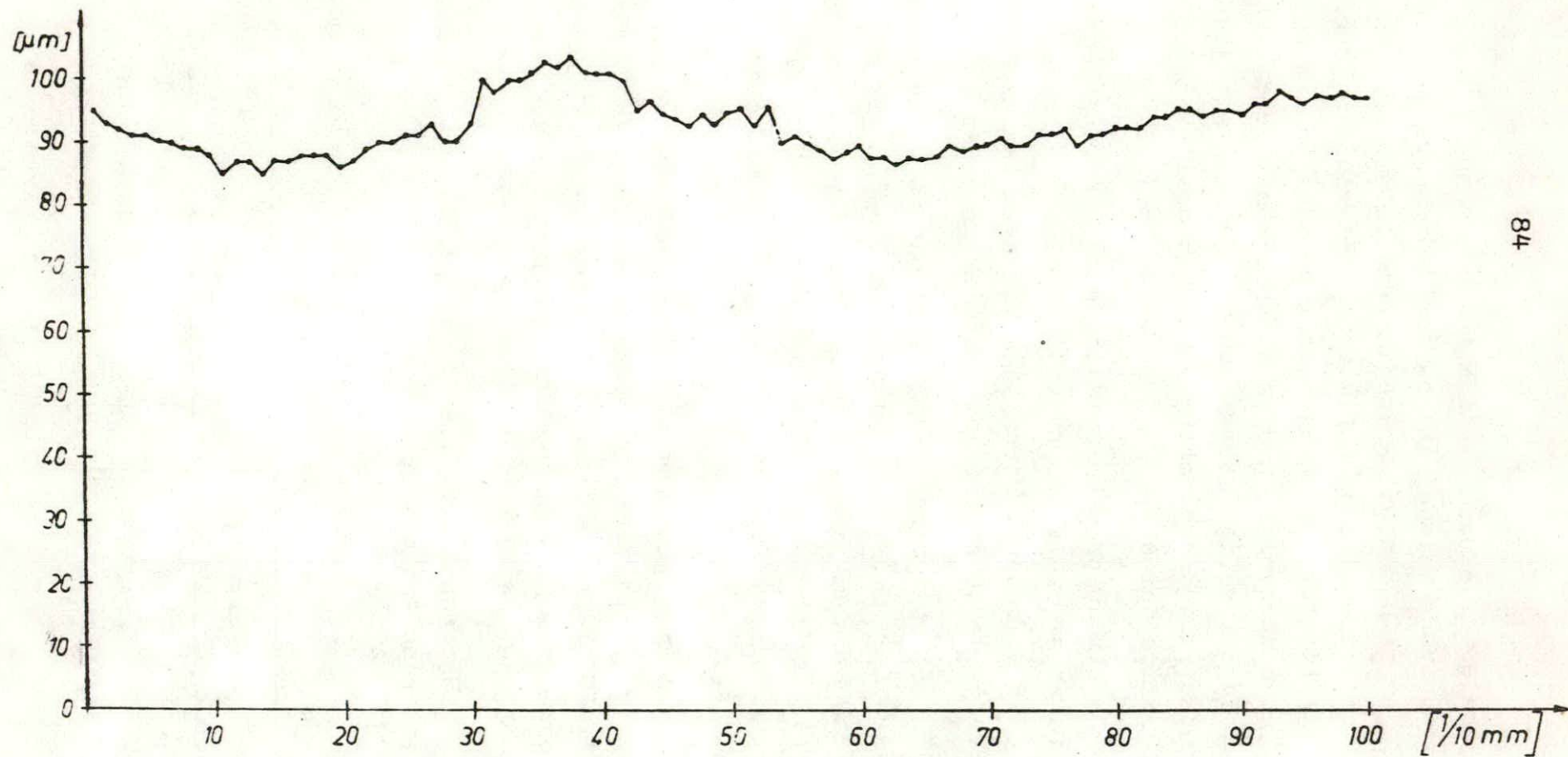
Mjerenjem debljine sloja ljepila u sljubnici dobivene su vrijednosti koje se nalaze u tablici 15 .

Prosječne debljine sloja ljepila u sljubnici

Tab.15

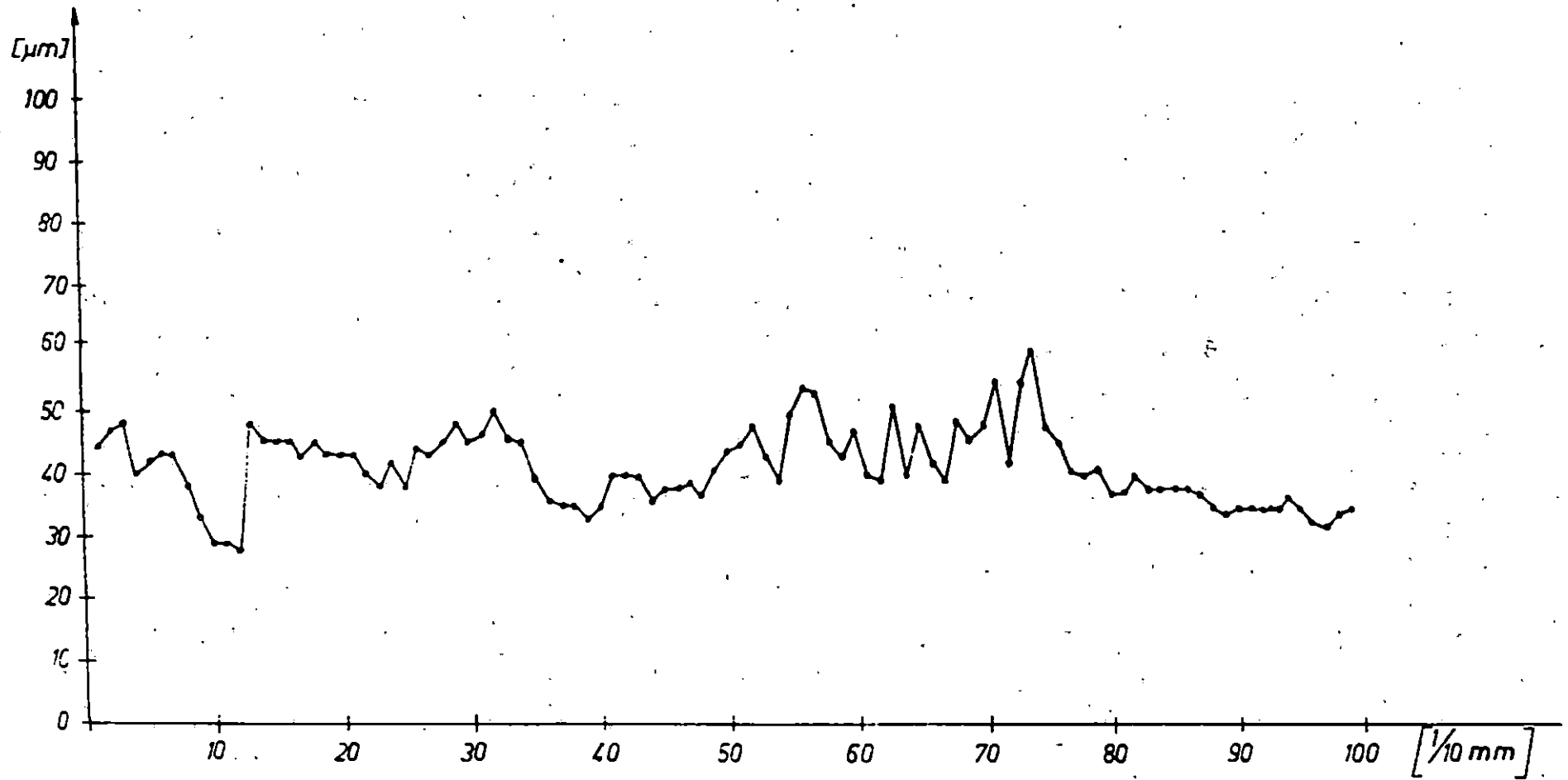
Radna organizacija	Vrsta drva	Vrsta ljepila	Obrada sljubnice	Debljina sloja ljepila /mm/
"ŠAVRIĆ" Krapina	BU	T	kruž.pila	0,0315
"ŠAVRIĆ" Vrbovec	HR	Ro	ravnalica	0,0413
"PAPUK" Pakrac	HR	T	kruž.pila	0,0236
	BU	T	kruž.pila	0,0314
	BU	Ra	kruž.pila	0,0251
	BU	T	glodalo	0,0269

VRBOVEC - HRAST 7



Sl.25. Mikrogeometrija sljubnice

KRAPINA - BUKVA 5



Sl.26. Mikrogeometrija sljubnice

Prilikom mjerenja debljine sloja ljepila u sljubnici primjećene su mikropukotine nastale u samom sloju ljepila, slika 27 . Ove mikropukotine nastaju uslijed kontrakcije volumena ljepila pri otvrdnjavanju. Tih mikropukotina ima više ako je sloj ljepila deblji, pa one utječu na smanjenje čvrstoće spoja. Osim toga u procesu površinske obrade u mikropukotine ulaze otapala iz lakova i na taj način razgrađuju sljubnicu.

Sve ovo govori u prilog manjeg nanosa ljepila, dakle tanjeg sloja ljepila u sljubnici. No da bi mogli postići određenu debljinu sloja moramo imati savršenu geometriju sljubnica.

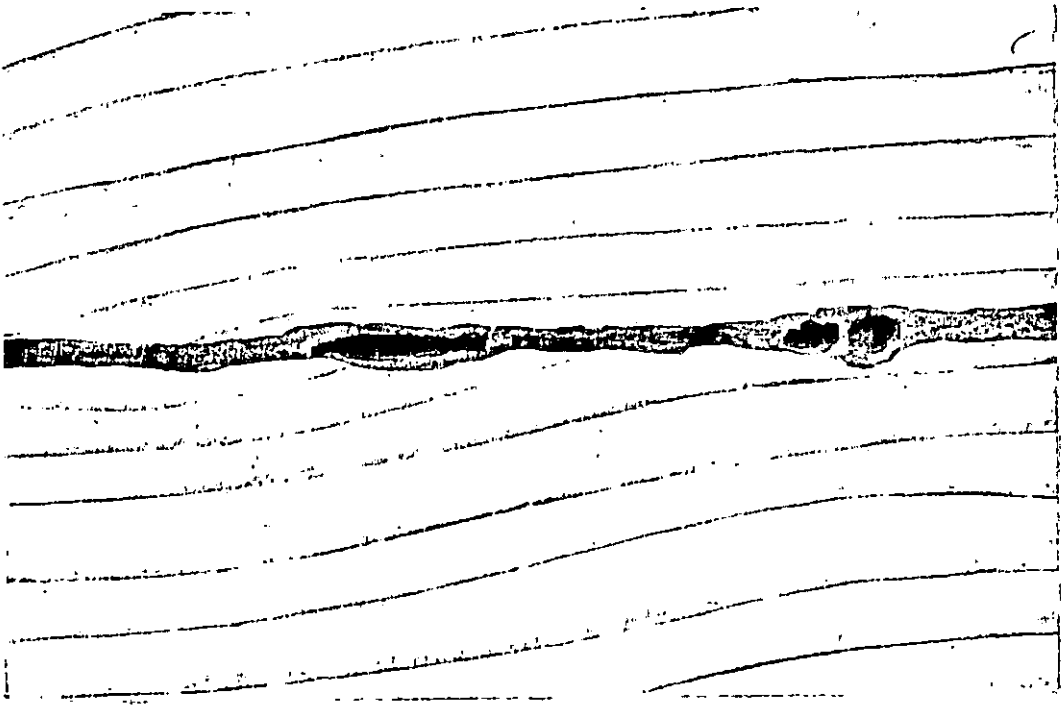
Istraživanje utjecaja količine nanešenog ljepila izvršeno je u radnoj organizaciji RADIN Ravna Gora. Istraživanje je provedeno tako da je na jednoj sljubnici u uzorku ljepilo nanošeno samo na jednu plohu sljubnice, a kod druge sljubnice na obje plohe. Nanešena količina ljepila, kod jednostrukog nanošenja iznosila je 206 g/m^2 , a kod dvostrukog nanošenja 412 g/m^2 . Kasnije su iz tih uzoraka izrađene probe za ispitivanje čvrstoće spoja na smik, koje su služile, osim za ovo istraživanje i za istraživanje svih ostalih parametara koje smo istražili u ovoj radnoj organizaciji. Rezultati ovog istraživanja prikazani su u tablici 16 .

Rezultati istraživanja utjecaja količine nanešenog ljepila na čvrstoću spoja

Tab. 16

Broj proba	Srednja čvrstoća sljubnice s nanosom 206 g/m^2	Srednja čvrstoća sljubnice s nanosom 412 g/m^2	t $t_0=2,052$
28	107,36	98,11	2,72

Kao što se vidi iz tablice 16 napravljen je test razlika među parovima iz kojeg se vidi da postoje signifikantne razlike u čvrstoći ove dvije grupe proba ($t > t_0$). Dakle uz vjerojatnost pogreške od 5% možemo tvrditi da veću čvrstoću



Sl. 27. Mikropukotine u sloju ljepila

imaju sljubnice s manjom količinom nanešenog ljepila.

Ovakvi rezultati su se i očekivali. Debeli sloj ljepila općenito daje slabiji spoj. Razlog tome je što kod debelog sloja ljepila lom obično ide po sloju ljepila, jer je koheziona čvrstoća u pravilu slabija od adhezivne, zbog nepravilne orijentacije molekula u srednjem dijelu sloja ljepila. Kod intenzifikacije lijepljenja sa VF strujom i upotrebe PVA ljepila ovaj problem je još izraženiji zbog termoplastičnih karakteristika PVA ljepila.

9.3. Rezultati istraživanja sadržaja vode u elementima za lijepljenje

Rezultati ovog istraživanja prikazani su u tablici 17.

Sadržaj vode u elementima za lijepljenje

Tab.17

Radna organizacija	Vrsta drva	Broj uzoraka	u_{\min} /%/	u_{\max} /%/	\bar{u} /%/	σ
"RADIN" Ravna Gora prije lijepljenja	BU	153	8,0	18,7	13,1	1,42
	BU	459	9,0	11,8	10,9	0,58
"PAPUK" Pakrac	BU	29	<5	11,5	7,1	2,25
	HR	15	<5	5,0	5,0	0,01
"ŠAVRIĆ" Krapina	BU	49	<5	10,5	5,6	1,17
"ŠAVRIĆ" Vrbovec	HR	37	<5	13,2	8,3	2,50

U tablici 17 prikazan je minimalni, maksimalni i srednji sadržaj vode kod elemenata za lijepljenje. Na kraju tablice prikazana je standardna devijacija. Vidljivo je da je najveća razlika između minimalnog i maksimalnog sadržaja vode nađena kod RO "RADIN" Ravna Gora. Uzorci iz ove radne organizacije imali su i najveći srednji sadržaj vode.

Nakon procesa lijepljenja smanjena je razlika u sadržaju vode između elemenata za u_{\min} i u_{\max} .

Također je smanjen srednji sadržaj vode, kao i standardna devijacija. To je posljedica sušenja elemenata u VF polju. Smatramo da je srednji sadržaj vode od 13,1% prevelik, a također su prevelike i varijacije u sadržaju vode među elementima. Ove varijacije mogu iznositi:

$$u_{\max} = 13,1 + 3 \cdot 1,42 = 17,36\%$$

$$u_{\min} = 13,1 - 3 \cdot 1,42 = 8,84\%$$

$$6\sigma = 8,52\%$$

Dakle razlika u sadržaju vode između najsuhljeg i najvlažnijeg elementa može iznositi 8,52%. Zbog tako velike razlike u sadržaju vode među elementima mogu se u toku prešanja razviti unutarnja naprezanja koja će svakako oslabiti spoj. Sadržaj vode u elementima kod ovog tehnološkog procesa trebao bi se kretati u intervalu od 6 - 8% i trebalo bi ga strogo kontrolirati. Ovo je naročito važno kada se lijepe tanji elementi.

Prosječna razlika u sadržaju vode po presjeku elementa između vanjskog i unutarnjeg sloja iznosila je 0,225% što smatramo da je u redu.

Kod radnih organizacija "PAPUK" Pakrac i "ŠAVRIĆ" Krapina također je prevelika varijabilnost u sadržaju vode između pojedinih elemenata od bukovine. Naročito je to izraženo kod radne organizacije "PAPUK" Pakrac koja inače posjeduje prostor za uskladištenje osušenih elemenata opremljen uređajima za regulaciju relativne zračne vlage i temperature. To nas navodi na zaključak da se taj prostor nedovoljno ili nestručno koristi, pa bi to trebalo poboljšati.

Istraživanjem gradijenta vlage na uzorcima uzetim nakon sušenja i nakon kondicioniranja u spomenutom prostoru ustanovljeno je da su kod oba uzorka vanjski slojevi imali veći sadržaj vode od srednjih slojeva. Kod uzorka uzetog odmah nakon sušenja vanjski slojevi imali su u prosjeku 0,27% veći sadržaj vode od unutarnjeg sloja, a kod uzorka uzetog nakon kondicioniranja to je iznosilo 2,07%.

Što se tiče sadržaja vode u hrastovim elementima možemo reći da varijabilnost sadržaja vode kod radne organizacije "PAPUK" Pakrac zadovoljava, jedino je srednji sadržaj vode prenizak i trebao bi se kretati u intervalu od 6 - 8%. Prema istraživanju Pecine, H. (51) sadržaj vode ispod 6% je prenizak i može dovesti do grešaka. U radnoj organizaciji "ŠAVRIĆ" Vrbovec varijabilnost sadržaja vode između elemenata ne zadovoljava i trebalo bi je svesti u tolerantne granice od 2%, dok je srednji sadržaj vode dobar.

Iz svega ovog može se zaključiti da bi u navedenim radnim organizacijama trebalo posvetiti više pažnje sušenju, kondicioniranju, izjednačavanju i uskladištenju osušenih elemenata koji će se koristiti za lijepljenje, jer o tome ovisi čvrstoća, trajnost i estetski izgled spoja. Naime čvrstoću spoja možemo prikazati kao neku teoretsku čvrstoću umanjenu za veličinu unutarnjih naprezanja. Iz toga proizlazi da što su unutarnja naprezanja veća to će čvrstoća spoja biti manja. Unutarnja naprezanja u sljubnici najčešće nastaju zbog nepravilne makrogeometrije same sljubnice ili zbog različitog utezanja, odnosno bubrenja dvaju susjednih elemenata u sljubnici. Do različitog utezanja, odnosno bubrenja dvaju susjednih elemenata može doći ako sadržaj vode u elementima ne odgovara vlazi ravnoteže prostora u kojem će se proizvod koristiti, a još je nepovoljnije ako su pored toga slijepljena dva elementa različitih presjeka (blistača sa bočnicom), te ako ta dva elementa imaju još i različit sadržaj vode.

Za ilustraciju navodimo jedan jednostavan primjer. Ako se u blistači od bukovine, debljine 30 mm promijeni sadržaj vode za samo 1% uslijedit će promjena debljine za 0,12 mm. Ako i susjedni element u spoju ne prati ovu promjenu doći će do nekoliko nepoželjnih pojava i to prvo do markiranja sljubnice i razvijanja unutarnjih naprezanja u samoj sljubnici. Ako je čvrstoća spoja dovoljna da podnese ova unutarnja naprezanja tada će spoj ostati čitav, ali će ukupna čvrstoća biti umanjena za veličinu unutarnjih naprezanja.

10. ZAKLJUČCI I DISKUSIJA

10.1. Zaključci

Na temelju rezultata istraživanja možemo donijeti slijedeće zaključke:

- Najveća čvrstoća slijepljenog spoja postignuta je u procesu lijepljenja bez intenzifikacije otvrdnjavanja ljepila sa ljepilima "Titebond Regular" i "Rakol LP 75/84".
- U tehnološkom procesu koji koristi VF struju za intenzifikaciju otvrdnjavanja ljepila dobri rezultati, kod elemenata debljine 20 mm postignuti su sa ljepilima:
 - mješavina "Mitopur": "Lendur" = 2:1
 - "Titebond Regular"
 - "Jowat"
- Kod debljih elemenata (50 mm) dobri rezultati postignuti su sa ljepilom "Mitopur 402-5A" uz dodatak 5% otvrdivača.
- Optimalna geometrija sljubnica postiže se obradom sljubnice sa specijalnom kružnom pilom za obradu sljubnica.
- Najveće čvrstoće spoja dobivene su kod elemenata kod kojih je specifični pritisak iznosio od 6 do 10 daN/cm².
- Kod VF zagrijavanja i PVA-c ljepila postignuta je najveća čvrstoća spoja kod prosječne temperature u sljubnici od 61° C, vremena trajanja pritiska od 2,5 minute i otvorenog vremena 20 minuta.
- Duga vremena kondicioniranja (5 dana) ne utječu na čvrstoću spoja.
- Količina nanesenog ljepila ne treba biti veća od 200 g/m².
- Sadržaj vode u elementima za lijepljenje morao bi se kretati u granicama od 6-8%, što nije bio slučaj ni u jednom od istraživanih procesa.

10.2. Diskusija

Najbolji rezultati u ovom istraživanju postignuti su na uzorcima iz radnih organizacija DIK "PAPUK" Pakrac i "ŠAVRIĆ" OOUR Tvornica stolica Krapina. Radna organizacija "ŠAVRIĆ" Krapina ima moderniju i bolju opremu od radne organizacije "PAPUK" Pakrac, no ova radna organizacija pokušava postojećom opremom postići čvrstoću i trajnost spojeva ravnu onoj koja se postiže modernom tehnologijom, i u tome je uspjela.

Uočeno je da treba najveću pažnju posvetiti obradi sljubnica, sadržaju vode u elementima i izboru ljepila. Obrada sljubnica riješena je na taj način da je na stolnoj glodalici montirana kružna pila i specijalna vodilica sa prednjim i stražnjim stolom, te sa prislonom za baznu ravninu obratka. Kad bi se posvetila malo veća pažnja podešavanju mogli bi se postići isti rezultati kao i na skupoj uvoznopj opremi.

Za lijepljenje koriste ljepilo "Titebond Regular" koje je pokazalo dobre rezultate, a ispituju ljepilo "Rakol LP 75/84" koje po našem mišljenju ne zaostaje za ljepilom "Titebond".

Očito je da su svjesni problema varijabilnosti sadržaja vode u elementima i između njih, jer je uređeno skladište sa klima-uređajima u kojem bi se vršilo kondicioniranje i izjednačavanje sadržaja vode u elementima za lijepljenje. Primijećeno je da organizacija rada u tom skladištu nije još potpuno uhodana, pa bi to trebalo popraviti. Stezanje elemenata u DIK "PAPUK" Pakrac vrši se ručno pomoću vretena i poluge, a uređaj za stezanje je zvjezdasta preša. U ovom uređaju za stezanje može se ostvariti potrebni specifični pritisak, ali se taj pritisak ne može kontrolirati. Osim toga ovakav način rada izaziva pojačan fizički napor radnika.

Navedeni nedostaci mogli bi se djelomično otkloniti uvođenjem pneumatskog uređaja za stezanje s mogućnošću re-

gulacije momenta pritezanja.

Kod zvjezdaste preše primijećeno je da specifični pritisak nije jednolično raspoređen po cijeloj sljubnici, već je na krajevima veći. Ovaj nedostatak mogao bi se otkloniti.

VF protočna preša, koju koristi "RADIN" Ravna Gora, ima veliki kapacitet, no ovaj postupak zahtijeva strogo pridržavanje režima lijepljenja, a naročito sadržaja vode i pravilne geometrije sljubnica na elementima za lijepljenje, što je u praksi često puta teško postići. Ovakav uređaj je naročito nepodesan za lijepljenje tanjih elemenata, jer se oni brzo suše pod utjecajem VF polja, deformiraju se i time nakon popuštanja pritiska izazivaju unutarnja naprezanja u sljubnici, što oslabljuje spoj. Zbog svoje termoplastične karakteristike PVA ljepila nisu najpovoljnija za upotrebu u ovoj tehnologiji. Kod ove tehnologije, trebalo bi istražiti veličinu deformacije geometrije sljubnice nakon prešanja i mogućnost prelaska na neko drugo ljepilo.

Radna organizacija "ŠAVRIĆ" Vrbovec morala bi posvetiti više pažnje obradi sljubnica i povećati specifični pritisak na uređaju za pritezanje na 6 daN/cm^2 .

Sve radne organizacije u kojima je vršeno istraživanje morale bi posvetiti više pažnje kvaliteti sušenja i osušenih elemenata, te uskladištenju osušenih elemenata, jer je to jedan od važnijih preduvjeta za kvalitetna lijepljenja.

Postojeća oprema morala bi se bolje održavati, pa bi i rezultati rada bili bolji. Tehnološki procesi se slabo i nedovoljno prate i kontroliraju ili se kontrola procesa obavlja neadekvatnim metodama. Često puta se greške u tehnološkom procesu traže tek kada je već uslijedila reklamacija kupca, što je mnogo skuplje od uvođenja redovne kontrole. U procesu bi stalno trebalo pratiti:

- sadržaj vode u elementima,
- unutrašnja naprezanja u elementima,
- viskozitet ljepila i količinu suhe tvari,

- geometriju sljubnice,
- specifični pritisak prešanja,
- količinu nanosa ljepila,
- čvrstoću spoja.

Nabrojani parametri mogu se pratiti u svakoj radnoj organizaciji vrlo jednostavnim metodama od kojih su neke opisane u ovom radu.

Ovo istraživanje otvorilo je mnoga nova pitanja, kao što su npr. deformacije sljubnica u toku procesa prešanja, a s tim u vezi i razvijanje unutarnjih naprezanja u sljubnicama, pitanje trajnosti i izdržljivosti spojeva u raznim uvjetima upotrebe itd., pa će se istraživanja dalje nastaviti.

11. ISTRAŽIVANJE UTJECAJA VRSTE LJEPILA I POVRŠINSKE OBRADE NA ČVRSTOĆU I ESTETSKA SVOJSTVA SLJUBNICA*

11.1. PROBLEMATIKA SLJUBNICA NA LAKIRANIM POVRŠINAMA

U praksi se opazilo da neka PVA ljepila izazivaju jaču, a neka manju pojavu otvaranja sljubnica. Što više, isto ljepilo različitih proizvođača različito reagira na organska otapala.

Činjenica je da se PVA ljepila otapaju u organskim otapalima kojih ima u nitrolaku, kiselootvrđavajućim lakovima i DD lakovima, zbog čega ljepilo bubri u sljubnicama pa postaju vidljive, odnosno jače se ističu.

Što je deblji sloj ljepila, što su sljubnice šire, što je deblji film laka i sporije sušenje te greške će biti vidljivije.

Iz tih razloga PVA ljepilo nije preporučljivo za furniranje i lijepljenje masivnih elemenata ako se takve površine obrađuju lakovima u kojima ima organskih otapala koja ih otapaju.

Uzrok pojavi jačeg i slabijeg bubrenja u sljubnicama kod istog ljepila različitih proizvođača ovisi o svojstvima PVA disperzije, odnosno njenom stupnju polimerizacije prilikom proizvodnje ljepila.

To je zbog toga što proces polimerizacije nije moguće prekinuti u točno željenom momentu, zbog čega variraju svojstva disperzije, a prema tome i ljepila.

* Zbog svoje specifične problematike i zbog primjene drugačijih metoda istraživanja ovo istraživanje prikazano je u posebnom poglavlju.

Istraživanje je napravljeno u tri smjera i to:

- Istraživanje veličine bubrenja PVA ljepila
- Destrukcija filma PVA ljepila pod utjecajem organskih otapala iz laka
- Istraživanje čvrstoće slijepljenih spojeva

11.2. ISPITIVANJE VELIČINE BUBRENJA PVA LJEPILA

Opis ispitivanja

Ispitivanje veličine bubrenja PVA ljepila vršeno je na slijedeći način :

Uzeto je šest vrsta ljepila na bazi PVA-c. Svaki tip označen je abecednim redom od A do F.

Tipovi ljepila bili su :

- A - Suprskol 630
- B - Tempo leim 631
- C - Rakoll E x P 25
- D - Rakoll LP 7584
- E - Titebond Regular 50
- F - Rotokol 1102

Ljepilo tipa F - Rotokol 1102 doneseno je iz pogona drvene industrije DK "BRESTOVAC" - Garešnica sa kojim se ondje vrši lijepljenje masivnog drva.

Karakteristike ljepila "Rotokol 1102"

- Ljepilo namjenjeno za montažno lijepljenje stolica i drvene galanterije
- nanos - ručno ili strojno
- količina nanosa - 150 - 200 g/m²
- vrijeme otvrđivanja - ovisi o uvjetima lijepljenja i kreće se od 2 - 40 min.
- pritisak - 2 - 7 bara
- uvjeti rada - temperatura prostorije, drva i ljepila
18 - 22°C; vlaga drveta 8 - 12 %

- mogućnost obrade lijepljenih dijelova nakon 24^h
- uskladištenje - u dobro zatvorenoj originalnoj ambalaži kod temperature + 5° C
- ljepilo nije zapaljivo.

Ovo ljepilo u pogonu se koristi kao ljepilo za sljubnice kod širinskog i debljinskog sastavljanja, te kao ljepilo za lijepljenje okvira i uklada.

Elementi i proizvodi površinski se obrađuju vodenim močilom /prema potrebi/ i lakiraju NC lakom.

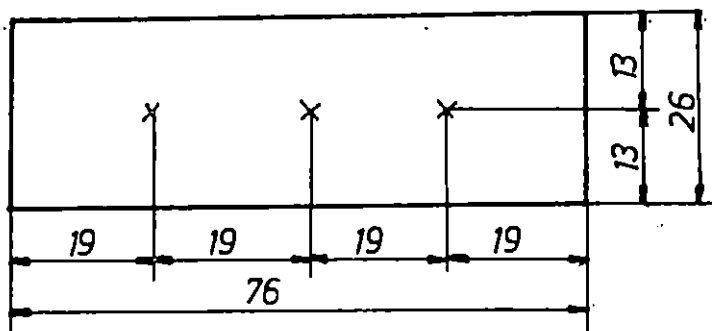
Kod ispitivanja veličine bubrenja za svaki tip ljepila napravljene su dvije probe /oznaka A₁ - A₂; B₁ - B₂;F₁ - F₂/.

Kao podloga za nanos ljepila uzeta su stakalca /stakalca za mikroskopiranje/.

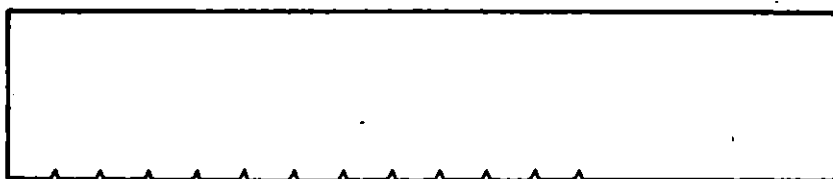
Stakalca su prebrisana sa razredivačem, kako bi se odstranila prljavština i masnoće, da bi se zatim na poledini stakalaca označila po tri mjerna mjesta. Slika br. 18. prikazuje izgled stakalca sa mjernim mjestima.

Sa četkicom na stakalce je nanesen tanki sloj ljepila. Pomoću lopatice izrađene iz lima /Slika br. 19./ odstranjen je višak ljepila /Slika br. 20./.

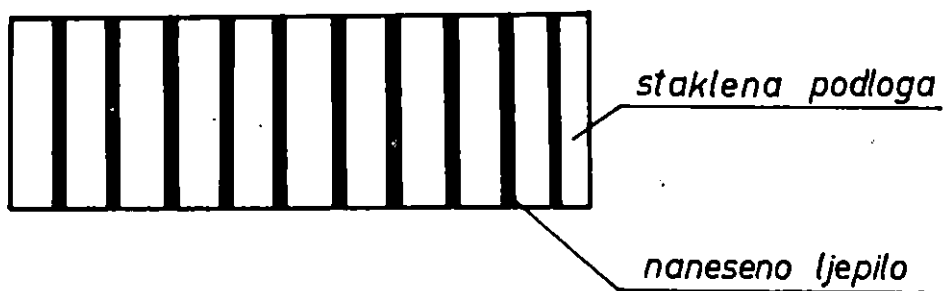
Na takvo stakalce sa nanesenim ljepilom stavljeno je drugo stakalce. Time je proba dobila svoj konačan izgled /Slika br. 21./.



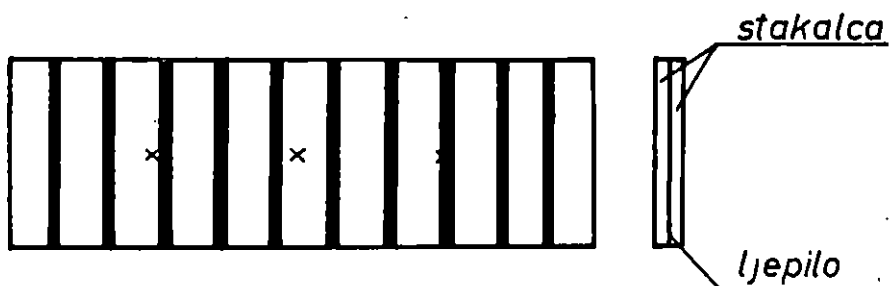
Sl. 18. Izgled stakalca sa mjernim mjestima



Sl. 19. Izgled lopatica. za otklanjanje suvišnog ljepila



Sl. 20. Proba sa nanesenim ljepilom



Sl. 21. Gotova proba

Mjerenje i rezultati mjerenja

Sušenje proba, odnosno tankog sloja ljepila trajao je 48^h. Nakon sušenja proba pristupilo se njihovom mjerenju. Na svakoj probi na tri mjerna mjesta sa mikrometrom je izmjerena debljina probe.

U posudicu je naliven razređivač Kromopolicel R 6050 - 12 /donesen iz pogona/ u koji su zatim okomito uronjene probe. Sistemom kapilara između stakalaca gdje nije bilo ljepila, razređivač je upijen u probe.

Nakon jednog sata izmjerena je debljina proba na tri mjerna mjesta na svakoj probi /da bi se kasnije mogla izračunati veličina bubrenja/.

Podaci o promjeni debljine proba bilježeni su svaki sat, sve dok vrijednosti mjerenja nisu počele padati. Padanje vrijednosti uslijedilo je nakon petog sata /petog mjerenja/ i to je bilo ujedno i zadnje mjerenje.

Podaci mjerenja dani su u tabeli br.18.

Vremenski interval od jednog sata između dva mjerenja uzet je zato jer se smatralo da će male promjene debljine proba koje su uvjetovane bubrenjem sloja ljepila biti moguće registrirati i zabilježiti. Nadalje, čitav proces bubrenja ljepila traje svega nekoliko sati /u ovom pojednostavljenom slučaju četiri sata/ nakon čega dolazi do opadanja vrijednosti.

T A B E L A br.18.

PODACI MJERENJA DEBLJINA PROBA SA IZRAČUNATIM SREDNJIM VRIJEDNOSTIMA

Oznaka probe	Počet. deb. /mm/	Sred. vrij. /mm/	Deb. nakon 1 h /mm/	Sred. vrij.	Deb. nakon 2 h	Sred. vrij.	Deb. nakon 3 h	Sred. vrij.	Deb. nakon 4 h	Sred. vrij.	Deb. nakon 5 h	Sred. vrij.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
A	2.48		2.53		2.55		2.57		2.57		2.49	
	2.48	2.48	2.54	2.54	2.55	2.55	2.57	2.57	2.58	2.57	2.50	2.49
	2.47		2.54		2.55		2.57		2.57		2.49	
	2.51		2.54		2.55		2.58		2.58		2.53	
	2.50	2.50	2.53	2.54	2.53	2.55	2.55	2.57	2.54	2.57	2.52	2.52
	2.49		2.55		2.55		2.58		2.59		2.50	
B	2.66		2.67		2.72		2.75		2.74		2.73	
	2.67	2.66	2.70	2.69	2.75	2.73	2.76	2.75	2.76	2.75	2.75	2.74
	2.65		2.69		2.73		2.75		2.75		2.75	
	2.63		2.69		2.69		2.72		2.73		2.72	
	2.63	2.63	2.70	2.69	2.72	2.71	2.73	2.73	2.72	2.73	2.72	2.72
	2.63		2.69		2.71		2.73		2.73		2.73	
C	2.05		2.11		2.13		2.14		2.15		2.12	
	2.05	2.05	2.10	2.10	2.12	2.12	2.13	2.13	2.13	2.13	2.12	2.12
	2.06		2.09		2.11		2.12		2.12		2.11	
	2.66		2.73		2.74		2.74		2.74		2.73	
	2.66	2.66	2.71	2.72	2.75	2.75	2.74	2.74	2.74	2.74	2.72	2.73
	2.67		2.73		2.75		2.75		2.75		2.73	

T A B E L A br.18 (nastavak)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	2.48		2.49		2.52		2.52		2.52		2.52	
D ₁	2.45	2.45	2.46	2.46	2.48	2.48	2.48	2.48	2.47	2.48	2.46	2.47
	2.43		2.43		2.45		2.45		2.45		2.44	
D ₂	2.09		2.09		2.13		2.14		2.14		2.12	
	2.09	2.07	2.10	2.08	2.14	2.12	2.15	2.13	2.15	2.13	2.14	2.12
	2.05		2.06		2.10		2.11		2.12		2.11	
	2.53		2.59		2.61		2.62		2.62		2.61	
E ₁	2.54	2.53	2.55	2.56	2.57	2.57	2.57	2.58	2.56	2.58	2.56	2.57
	2.52		2.53		2.54		2.55		2.55		2.54	
E ₂	2.37		2.38		2.40		2.41		2.41		2.40	
	2.36	2.36	2.36	2.37	2.37	2.38	2.39	2.40	2.39	2.39	2.39	2.39
	2.36		2.37		2.38		2.39		2.38		2.38	
	2.02		2.11		2.13		2.13		2.12		2.12	
F ₁	2.03	2.02	2.11	2.11	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.12	2.11	2.11
	2.02		2.10		2.11		2.12		2.12		2.11	
F ₂	2.51		2.55		2.62		2.62		2.63		2.61	
	2.53	2.52	2.57	2.58	2.59	2.58	2.59	2.61	2.57	2.61	2.56	2.59
	2.52		2.61		2.62		2.62		2.62		2.60	

Na temelju tih podataka izračunavano je apsolutno i relativno bubrenje pojedinih tipova ljepila.

Apsolutno bubrenje - predstavlja razliku između debljine probe nakon potapanja u razređivaču i debljine probe prije potapanja, odnosno upijanja razređivača

$$Ba = d_{pu} - d_p \quad /mm/$$

Ba - apsolutno bubrenje probe

d_{pu} - debljina probe nakon uranjanja u razređivač

d_p - debljina probe prije uranjanja u razređivač

Relativno bubrenje - predstavlja odnos između apsolutnog bubrenja i debljine probe prije uranjanja u razređivač

$$Br = \frac{d_{pu} - d_p}{d_p} \cdot 100 \quad /%/$$

Br - relativno bubrenje probe

d_{pu} - debljina probe nakon uranjanja u razređivač

d_p - debljina probe prije uranjanja u razređivač

Rezultati bubrenja dani su u tabeli br.19. i tabeli br.20. Vrijednosti apsolutnog i relativnog bubrenja prikazani su grafički na slikama br. 42 - 55.

T A B E L A br.19.

REZULTATI BUBRENJA IZRAŽENI U APSOLUTNOJ I RELATIVNOJ VRIJEDNOSTI

Oznaka probe	Početna p /mm/	\bar{p} 1 h	Bubrenje		\bar{p} 2 h	Bubrenje		\bar{p} 3 h	Bubrenje		\bar{p} 4 h	Bubrenje		\bar{p} 5 h	Bubrenje		
			Ba /mm/	Br /‰/		Ba	Br		Ba	Br		Ba	Br				
A	A ₁	2.48	2.54	0.06	2.4	2.55	0.07	2.8	2.57	0.09	3.6	2.57	0.09	2.5	2.49	0.01	0.4
	A ₂	2.50	2.54	0.04	1.6	2.55	0.05	2.0	2.57	0.07	2.8	2.57	0.07	2.8	2.52	0.02	0.8
B	B ₁	2.66	2.69	0.03	1.1	2.73	0.07	2.6	2.75	0.09	3.4	2.75	0.09	3.4	2.74	0.08	3.0
	B ₂	2.63	2.69	0.06	2.3	2.71	0.08	3.0	2.73	0.10	3.8	2.73	0.10	3.8	2.72	0.09	3.4
C	C ₁	2.05	2.10	0.05	2.4	2.12	0.07	3.4	2.13	0.08	3.9	2.13	0.08	3.9	2.12	0.07	3.4
	C ₂	2.66	2.72	0.06	2.3	2.75	0.09	3.4	2.74	0.08	3.0	2.74	0.08	3.0	2.73	0.07	2.6
D	D ₁	2.45	2.46	0.01	0.4	2.48	0.03	1.2	2.48	0.03	1.2	2.48	0.03	1.2	2.47	0.02	0.8
	D ₂	2.07	2.08	0.01	0.5	2.12	0.05	2.4	2.13	0.06	2.9	2.13	0.06	2.9	2.12	0.05	2.4
E	E ₁	2.53	2.56	0.03	1.2	2.57	0.04	1.6	2.58	0.05	2.0	2.58	0.05	2.0	2.57	0.04	1.6
	E ₂	2.36	2.37	0.01	0.4	2.38	0.02	0.8	2.40	0.04	1.7	2.39	0.03	1.3	2.39	0.03	1.3
F	F ₁	2.02	2.11	0.09	4.5	2.13	0.11	5.4	2.13	0.11	5.4	2.12	0.10	5.0	2.11	0.09	4.5
	F ₂	2.52	2.58	0.06	2.4	2.58	0.06	2.4	2.61	0.09	3.4	2.61	0.09	3.6	2.59	0.07	2.8

 \bar{p} - srednja vrijednost debljina proba /mm/

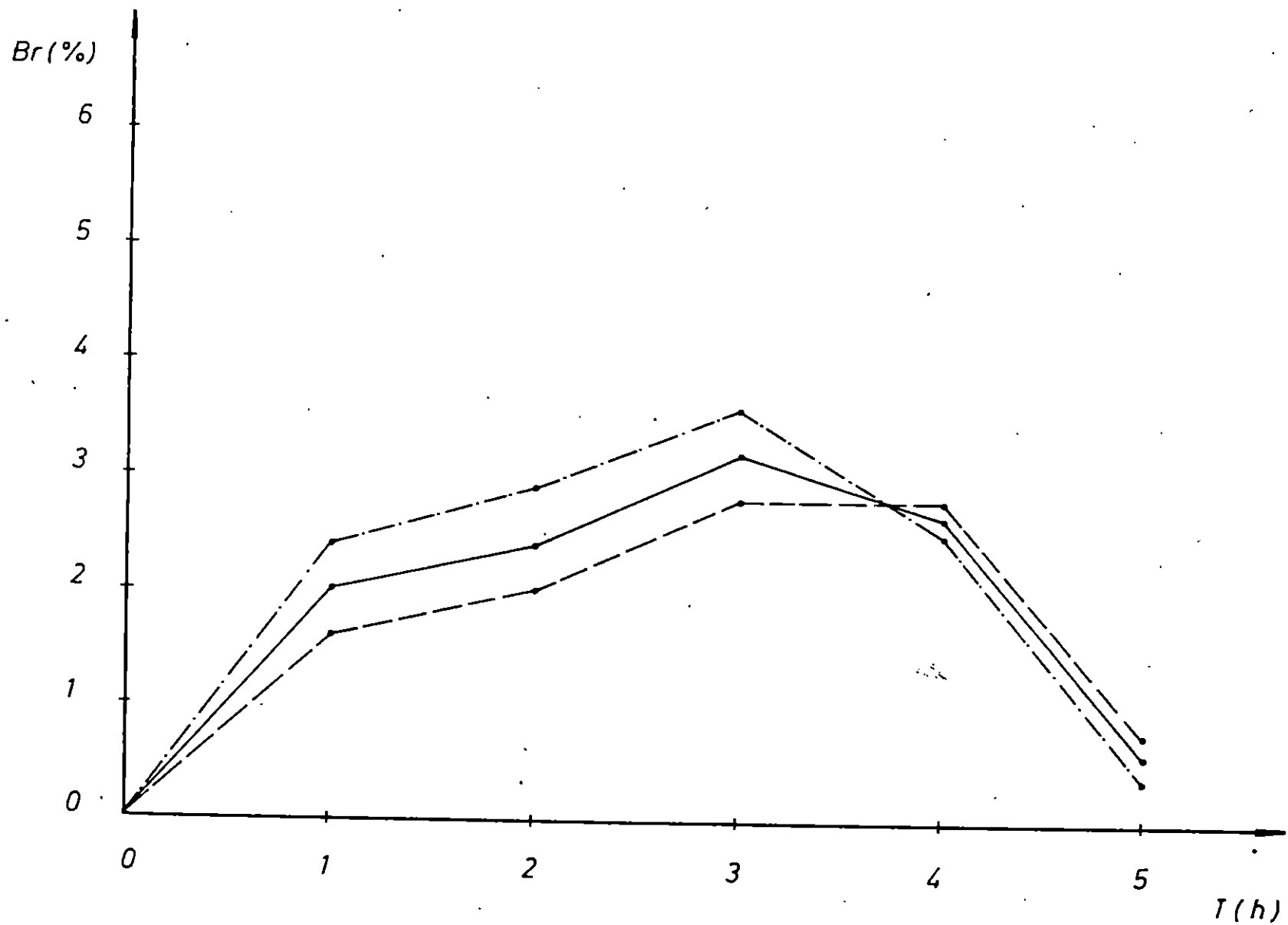
TABELA br. 20

Rezultati bubrenja izraženi u srednjim vrijednostima (aps. i rel. bubrenja)

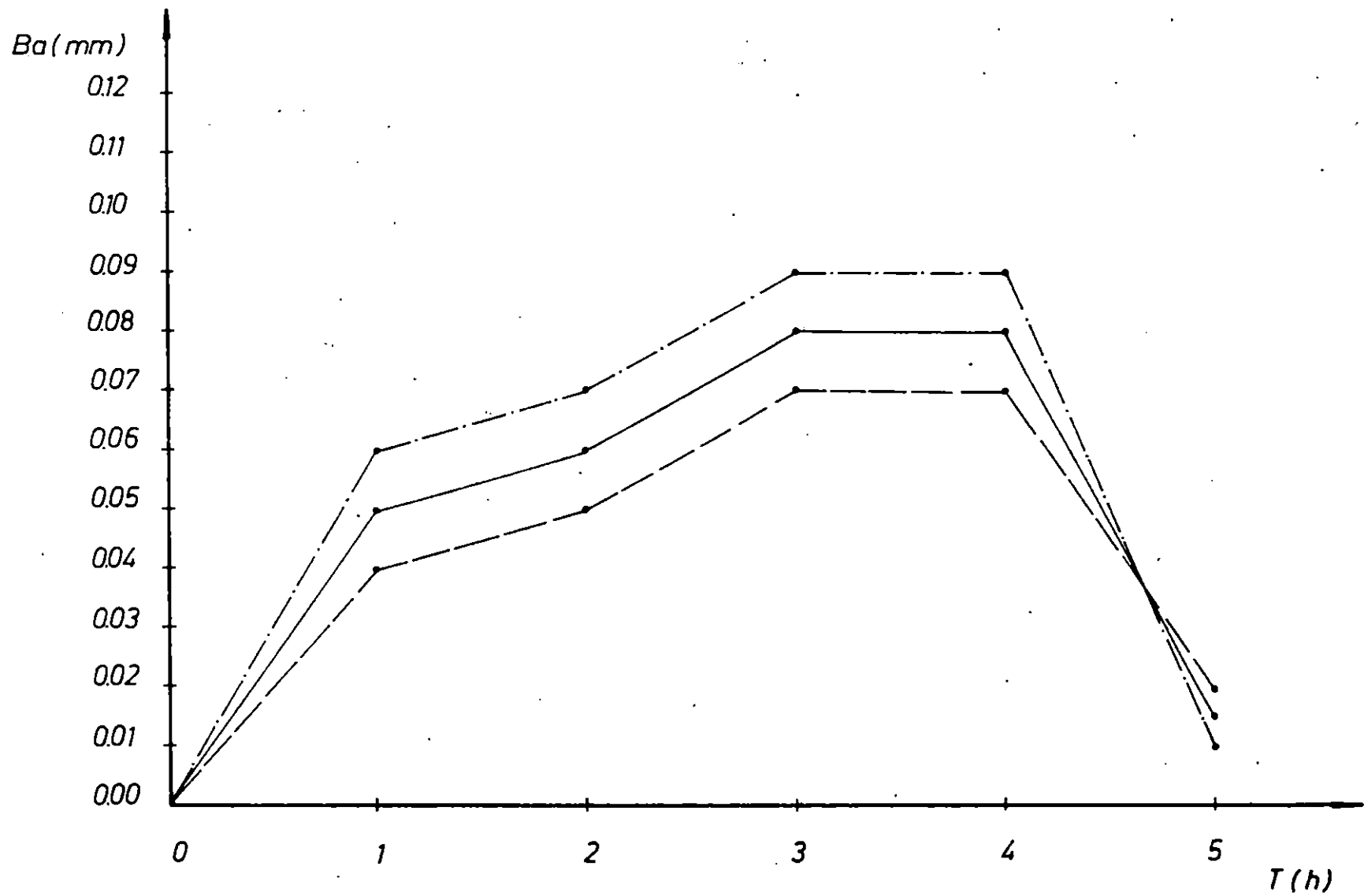
Oznaka probe	Bubrenje				Bubrenje				Bubrenje				Bubrenje				Max. srednje bubrenje						
	Ba	$\bar{B}a$	Br	$\bar{B}r$	Ba	$\bar{B}a$	Br	$\bar{B}r$	Ba	$\bar{B}a$	Br	$\bar{B}r$	Ba	$\bar{B}a$	Br	$\bar{B}r$	$\bar{B}a$	$\bar{B}r$					
	A	A ₁	0,06	0,05	2,4	2,0	0,07	0,06	2,8	2,4	0,09	0,08	3,6	3,2	0,09	0,08	2,5	2,65	0,01	0,015	0,4	0,6	0,08
	A ₂	0,04		1,6		0,05		2,0		0,07		2,8		0,07		2,8		0,02		0,8			
B	B ₁	0,03	0,045	1,1	1,7	0,07	0,075	2,6	2,8	0,09	0,095	3,4	3,6	0,09	0,095	3,4	3,6	0,08	0,085	3,0	3,2	0,095	3,6
	B ₂	0,06		2,3		0,08		3,0		0,10		3,8		0,10		3,8		0,09		3,4			
C	C ₁	0,05	0,055	-2,4	2,35	0,07	0,08	3,4	3,4	0,08	0,08	3,9	3,45	0,08	0,08	3,9	3,45	0,07	0,07	3,4	3,0	0,08	3,5
	C ₂	0,06		2,3		0,09		3,4		0,08		3,0		0,08		3,0		0,07		2,6			
D	D ₁	0,01	0,01	0,4	0,45	0,03	0,04	1,2	1,8	0,03	0,045	1,2	2,05	0,03	0,045	1,2	2,05	0,02	0,035	0,8	1,6	0,045	2,05
	D ₂	0,01		0,5		0,05		2,4		0,06		2,9		0,06		2,9		0,05		2,4			
E	E ₁	0,03	0,02	1,2	0,8	0,04	0,03	1,6	1,2	0,05	0,045	2,0	1,85	0,05	0,04	2,0	1,65	0,09	0,06	1,6	1,45	0,06	1,85
	E ₂	0,01		0,4		0,02		0,8		0,04		1,7		0,03		1,3		0,03		1,3			
F	F ₁	0,09	0,075	4,5	3,45	0,11	0,085	5,4	3,9	0,11	0,10	5,4	4,4	0,10	0,095	5,0	4,3	0,09	0,08	4,5	3,7	0,10	4,4
	F ₂	0,06		2,4		0,06		2,4		0,09		3,4		0,09		3,6		0,07		2,8			

Redoslijed veličine bubrenja svih tipova ljepila izgledao je ovako :

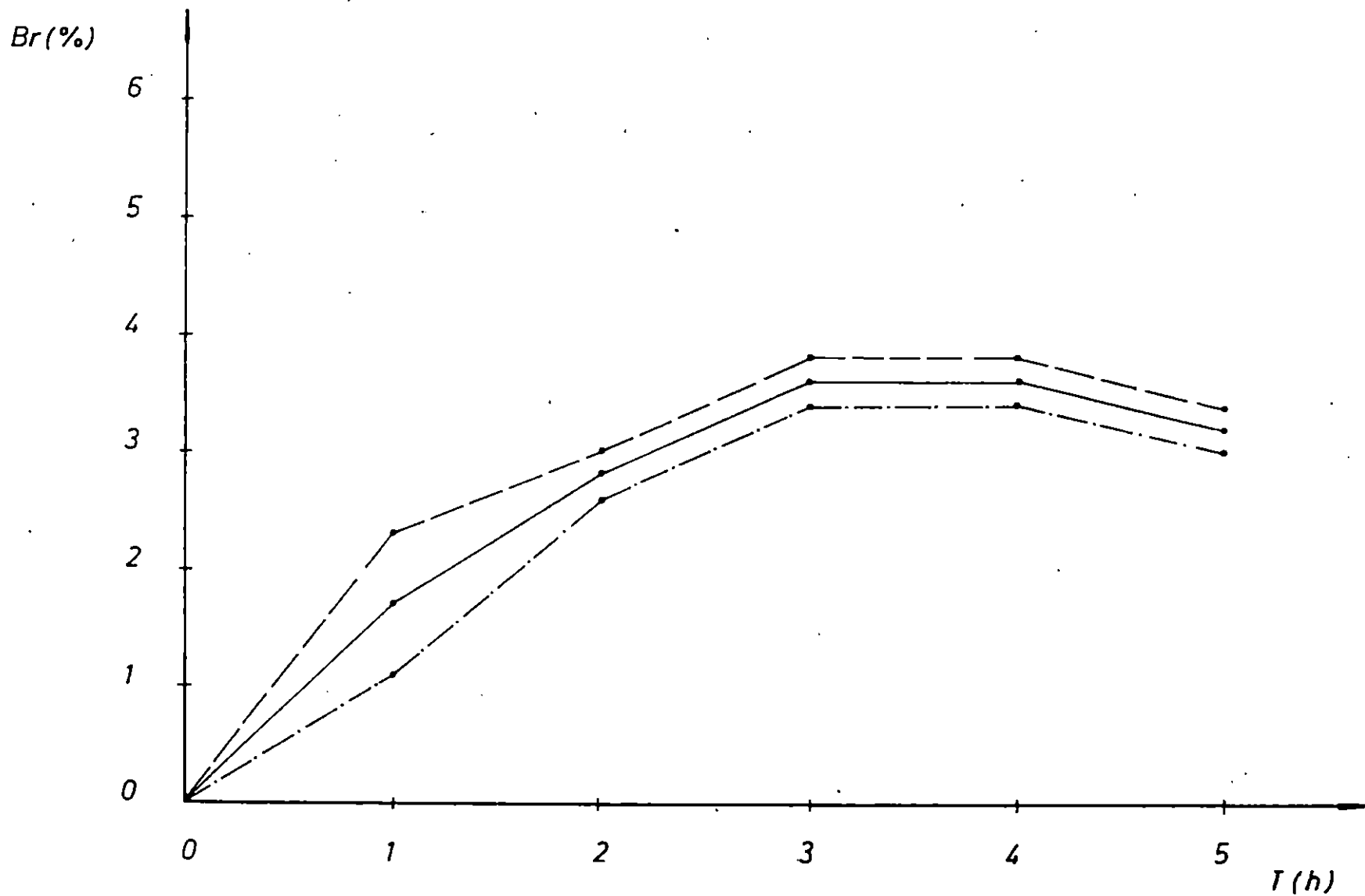
1.	Proba "E"	- Titebond Regular 50	/1.9 %/
2.	Proba "D"	- Rakoll LP 7584	/2.1 %/
3.	Proba "A"	- Suprakol 630	/3.2 %/
4.	Proba "C"	- Rakoll E x P 25	/3.5 %/
5.	Proba "B"	- Tempo Leim 631	/3.6 %/
6.	Proba "F"	- Rotokol 1102	/4.4 %/



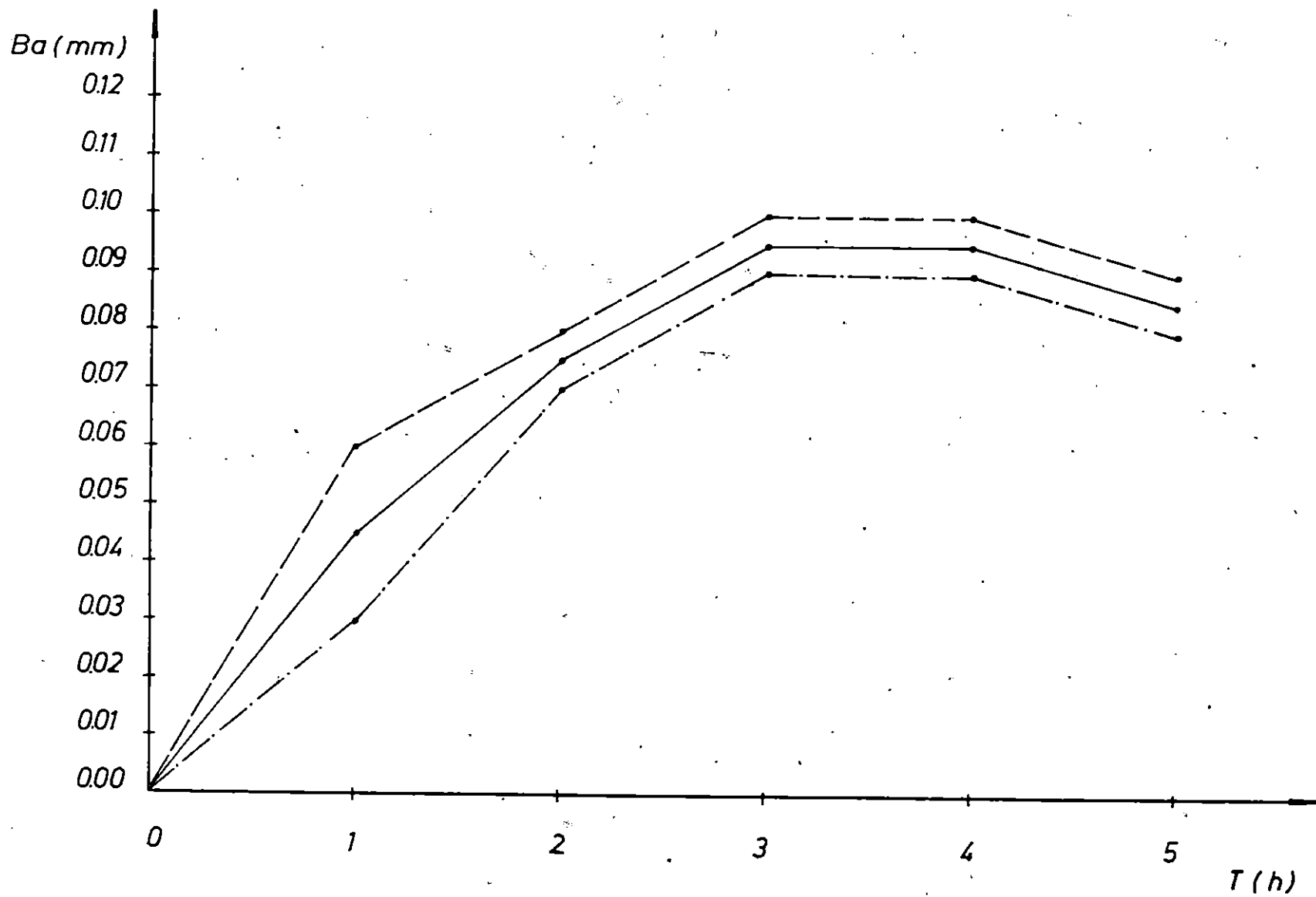
Sl.42. Relativno bubrenje probè „A”



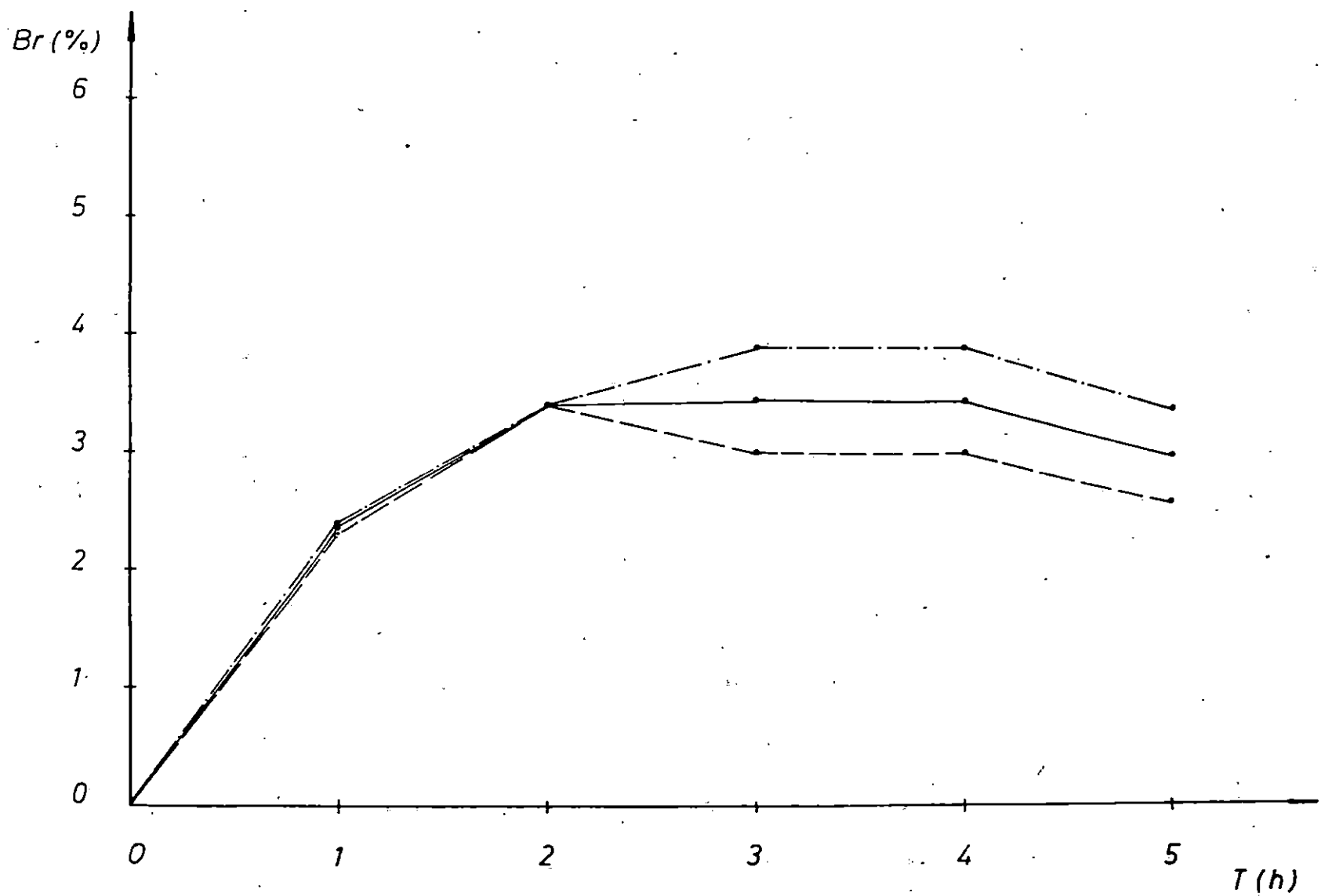
Sl.43. Apsolutno bubrenje probe „A”



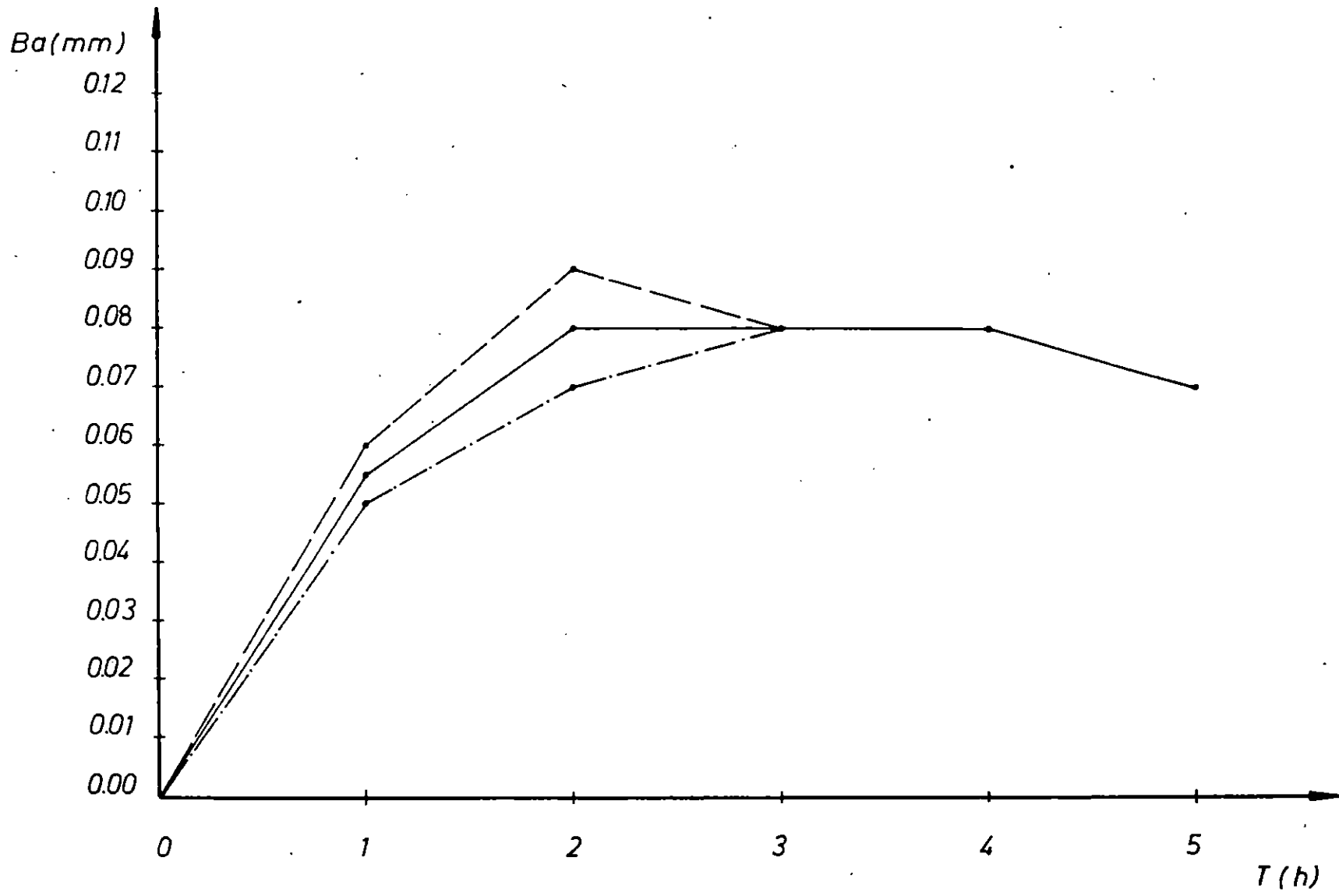
Sl. 44. Relativno bubrenje probe „B”



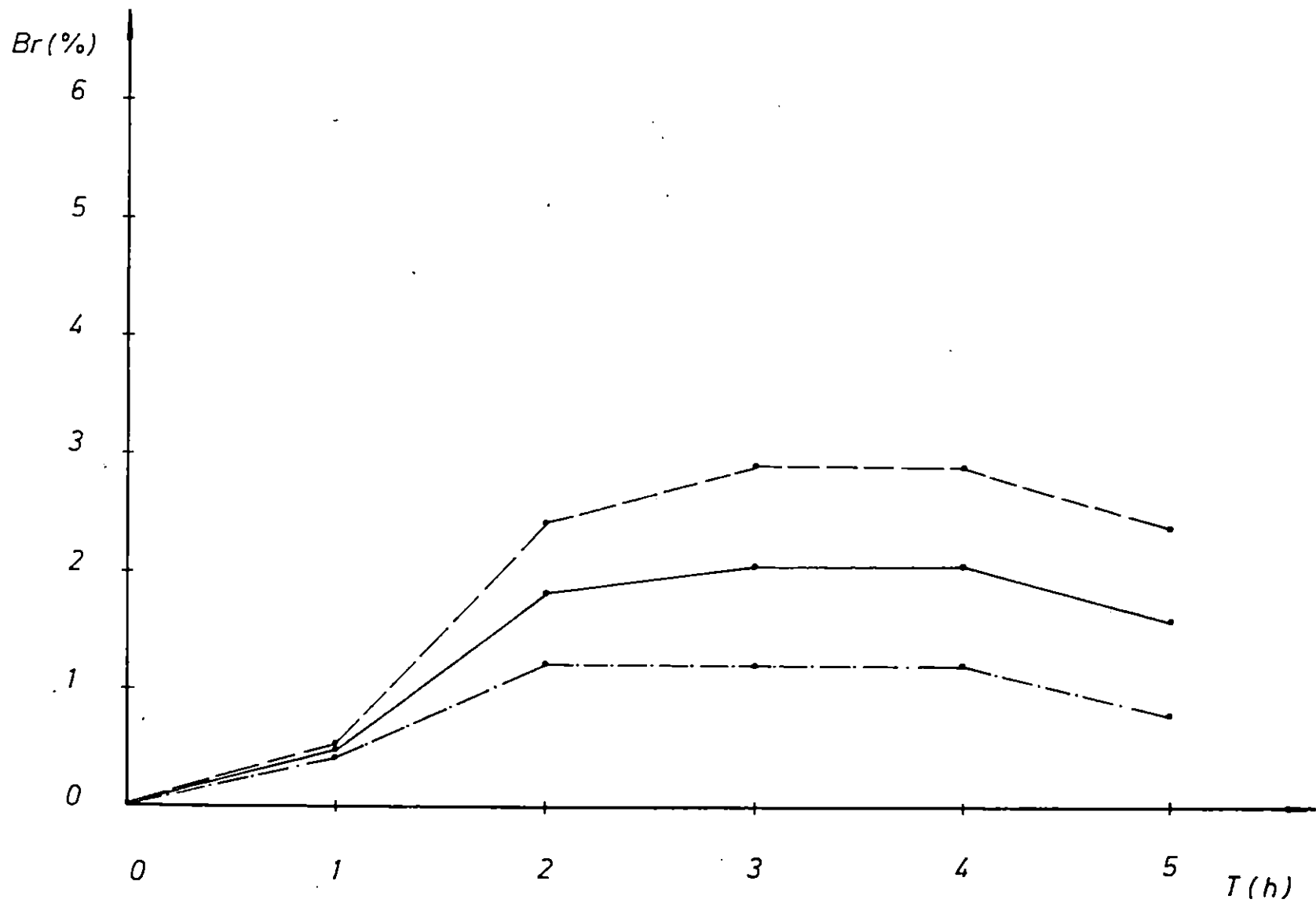
Sl.45. Apsolutno bubrenje probe „B”



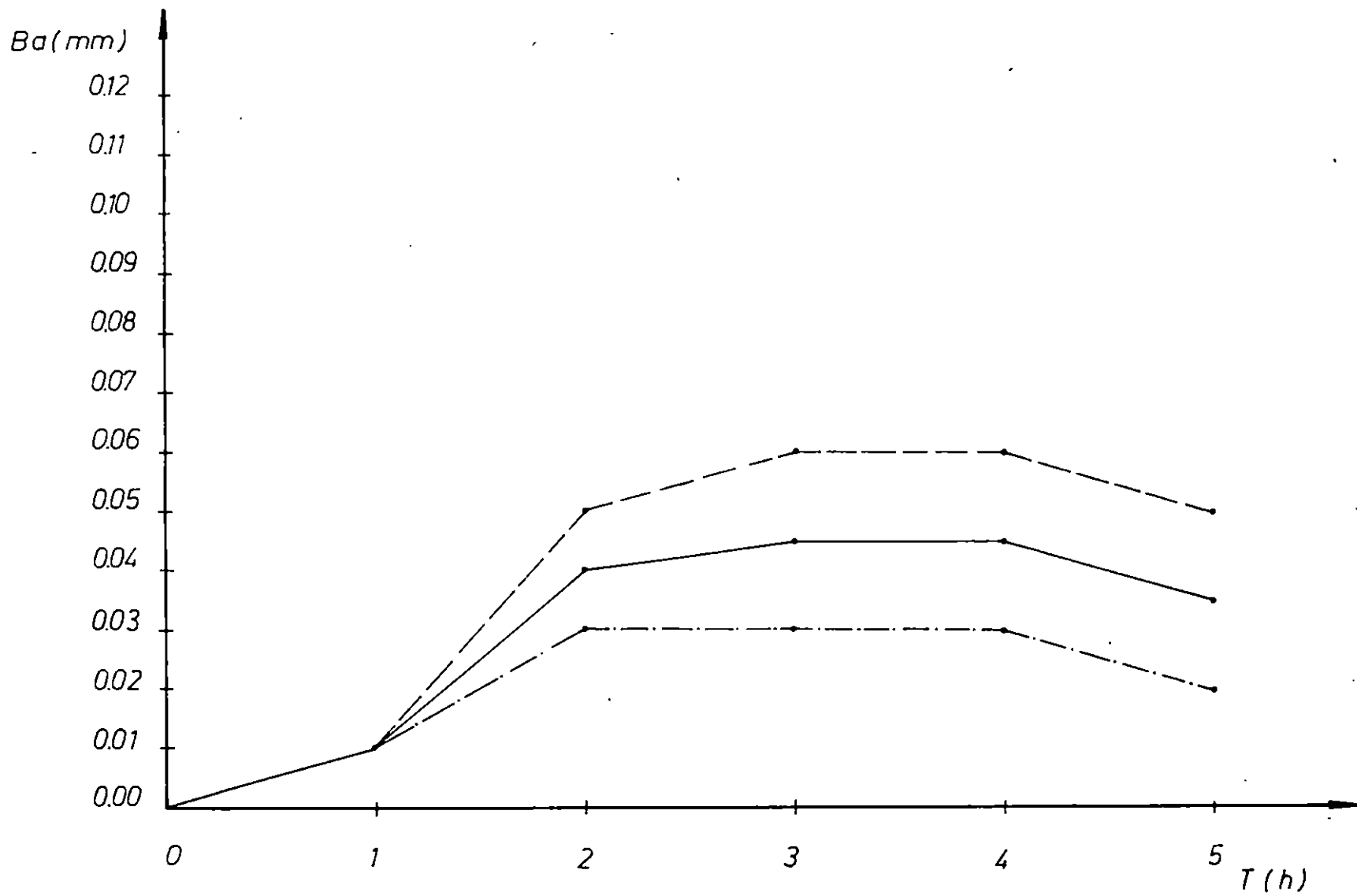
Sl.46. Relativno bubrenje probe „C”



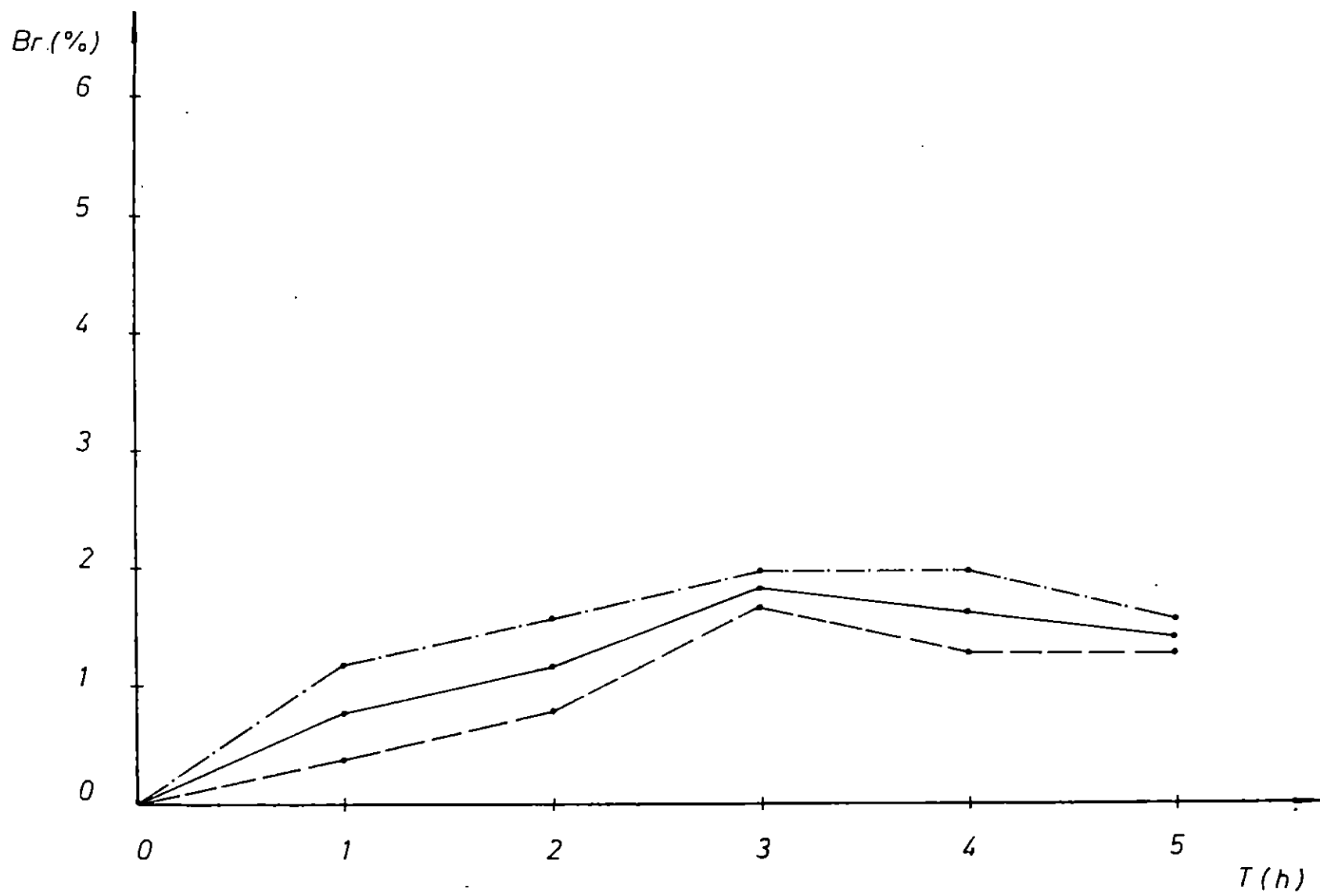
Sl.47 . Apsolutno bubrenje probe „C”



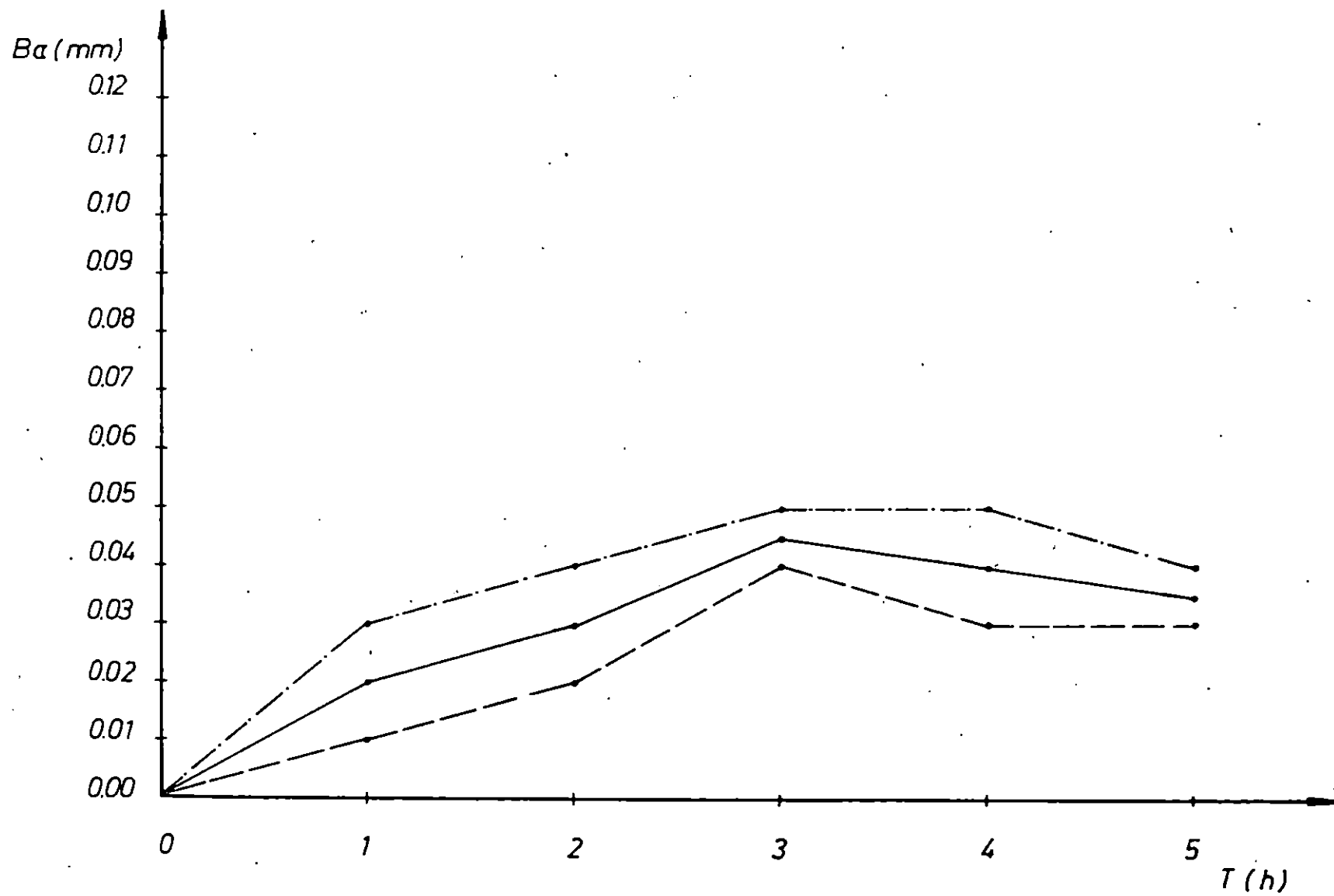
Sl 48. Relativno bubrenje probe „D”



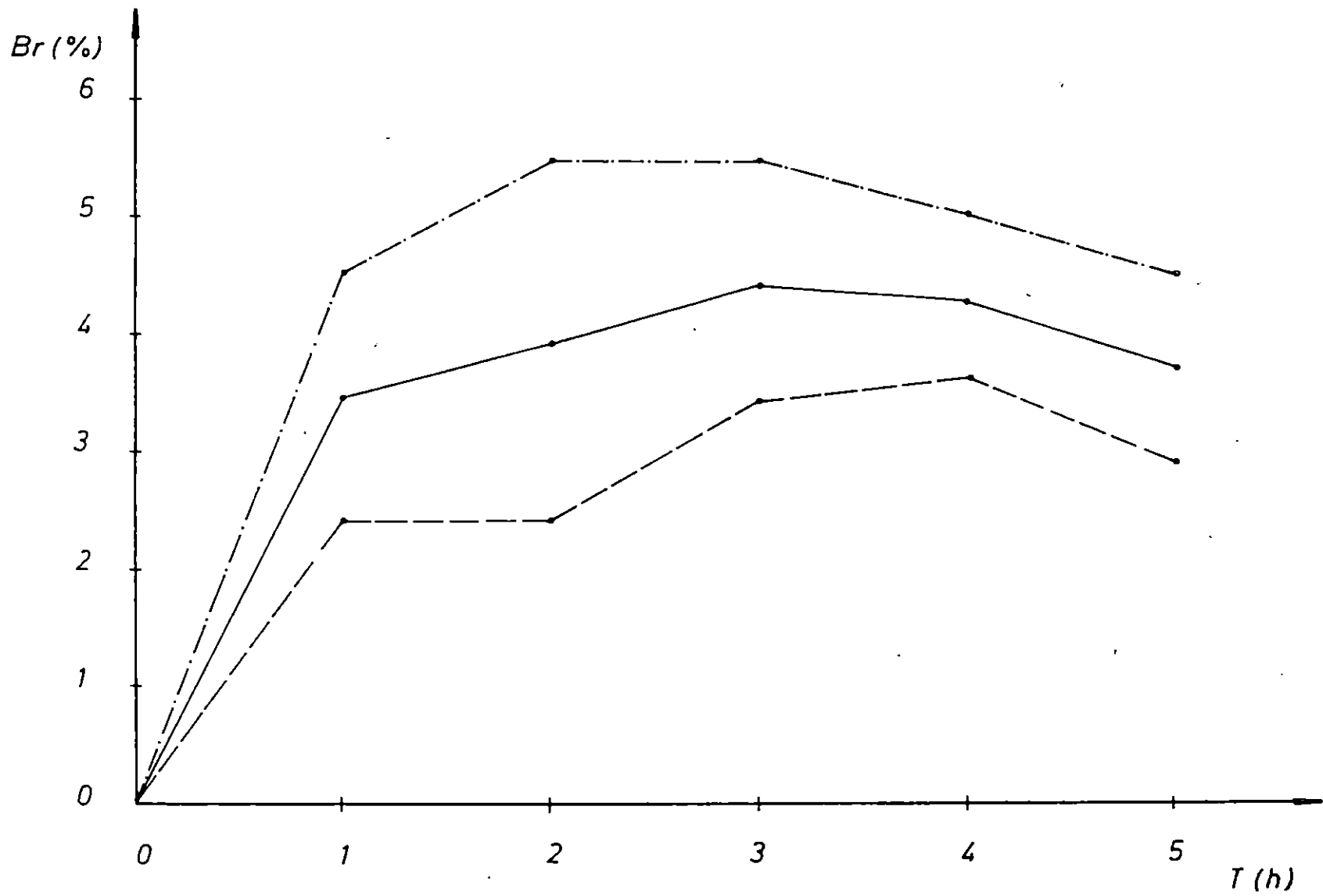
Sl. 49 . Apsolutno bubrenje probe „D”



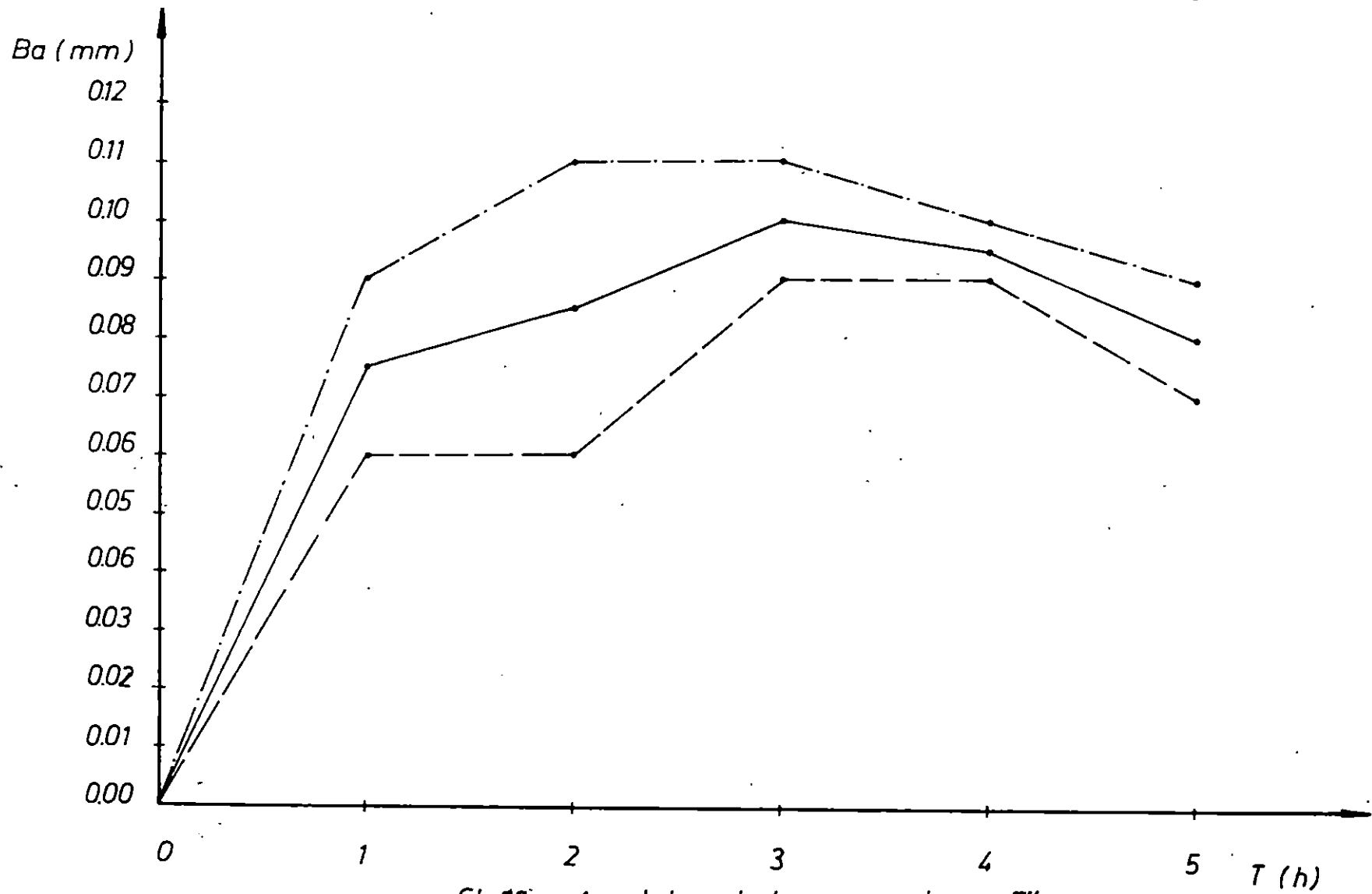
Sl.50. Relativno bubrenje probe „E”



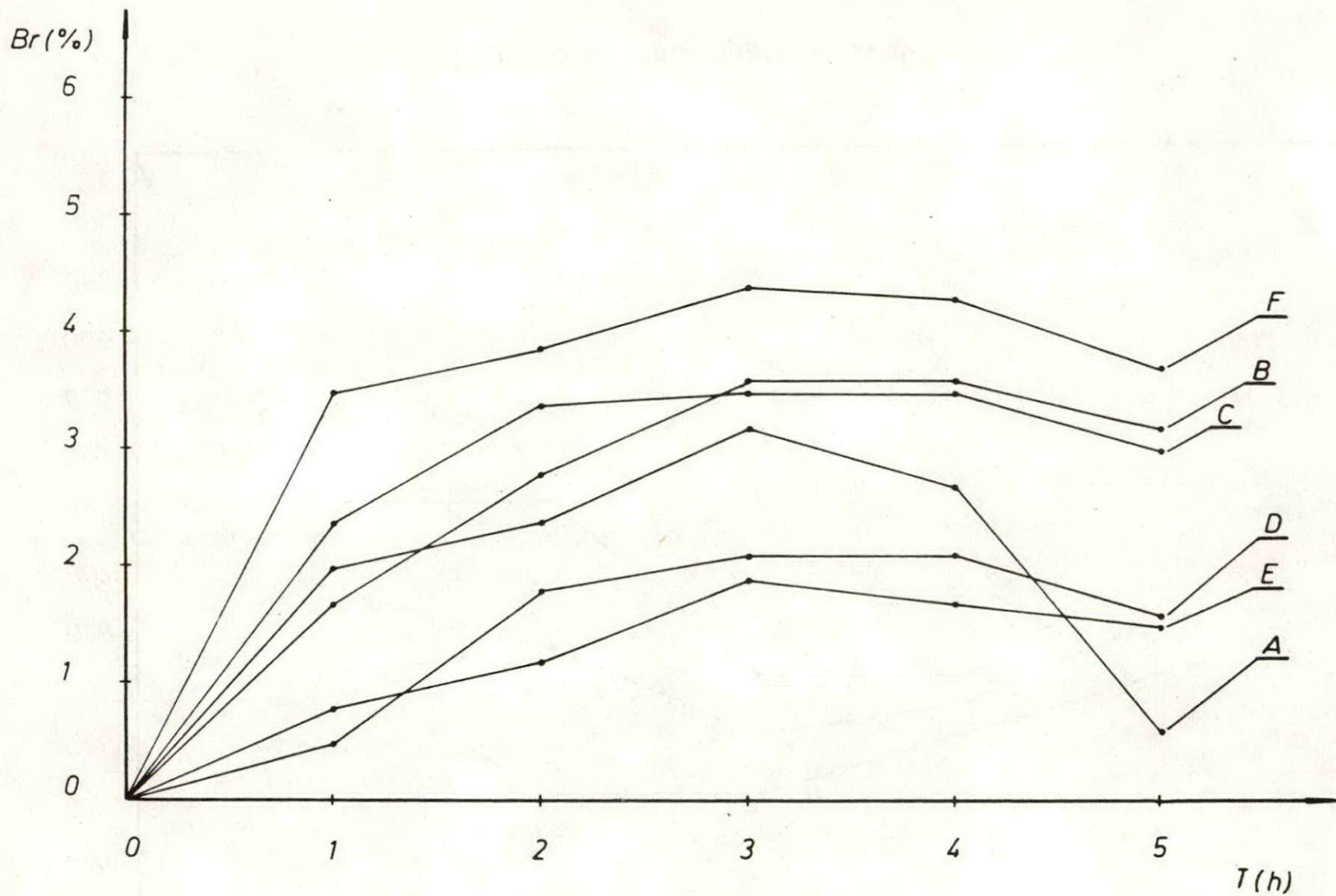
Sl. 51 . Apsolutno bubrenje probe „E”



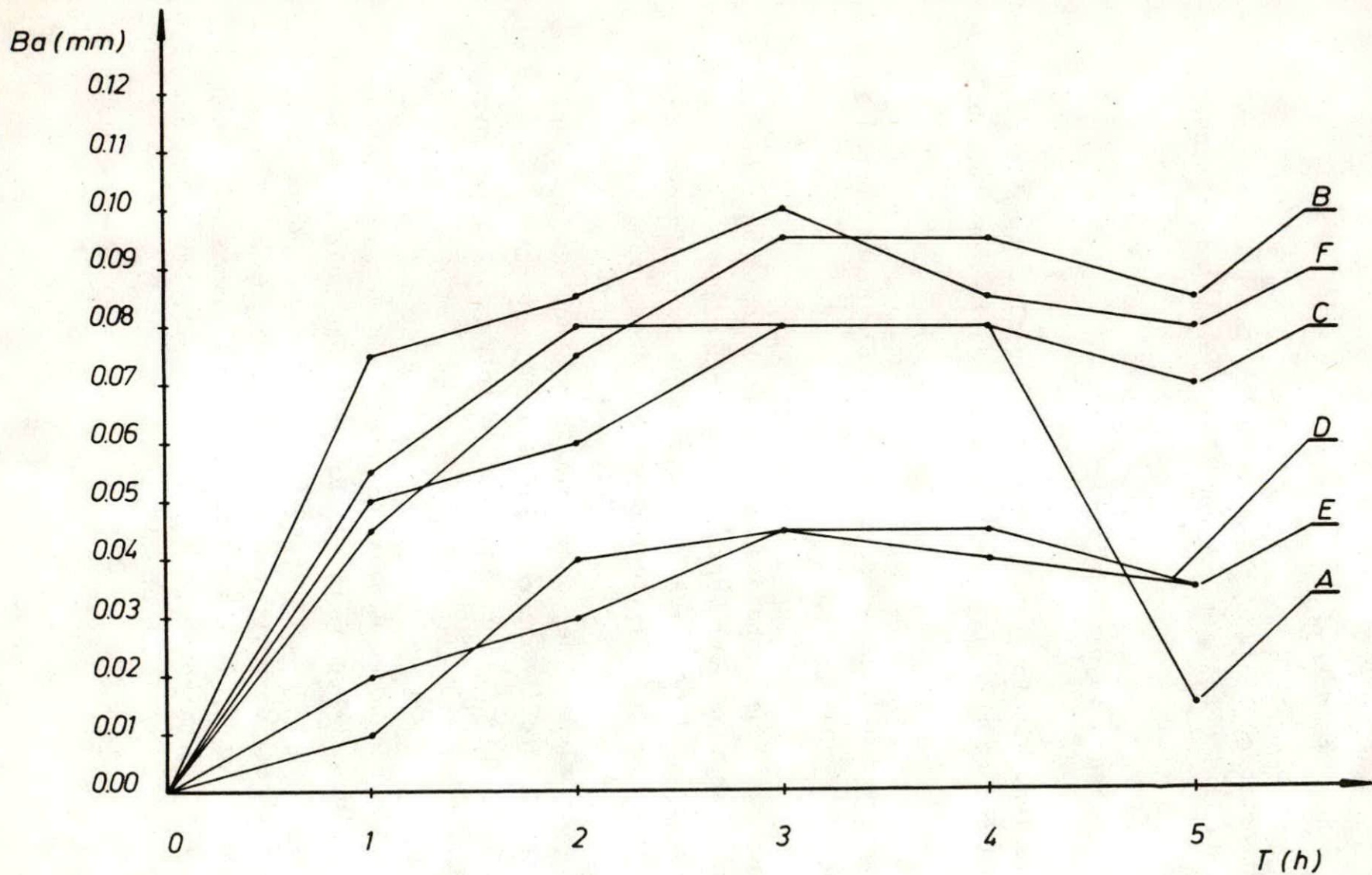
Sl. 52. Relativno 'bubrenje probe „F“



Sl. 53. Apsolutno bubrenje probe „F”



Sl.54. Relativno bubrežje probe (A-F)



Sl.55. Apsolutno bubrenje probe (A-F)

11.5. DESTRUKCIJA FILMA PVA LJEPILA

Opis postupka

Svaki potrošač PVA ljepljiva može na brz i jednostavan način utvrditi da li i u kojoj mjeri neki lak djeluje na film suhog ljepljiva.

Pokus je raden na slijedeći način :

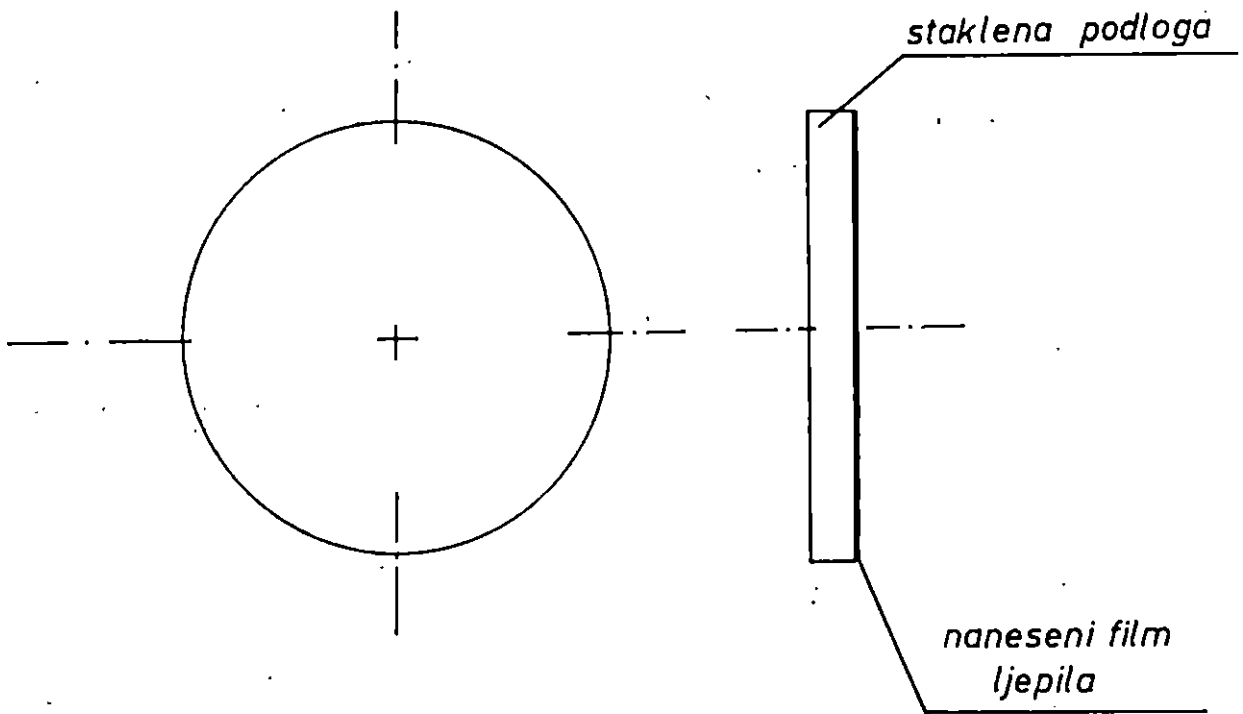
Na staklenu pločicu nanesen je sloj ljepljiva. Ljepljivo se nanosilo pomoću šprice tako da je količina nanosa za sve probe bila jednaka.

Za svaku vrstu ljepljiva radene su po dvije probe. Nanos ljepljiva sušio se je 48^h.

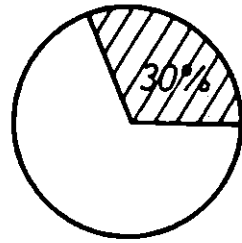
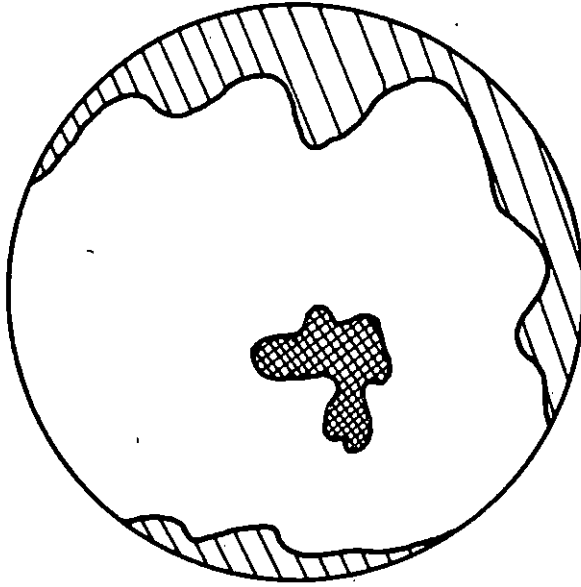
Osušene staklene probe jednostavno su potopljene u NC lak sa kojim se obavlja površinska obrada. Ovdje je to bio lak "Kromopolicel polumat 6069 - 42" pomiješan sa razređivačem "Kromopolicel R 6050 - 12". Probe su ostale uronjene u lak 24^h.

Nakon toga gledana je destrukcija nanesenog sloja, ljepljiva na pločicama. Određivanje veličine destrukcije bilo je pomoću milimetarskog papira i izraženo je u postotku od čitave površine ljepljiva.

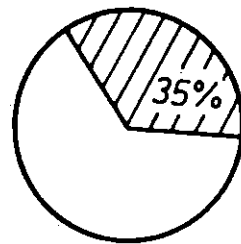
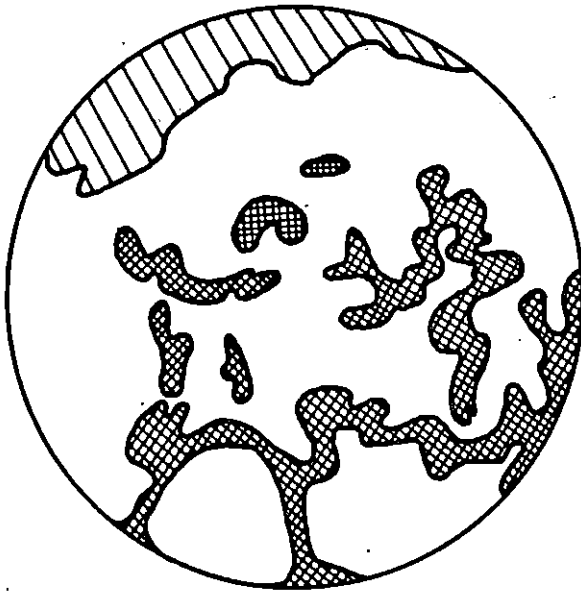
Od ljepljiva kod kojeg u ovakvoj probi dođe do destrukcije određene površine može se očekivati da će u toku površinske obrade bubriti, a to znači da će doći do isticanja i otvaranja sljubnica, a time i do narušavanja veze između podloge i laka, odnosno oštećivanja lakovnog filma. Izgled stakalca i nanesenog sloja ljepljiva prikazan je na slici br. 56., dok slike br. 57 - 62. prikazuju izgled proba nakon vađenja iz laka.

M 2:1

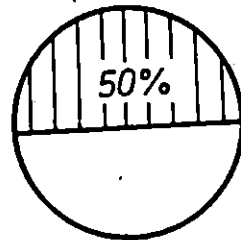
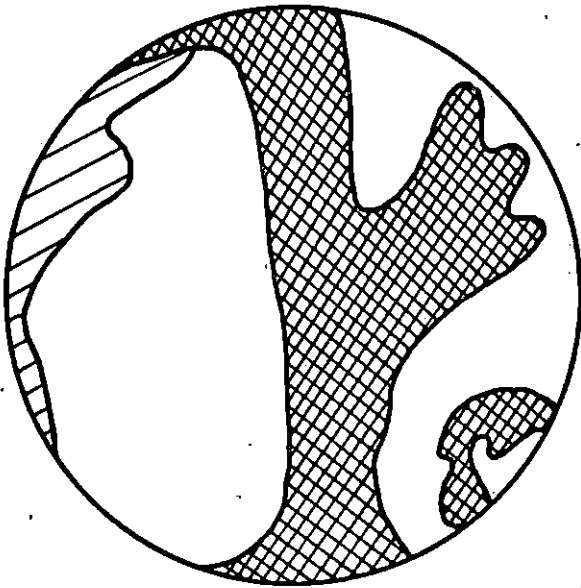
Sl. 56. Staklena podloga sa nanesenim ljepilom



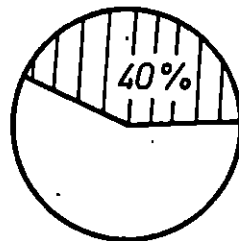
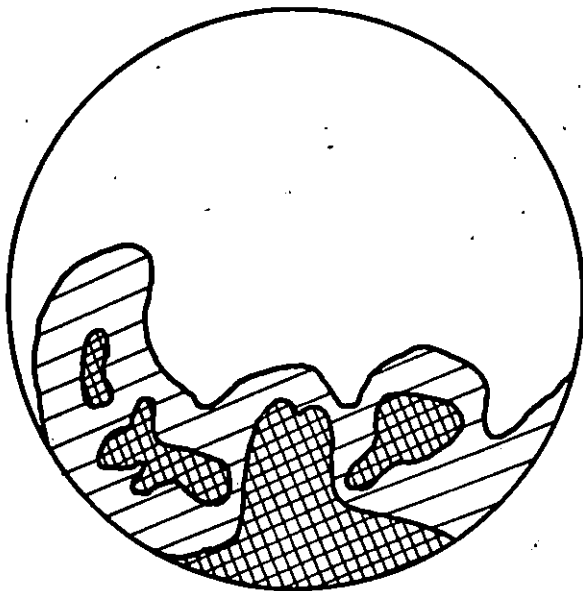
Proba A₁



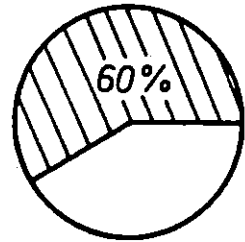
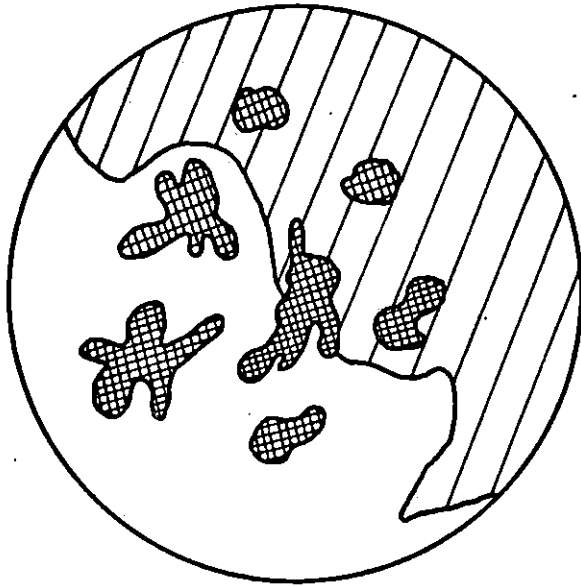
Proba A₂



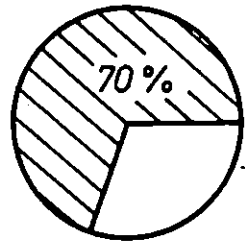
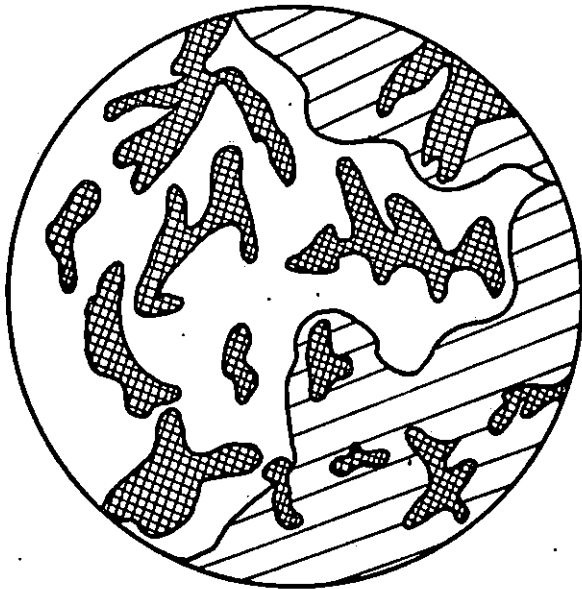
Proba B₁



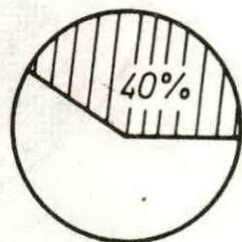
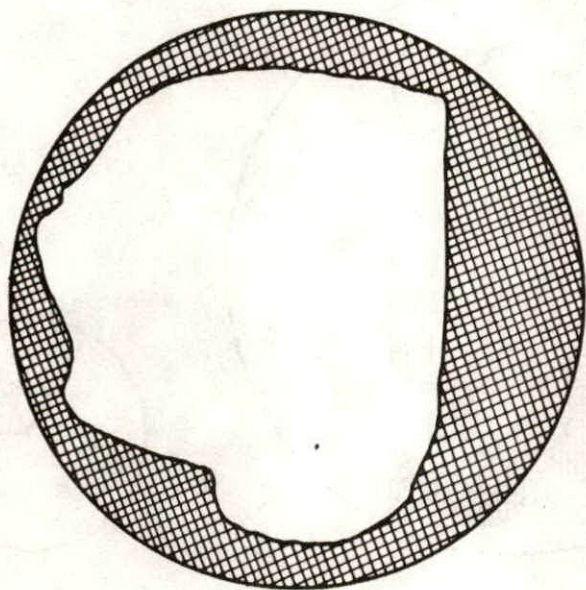
Proba B₂



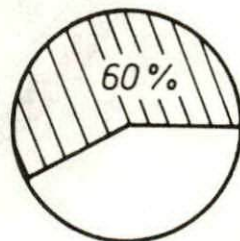
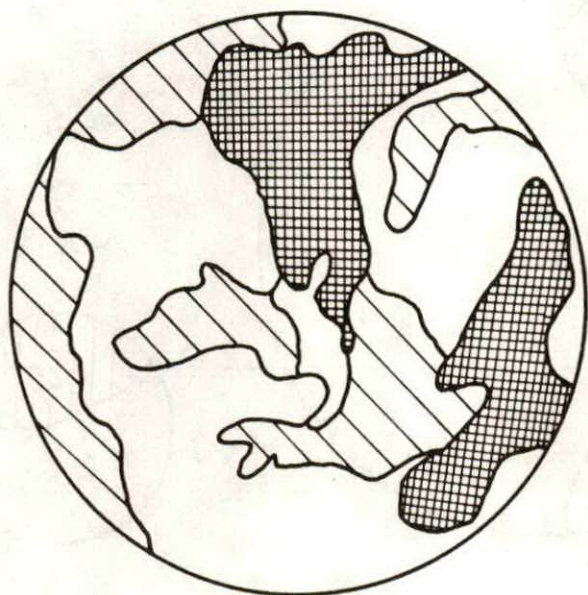
Proba C_1



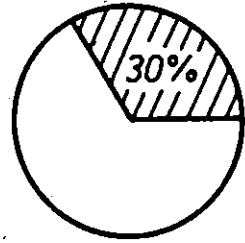
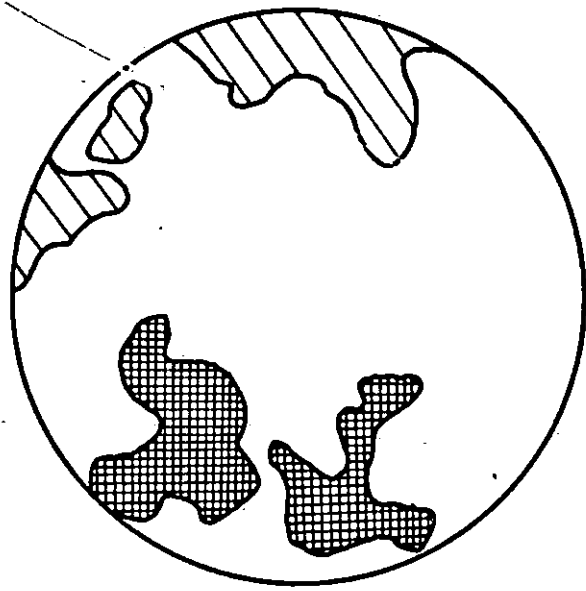
Proba C_2



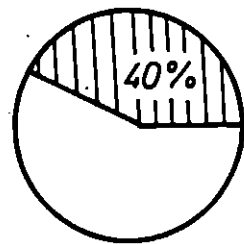
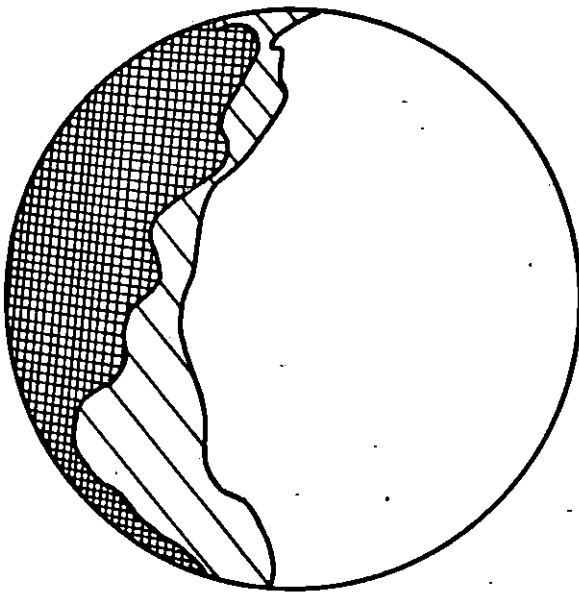
Proba D_1



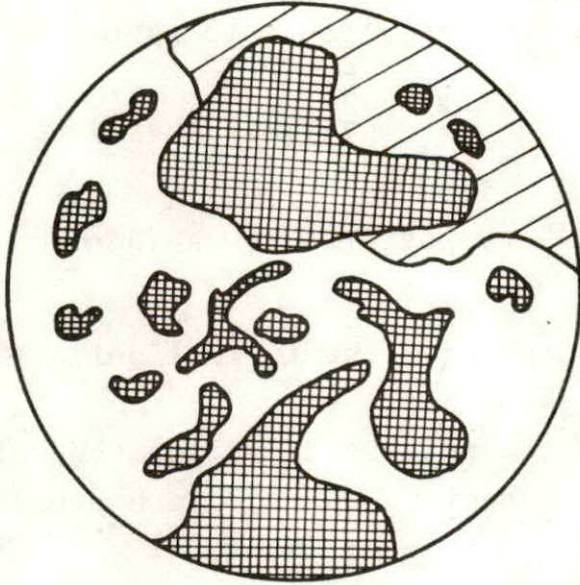
Proba D_2



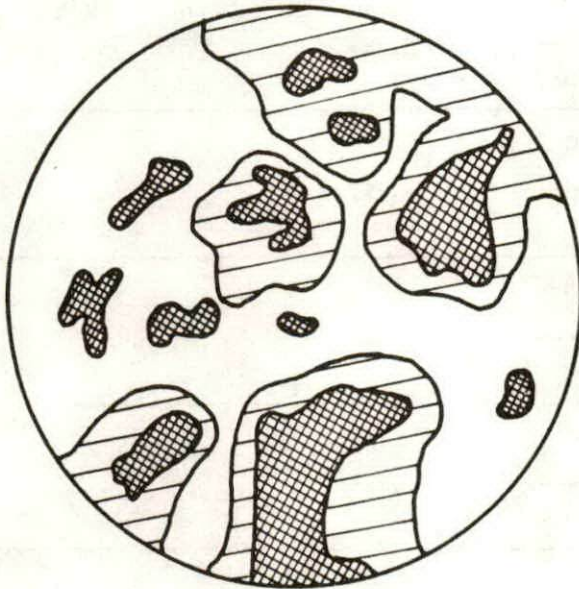
Proba E_1



Proba E_2



Proba F_1



Proba F_2

Rezultati pokazuju da je destrukcija filma laka uslijedila na svim probama.

Pri tome na probama su zapažene tri vrste površina :

- uzdignuta površina filma ljepila
- odljepljena površina filma ljepila
- neoštećena površina filma ljepila

Veličina destrukcije /uzdignute i odljepljene površine/ filma ljepila izražena je u postocima kod pojedinih proba i bila je:

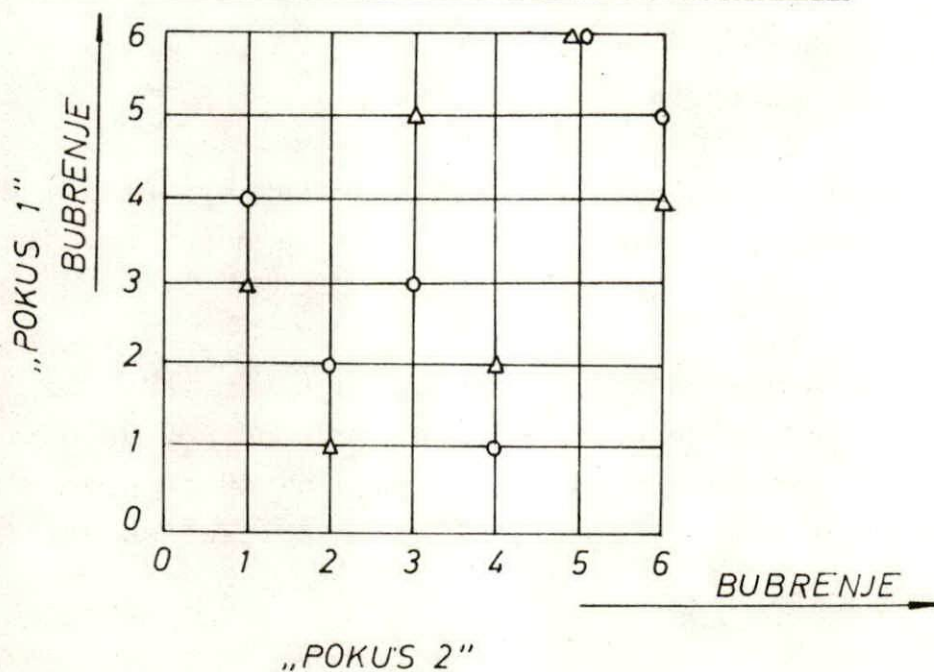
Oznaka probe	Destrukcija /%/		Redoslijed proba
A	A ₁	30	1.
	A ₂	35	
B	B ₁	50	3.
	B ₂	40	
C	C ₁	60	6.
	C ₂	70	
D	D ₁	40	4.
	D ₂	60	
E	E ₁	30	2.
	E ₂	40	
F	F ₁	60	5.
	F ₂	65	

"Pokus 2" /destrukcija filma PVA ljepljiva/ pokazao je ono što je već bilo vidljivo i iz "Pokusa 1" /ispitivanje veličine bubrenja PVA ljepljiva/, a to je neotpornost PVA ljepljiva na utjecaj NC lakova. I u jednom i u drugom pokusu dolazi do reakcije između ljepljiva i razređivača iz laka, tako da kod prvog pokusa dolazi do bubrenja ljepljiva, a u drugom pokusu do odljepljivanja dijela površine nanesenog ljepljiva.

Kolika je destrukcija sloja ljepljiva po pojedinim probama u skladu sa bubrenjem pojedinih proba iz prvog pokusa, vidljivo je iz prikazane veze "Pokusa 1" i "Pokusa 2".

Rang "Pokusa 1"		Rang "Pokusa 2"
1. - D	1. - E	1. - A
2. - E	2. - D	2. - E
3. - B	3. - A	3. - B
4. - A	4. - C	4. - D
5. - C	5. - B	5. - F
6. - F	6. - F	6. - C

○.....1 h △..... 5 h



11.4. ISPITIVANJE ČVRSTOĆE SLIJEPLJENIH SPOJEVA

Problemetika ispitivanja

Problem proračuna čvrstoće slijepljenih konstrukcija nije do danas u potpunosti riješen. Nijedna metoda proračuna ne garantira pouzdano određivanje čvrstoće neke realne konstrukcije. Zbog toga je posebno važno eksperimentalno određivanje mehaničke čvrstoće slijepljenih spojeva, odnosno konstrukcija. Metode ispitivanja čvrstoće slijepljenih spojeva, Konstrukcije se mogu podijeliti u tri grupe :

1. Eksploatacijsko ispitivanje proizvoda

Pri tome se proizvod izlaže ili uvjetima realne eksploatacije, što traje veoma dugo i teško je kontrolirati sve djelujuće faktore ili uvjetima simulirane eksploatacije, gdje su svi procesi ubrzani, faktori poznati i vrijeme skraćeno.

2. Statičko i dinamičko ispitivanje

sklopova proizvoda kod čega se koriste opterećenja koja nastaju u eksploataciji.

3. Laboratorijsko ispitivanje

spojeva na uzorcima.

U raznim ispitivanjima slijepljenih konstrukcija dolazi do loma po drvu. Na temelju maksimalne sile i napregnutog presjeka obračunava se čvrstoća.

To u stvari nije čvrstoća lijepljenja, nego nam takva ispitivanja govori da je čvrstoća lijepljenja veća od dobivene vrijednosti. Da se ispita čvrstoća lijepljenja uzima se drvo visokih mehaničkih svojstava ili metal, ali tada su promjenjeni realni uvjeti.

11.5. ISPITIVANJE ČVRSTOĆE NA SMICANJE I IZRAČUNAVANJE RELATIVNE ČVRSTOĆE

O p i s

Ispitivanje čvrstoće na smicanje može se vršiti smicanjme dva-ju međusobno slijepljenih dijelova pomoću vlaka i tlaka. U ovom slučaju ispitivanje je vršeno pomoću vlaka. Pri tome treba imati u vidu da izračunana čvrstoća spoja ovisio o duljini preklopa, širini preklopa kao i o debljini elemenata iz drva.

Za izračunavanje relativne čvrstoće rađene su dvije vrste proba. Jedne probe bile su namjenjene za ispitivanje čvrstoće lijepljenih proba /čvrstoće lijepljenog spoja/, dok su druge probe bile za ispitivanje čvrstoće masivne probe /čvrstoće masivnog drva/. Slika br. 63 prikazuje izgled proba.

Za svaku vrstu ljepila rađeno je šest proba, ukupno 36 lijepljenih proba. Od toga po tri probe su tretirane vođenim močilom i lakirane NC lakom, kako bi se vidio utjecaj močila i laka na čvrstoću lijepljenog spoja. Masivnih proba rađeno je ukupno deset.

Probe su izrađene od bukovih blistača kako bi se utjecaj drva prilikom ispitivanja što više izbjegao. Uzorci za probe uzeti su prilikom krojenja elemenata namjenjenih za izradu okvirnica vrata na vitrini "Lora - Rustik 3". Odabiranje uzoraka za probe bilo je sasvim slučajno bez ikakvih odabiranja.

Vlažnost drva bila je određivana pomoću električnog vlagomjera i dobivena prosječna vlažnost odabranih uzoraka bila je 12 %.

Iskrojeni uzorci sa nadmjerom izravnani su na ravnalici da bi se nakon toga pristupilo izradi sljubnica na blanjalici. Nakon izrade sljubnica prišlo se nanošenju ljepila na izrađene sljub-

nice. Ljepilo je nanoseno ručno sa četkom. Pri tome se pazilo da se nanese približno jednak sloj svih tipova ljepila. Stezanje uzoraka /lijepljenje izvedeno na hladno/ obavljeno je onako kako to rade u pogonu pri širinskom spajanju masivnog drva, a to je pomoću stolarskih stezaljki.

Uzorci u stezaljkama ostaju tri sata, da bi nakon toga bilo izvršeno poravnavanje uzoraka /egaliziranje na cilindričnoj brusilici/, zatim izrezivanje proba na potrebnu dužinu te njihovo zarezivanje. Jedan dio proba zatim je površinski obrađen vodenim močilom i lakiran sa NC lakom.

Ispitivanje je obavljeno na univerzalnom stroju "Wolpert" za ispitivanje mehaničkih svojstava drva.

Čvrstoća lijepljene i masivne probe izračunavana je po formuli :

$$\tau = \frac{F}{A} \quad \text{gdje je}$$

τ - čvrstoća probe na smicanje

F - maksimalna sila kod koje dolazi do loma

A - površina presjeka na kojem dolazi do loma

dok je relativna čvrstoća izračunavana :

$$\tau_r \text{ /relativna čvrstoća/} = \frac{\text{čvrstoća slijepljene probe}}{\text{čvrstoća masivne probe}}$$

Rezultati ispitivanja dani su u tabeli br.21.

Ozkeke proba u tabeli br. 21. znače :

$$A_1 - A_2 - A_3; B_1 - B_2 - B_3 \dots F_1 - F_2 - F_3$$

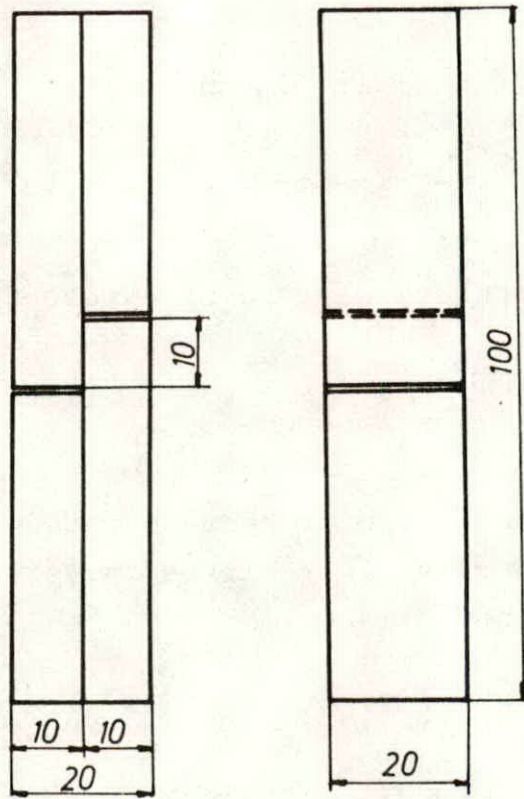
označavaju probe za čvrstoću lijepljenog spoja.

$$Ax_1 - Ax_2 - Ax_3; Bx_1 - Bx_2 - Bx_3 \dots Fx_1 - Fx_2 - Fx_3$$

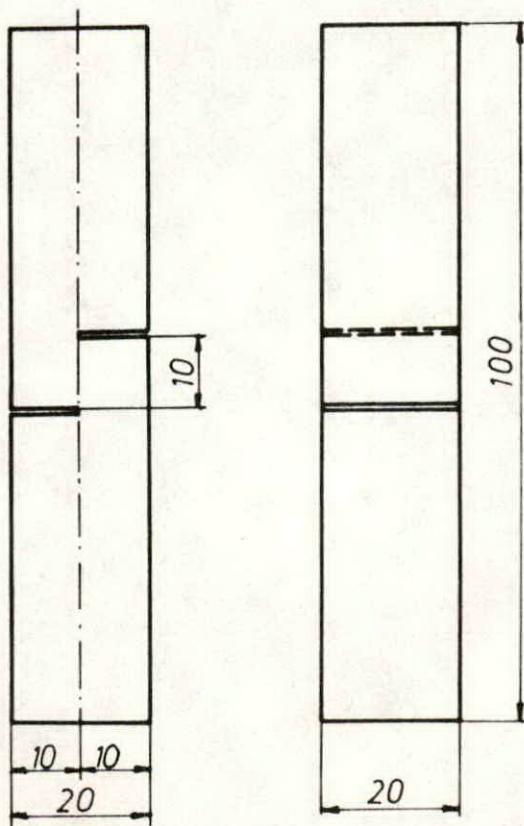
označavaju probe za čvrstoću lijepljenog spoja, površinski tretirane sa vodenim močilom i lakirane NC lakom.

1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10

označavaju probe za izračunavanje čvrstoće masivne /ne lijepljene/ probe.



Sl 63 a. Ljepljena proba



Sl 63 b. Masivna proba

Tabelarni prikaz

TABELA br. 21

 REZULTATI ISPITIVANJA ČVRSTOĆA NA SMICANJE I RELATIVNE
 ČVRSTOĆE SLIJEPLJENIH PROBA

Oznaka probe	Dim. probe		$A = a \cdot b$	F /N/	$\tau = F/A$	$\bar{\tau}$	τ_r	Lom po ljepilu
	a /mm/	b /mm/	/mm ² /		/N/mm ² /	/N/mm ² /		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
A ₁	10.4	19.1	198,64	2230	11.23			100
A ₂	10.4	19.3	200,72	2220	11.06	10.85	0.711	80
A ₃	10.3	19.3	198,79	2040	10.26			100
Ax ₁	10.3	19.2	197,76	1846	9.46			100
Ax ₂	10.6	19.3	204.58	1650	8.07	8.78	0,576	90
Ax ₃	10.6	19.2	203.52	1790	8.80			85
B ₁	10.8	19.0	205.20	2200	10.72			60
B ₂	10.6	19.0	201.40	2050	10.18	10.59	0,694	90
B ₃	10.9	19.0	207.10	2250	10.87			90
Bx ₁	10.4	19.3	200.72	1390	6.93			95
Bx ₂	10.5	19.4	203.70	1500	7.36	6.87	0,450	100
Bx ₃	10.4	19.2	199.68	1260	6.31			100
C ₁	10.3	19.0	195.70	1650	9.45			90
C ₂	10.9	19.3	210.37	2250	10.69	10.75	0,705	100
C ₃	10.5	19.1	200.55	2410	12.02			80
Cx ₁	11.0	19.3	212.30	2230	10.50			80
Cx ₂	10.4	19.3	200.72	1220	6.08	7.63	0.500	100
Cx ₃	10.6	19.6	207.76	1310	6.31			100

T A B E L A br. 21 (nastavak)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
D ₁	10.6	19.3	204.58	2750	13.44			60
D ₂	10.7	19.0	203.30	2860	14.07	13.66	0.896	30
D ₃	10.6	19.0	201.40	2710	13.46			30
Dx ₁	10.6	19.1	202.46	2620	12.94			70
Dx ₂	10.8	19.4	209.52	2550	12.17	12.56	0.824	60
Dx ₃	10.6	19.2	203.52	*	-			-
E ₁	8.9	19.3	160.19	3010	18.79			10
E ₂	10.1	19.1	192.91	4000	20.74	19.20	1.259	10
E ₃	10.6	19.2	203.52	3680	18.08			10
Ex ₁	10.5	19.4	203.70	3610	17.72			80
Ex ₂	10.5	19.4	203.70	3690	18.11	17.92	1.175	90
Ex ₃	10.4	19.6	203.84	*	-			-
F ₁	10.4	19.0	197.60	2270	11.49			90
F ₂	10.4	19.0	197.60	2460	12.45	11.94	0.783	80
F ₃	10.2	19.0	193.80	2300	11.87			80
Fx ₁	10.4	19.4	201.76	1490	7.39			90
Fx ₂	10.7	19.4	207.58	2040	9.83	9.36	0.614	80
Fx ₃	10.4	19.1	198.64	2160	10.87			80

Napomena : * uzorak nepravilno pokidan

T A B E L A br.22.

 REZULTATI ISPITIVANJA ČVRSTOĆE NA SMICANJE MASIVNIH
 /NE LIJEPLJENIH/ PROBA

Oznaka probe	Dim.probe		A = a · b /mm ² /	F /N/	$\tau = F/A$ /N/ mm ² /	$\bar{\tau}$ /N/ mm ² /
	a /mm/	b /mm/				
1.	12.0	20.1	241.20	2940	12.19	
2.	10.1	20.0	202.00	3070	15.20	
3.	10.5	20.2	212.10	3460	16.31	
4.	10.5	20.3	213.15	3700	17.36	
5.	10.4	20.1	209.04	2860	13.68	15.25
6.	10.4	20.0	208.00	3200	15.38	
7.	10.4	19.7	204.88	2910	14.20	
8.	10.2	20.1	205.02	3350	16.34	
9.	11.8	20.0	236.00	3340	14.15	
10.	10.0	20.0	200.00	3540	17.70	

Rezultati iz tebele br.21. pokazuju slijedeće :

- promjenu čvrstoće smicanja prema grupama uzoraka
- pad čvrstoće smicanja kod uzoraka koji su tretirani vodenim močilom i NC lakom

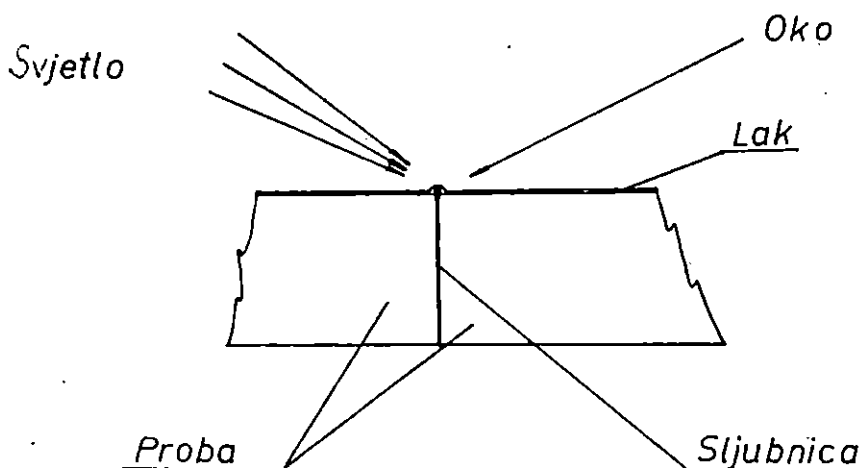
Ako se posmatra promjena čvrstoća na smicanje s obzirom na tip ljepljivosti sa kojim su probe radene, onda se može primijetiti da nekih razlika ne postoji, osim što proba "E" odskaka od ostalih. Kod ostalih proba /F,B,C,A,D/ razlike u čvrstoći na smicanje nisu velike.

To navodi na zaključak da se po pitanju čvrstoće na smicanje ljepila Rotokol 1102, Tempo Leim 631, Rakoll E x P 25, Suprakol 630 i Rakoll LP - 7584 mogu podjednako odabirati i upotrebljavati osim ljepila tipa Titebond Regular 50 koje se može upotrijebiti tamo gdje se ukaže potreba za većom čvrstoćom.

Nadalje, kod dijela proba tretiranih vodenim močilom i NC lakom kod svih tipova ljepila vidljiv je pad vrijednosti čvrstoća na smicanje. To dokazuje da uzajamna upotreba PVA ljepila i NC lakova dovodi i do smanjenja čvrstoće tih spojeva. Smanjenje čvrstoće najslabije se očituje kod ljepila Titebond Regular 50, Rakoll LP - 7584, kod ostalih tipova je nešto veći, a najveći je kod ljepila tipa Tempo Leim 631 i Rakoll E x P 25.

Iz tabele br.22 vidljivo je da čvrstoća smicanja masivnih proba /koje su radene zbog toga da bi se mogla izračunati relativna čvrstoća/ varira od najmanje vrijednosti od 12.19 N/mm^2 do najveće vrijednosti od 17.71 N/mm^2 , da bi srednja vrijednost bila 15.25 N/mm^2 .

Kod proba koje su tretirane vodenim močilom i NC lakom osim već opisanog utjecaja na čvrstoću smicanja, dolazi i do pojave isticanja sljubnica. Shematski prikaz izgleda nabubrenog spoja izgledao bi ovako :



Rangiranje vidljivosti sljubnica bilo je izvedeno na slijedeći način :

Uzet je uzorak na kojem se sljubnica najviše isticala i uzorak na kojem je sljubnica bila najmanje vidljiva. Na temelju ova dva krajnja slučaja poredani su i ostali uzorci.

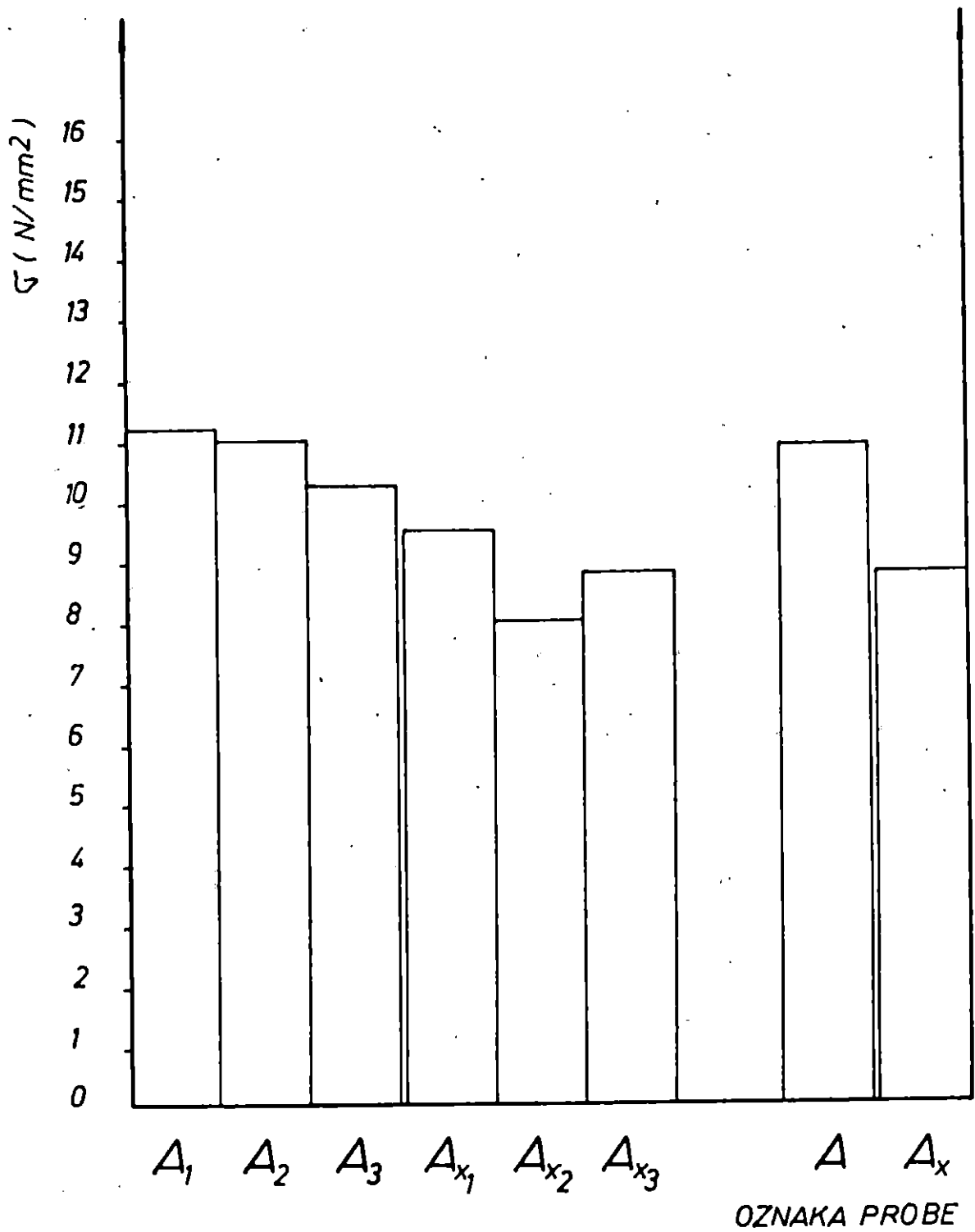
Ovakav način određivanja vidljivosti sljubnica bio je moguć zbog toga što pod utjecajem zraka svjetlosti na ravnoj lakiranoj površini istaknuta sljubnica se veoma dobro vidi. Isto tako isticanje sljubnica kontroliralo se prevlačenjem prsta preko lijepljenog dijela, tako da se jače izražena sljubnica bolje odražavala na dodir prstiju od one slabije izražene sljubnice.

Redoslijed jačine isticaja sljubnica bio je :

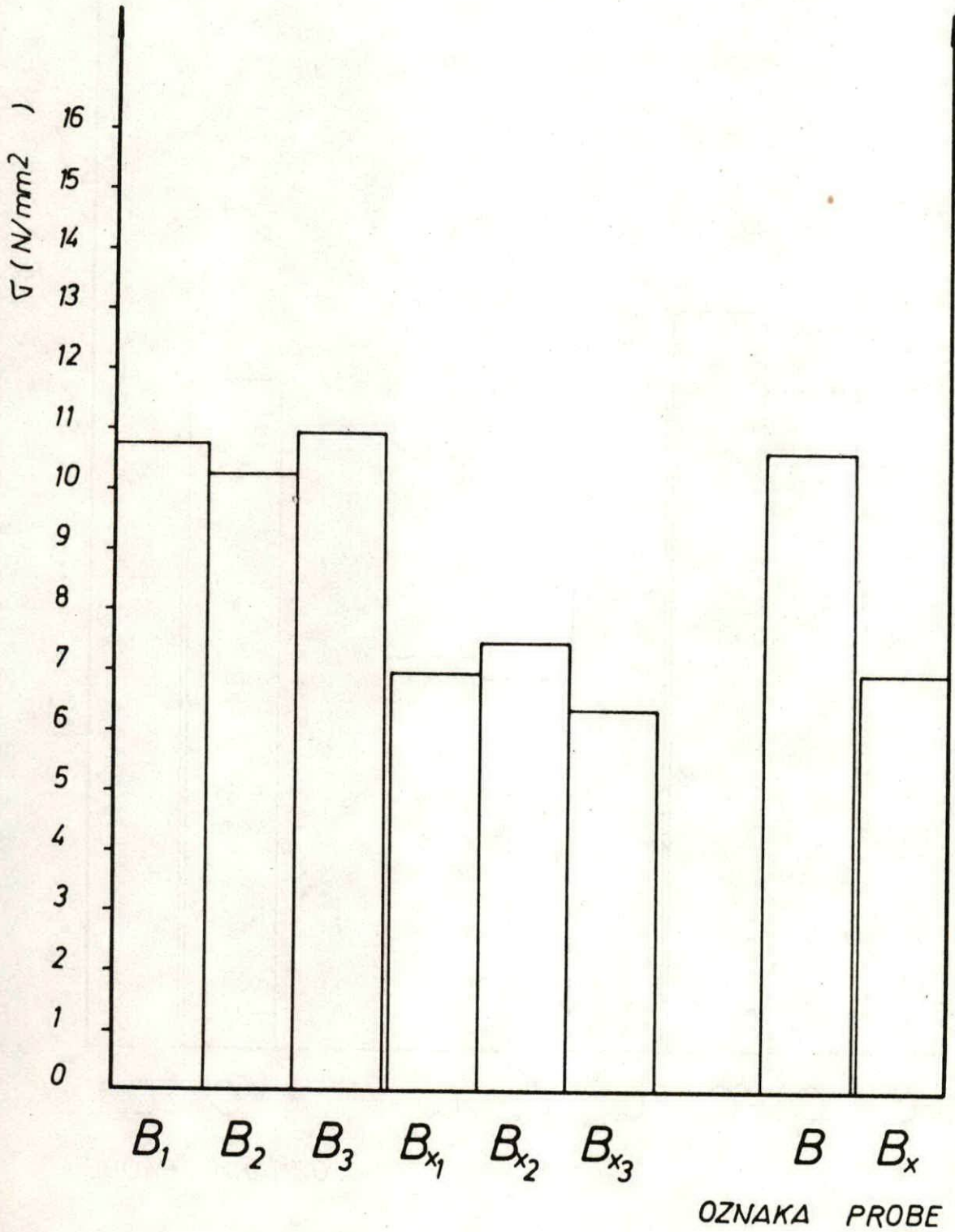
- Proba E - sljubnica gotovo nevidljiva
- Proba D - sljubnica slabo vidljiva
- Proba A - sljubnica srednje vidljiva
- Proba C - sljubnica srednje vidljiva
- Proba B - sljubnica srednje vidljiva
- Proba F - sljubnica jako vidljiva

Grafički prikaz

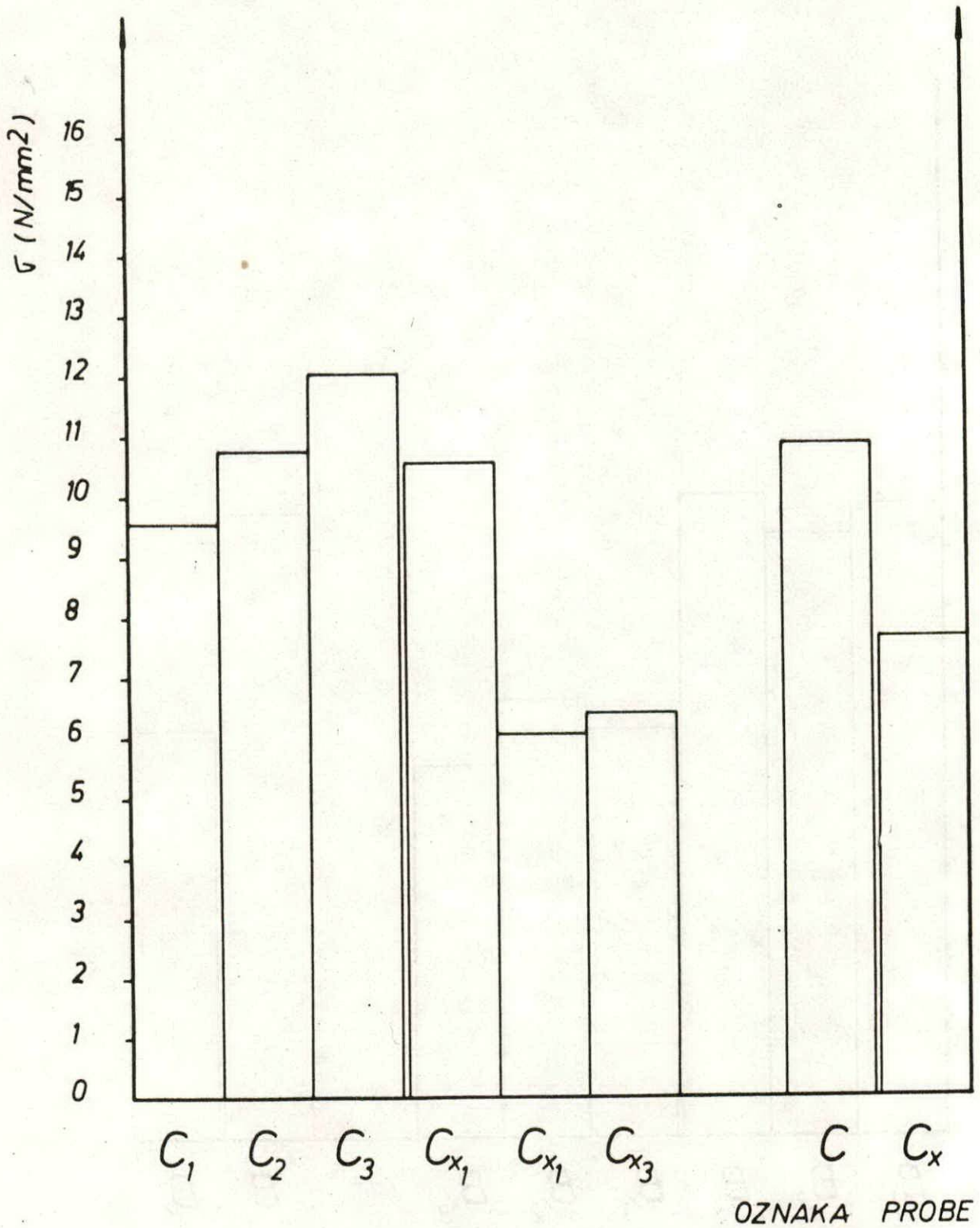
Prikaz veličina čvrstoća na smicanje pojedinih proba dat je na slikama br. 64 - 71.



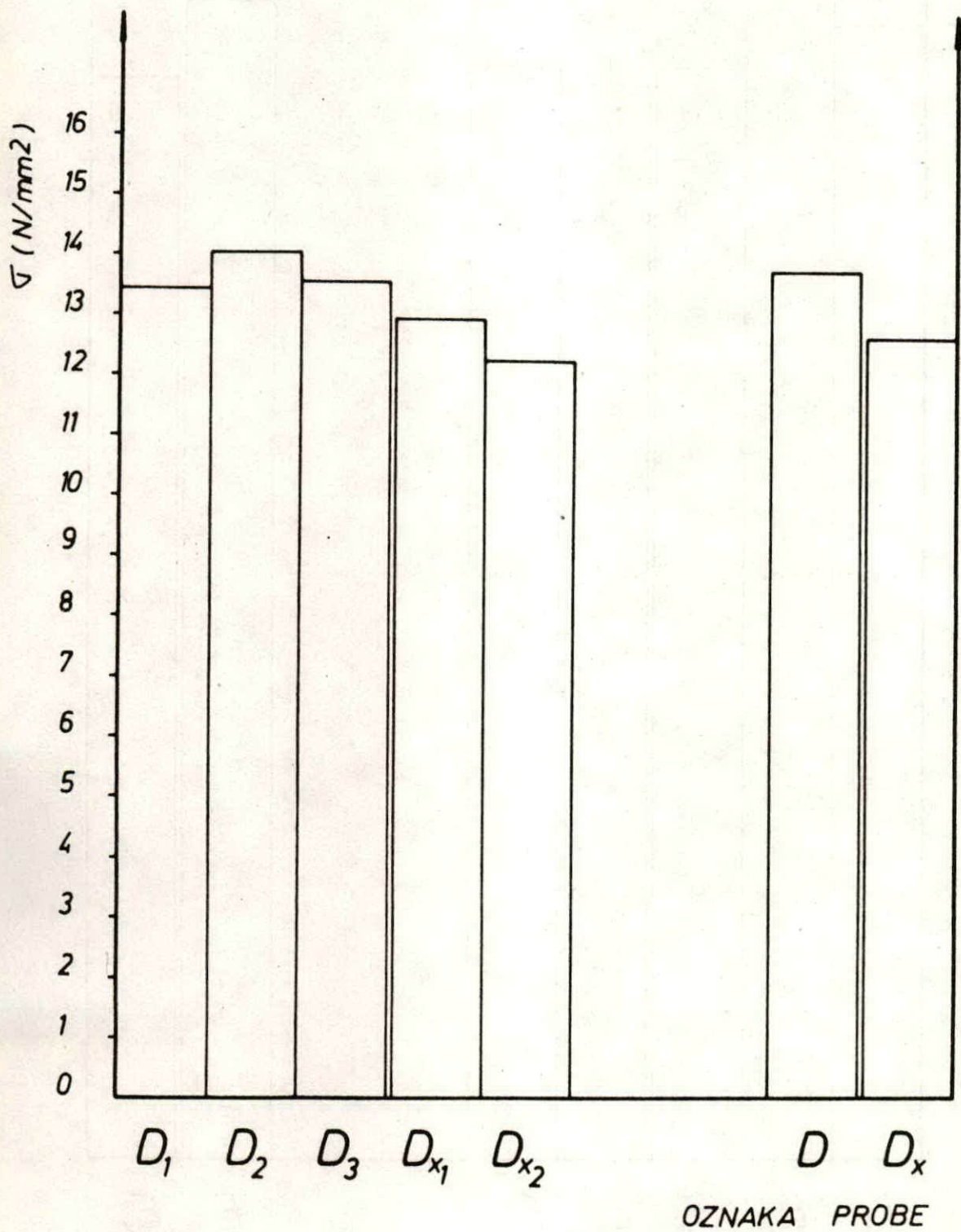
Sl. 64. Čvrstoća na smicanje probe „A“



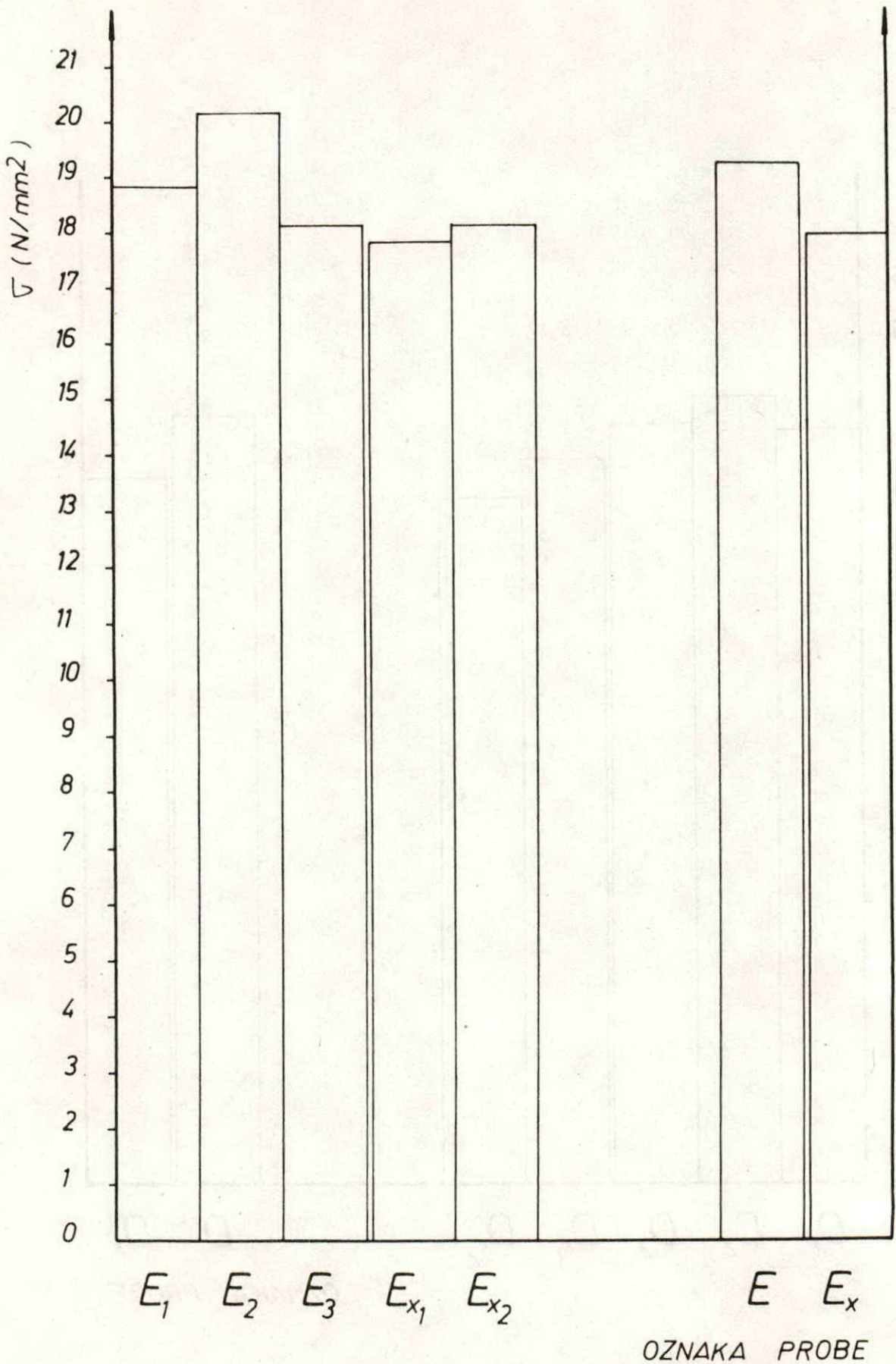
Sl. 65. Čvrstoća na smicanje probe „B”



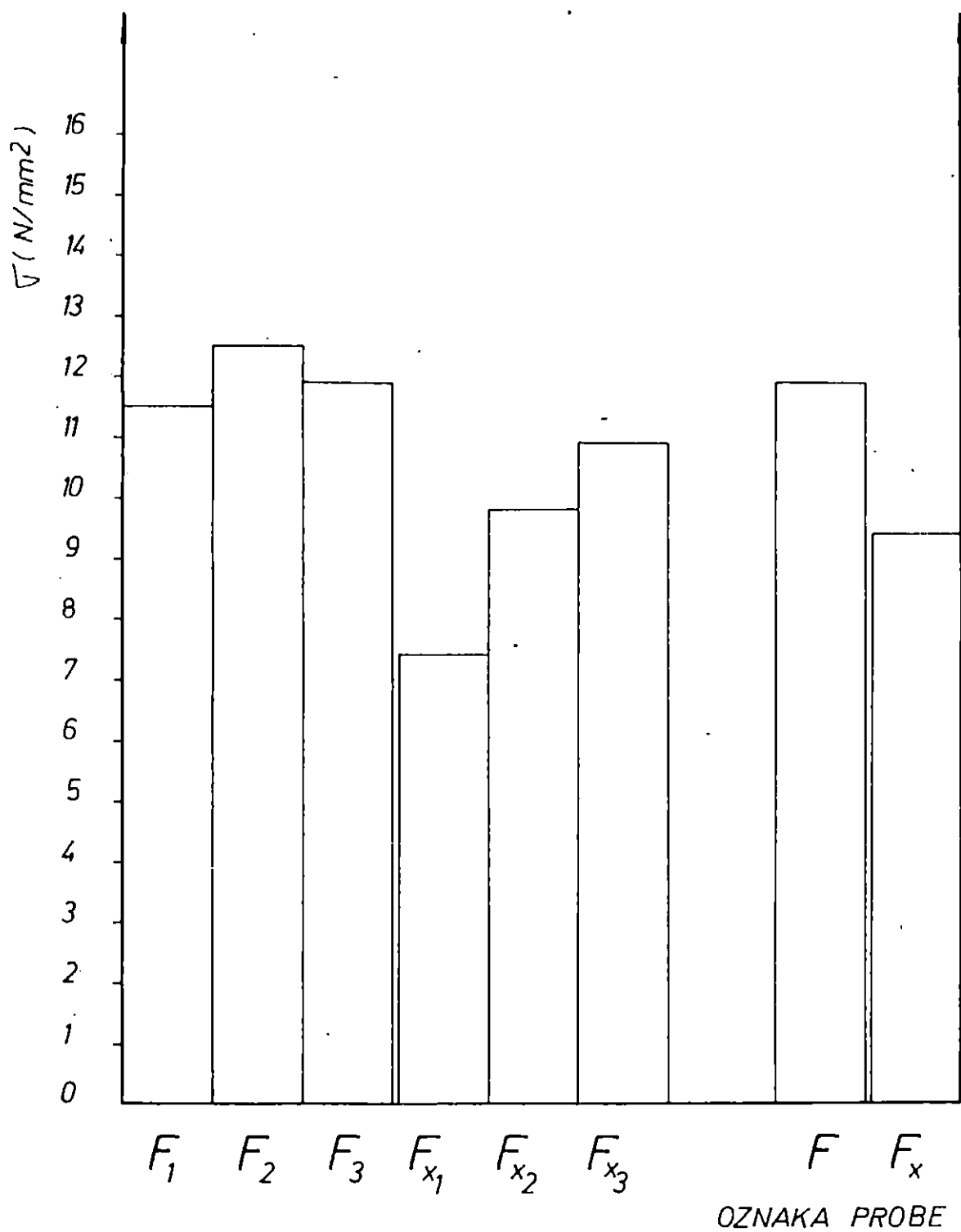
Sl. 66. Čvrstoća na smicanje probe „C”



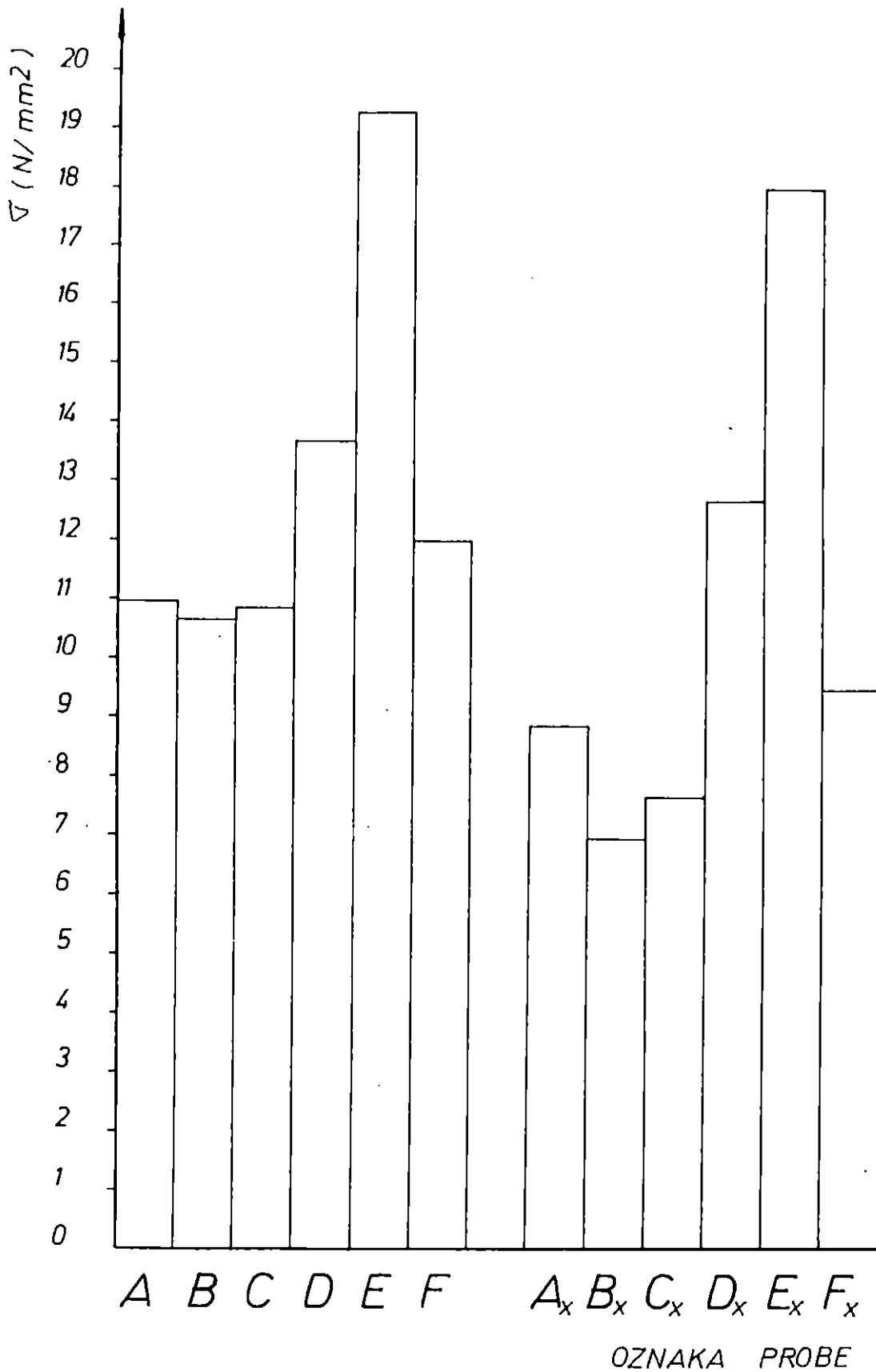
Sl. 67. Čvrstoća na smicanje probe „D“



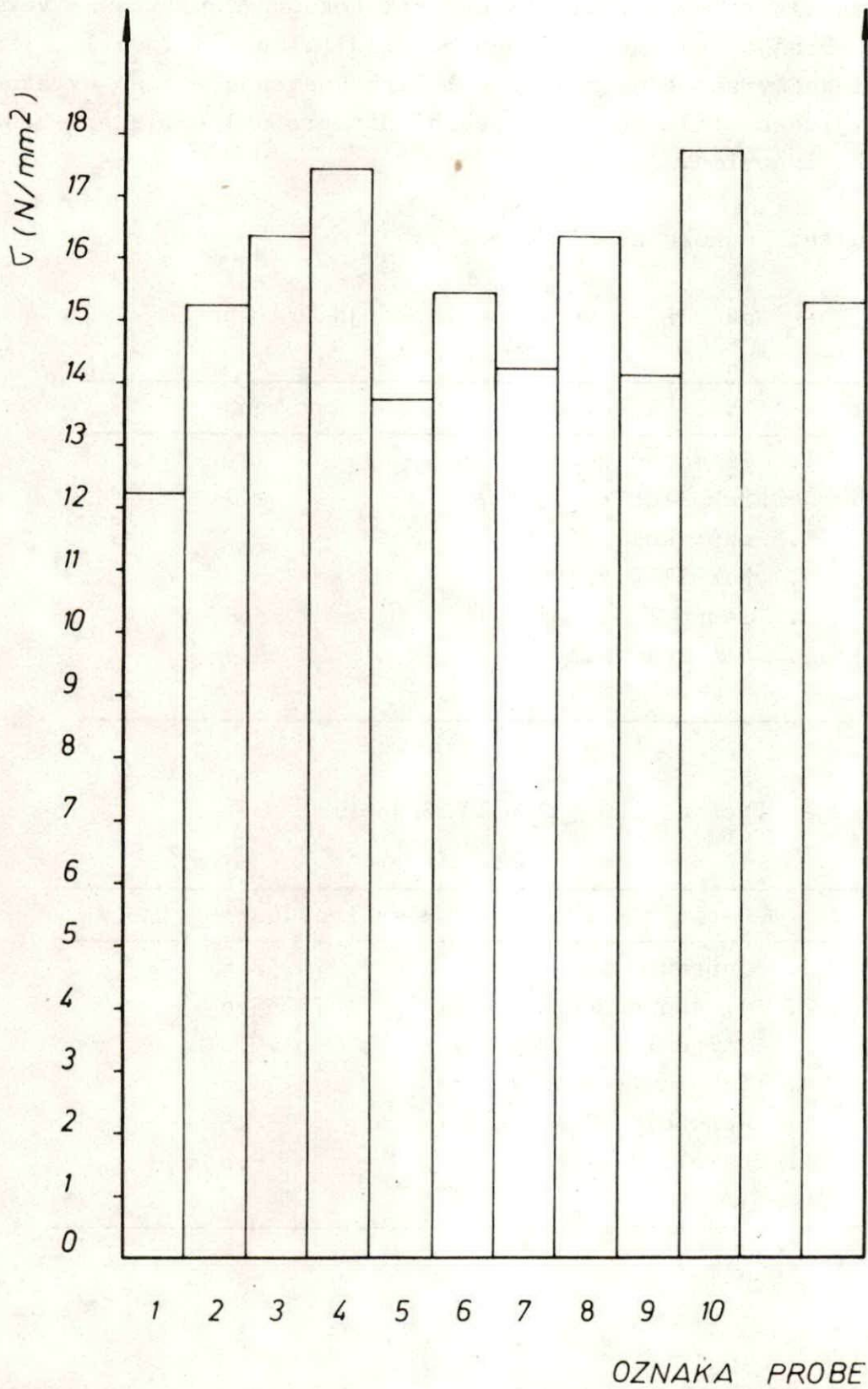
Sl.68. Čvrstoća na smicanje probe „E“



Sl.69. Čvrstoća na smicanje probe „F“



Sl.70. Srednja čvrstoća na smicanje (probe A-F; A_x - F_x).



Sl. 71. Čvrstoća na smicanje (masivne probe 1-10).

11.6. Z A K L J U Č A K

Iz rezultata proizišlih iz ova tri pokusa /ispitivanje veličine bubrenja PVA ljepila, destrukcija filma PVA ljepila, ispitivanje čvrstoće na smicanje i izračunavanje realne čvrstoće/ vidljive su razlike između pojedinih vrsta ljepila pri kontaktu sa NC lakovima.

Rezultati pokusa su slijedeći :

- Redoslijed veličine bubrenja PVA ljepila

Naziv ljepila	Bubrenje %/
1. Titebond Regular 50	1.9
2. Rakoll LP - 7584	2.1
3. Suprakol - 630	3.2
4. Rakoll E xP 25	3.5
5. Tempo Leim 631	3.6
6. Rotokol 1102	4.4

- Destrukcija filma PVA ljepila

Naziv ljepila	Površina destrukcije %/
1. Suprakol 630	32.5
2. Titebond Regular 50	35.0
3. Tempo Leim 631	45.0
4. Rakoll LP - 7584	50.0
5. Rotokol 1102	62.5
6. Rakoll E x P 25	65.0

- Čvrstoća na smicanje i relativna čvrstoća

Naziv ljepila	σ /N/mm ² /	τ + NC lak /N/ mm ² /	čista proba	lak+ čista proba	Vidljivost sljubnica
Titebond Regular 50	19.20	17.92	1.259	1.176	gotovo nevidljiva
Rakoll LP - 7584	13.66	12.56	0.896	0.824	slabo vidljiva
Rotokol llo2	11.94	9.36	0.783	0.614	jako vidljiva
Suprakol 630	10.85	8.78	0.711	0.576	srednje vidljiva
Rakoll E x P 25	10.75	7.63	0.705	0.500	srednje vidljiva
Tempo Leim 631	10.59	6.87	0.694	0.45	srednje vid- ljiva

Na osnovu ovih rezultata vidljivo je da ljepilo "Titebond Regular 50" i "Rakoll LP - 7584" pri upotrebi sa nitrolakovima daju bolje rezultate od ostalih ispitivanih ljepila.

To se posebno odnosi na bubrenje i čvrstoću spoja. Kao takva mogu se preporučiti za upotrebu u pogonima drvne industrije gdje dolazi do izražaja njihovo djelovanje zajedno sa nitro-celuloznim lakovima.

Kako su kod izrade proba za čvrstoću smicanja primjenjeni uvjeti i specifičnosti rada kakvi su u pogonu tvornice namještaja, smatram da su rezultati ispitivanja čvrstoće lijepljenih proba, lijepljene sa ljepilom "Rotokol llo2", dosta realni i da se kao takvi mogu upotrijebiti kao odgovarajući pokazatelji kvalitete lijepljenih proizvoda.

12. L I T E R A T U R A

1. Mc Alister, R.H., 1974: Edge-Glued Dimension Lumber
From Low - Grade Southern Pine.
For.Prod.J. 24(7), 17-22
2. Anonymus: Rationelles Holzverleimen.VII
Arbeitskreis "Holz" 80, 1-10
3. Azarov, V.I., 1981: Skleivanie massivnoj drevesiny
modificirovannymi karbamidnymi
klejami.
Derevoobrab.Prom. 6, 4-5
4. Baumann, H., Marian, J.E., 1961: Der Verleimungs = Press-
druck als Funktion physikalischer
Faktoren.
Holz als Roh- u. Werkstoff 19(11),
441-446
5. Beech, J.C., 1977: The performance of some catalysed
polyvinyl acetate (PVAc) wood ad-
hesives.
J.Inst.Wood.Sci. Bd. 7(6), 7-17
6. Berlyn, G.P., Brink, D.L. i drugi, 1966: Theses Reflect
Current Trends in Research.
For.Prod.J. 16(12), 48-55
7. Birjukov, V.A., Meljnik, V.M., 1967: Dolgovečnost kleevyh
soedinenij drevesiny, polučaemyh s
primeneniem nagreva v električeskom
pole TVČ.
Derevoobrab.Prom. 4, 14-15
8. Blomquist, R.F., 1960: Glues and Gluing, 1959.
For.Prod.J. 10(2), 62-70
9. Blomquist, R.F., 1962: Progress in Glues and Gluing Pro-
cesses.
For.Prod.J. 12(2), 49-58

10. Boehme, C., 1977: Das Verhalten von Polyvinylacetat - Klebstoffen (montageklebstoffen) in der Freibewitterung.
Holz als Roh- u. Werkstoff 35(8), 289-294
11. Bolger, R.J., Rasmussen, C.A., 1962: A Rapid, Continuous Method of Testing Glued End Joints.
For.Prod.J. 12(9), 422-425
12. Borovikov, A.M., Lohov, V.N., 1980: Pilomaterialy dlja kleenyh konstrukcij.
Derevoobrab.Prom. 9, 11-12
13. Bryant, B.S., 1968: Interaction of Wood Surface and Adhesive Variables.
For.Prod.J. 18(6), 57-62
14. Carroll, M.N., Bergin, E.G., 1967: Catalyzed PVA Emulsions as Wood Adhesive.
For.Prod.J. 17(11), 45-50
15. Carruthers, J.F.S., 1963: Selecting Glues for RF Heating.
For.Prod.J. 13(5), 190-194
16. Clad, W., 1965: Über die Fugenelastizität ausgehärteter Leimfugen bei Holzverleimungen.
Holz als Roh- u. Werkstoff 23(2), 58-67
17. Clad, W., 1968: Leime und Verleimungen.
Überblick über die Jahre 1963. bis 1966.
Holz als Roh- u. Werkstoff 26(1), 1-9
18. Clad, W., 1973: Prüfung von Klebstoffen für Montageverklebungen.
Hols als Roh- u. Werkstoff 31(9), 329-337
19. Dibuz, J.J., Shelton, F.J., 1967: Glueline Identification.
For.Prod.J. 17(10), 20-22
20. Dupont, W., 1970: II. PVAc- Leime für die Holzverarbeitung.
Holztechnik 10, 392

21. Egner, K., Kolb, H., 1966: Versuche über das Alterungsverhalten von Leimen für tragende Holzbauteile.
Holz als Roh- u. Werkstoff 24(10), 439-442
22. Frejdin, A.S., 1960: Primenenie polivinilacetatnyh kleevalja skleivanija drevesiny.
Derevoobrab.Prom. 11, 12-13
23. Gefahrt, J., 1963: Zur Frage der Erwärmung von Leimfugen im hochfrequenten Wechselfeld.
Holz als Roh- u. Werkstoff 21(5), 181-184
24. Gefahrt, J., 1965: Einfluss der ohmschen Leitfähigkeit auf den Energieumsatz bei der Hochfrequenzerwärmung von Leimfugen.
Holz als Roh- u. Werkstoff 23(1), 10-15
25. Gefahrt, J., 1967: Die Verwendung der Hochfrequenzenergie in der Holzindustrie.
Holz als Roh- u. Werkstoff 25(4), 125-129
26. Gefahrt, J., 1970: Die Anwendung der Hochfrequenz-Erwärmung im Holzbau.
Holz als Roh- u. Werkstoff 28(4), 146-154
27. Gefahrt, J., 1980: Energie - und zeitsparende Verleimung durch Abdunsten mit Hochfrequenz.
Holz als Roh- u. Werkstoff 38(7), 241-244
28. Gibson, M.D., Krahmer, R.L., 1980: Staining to Make Urea - Formaldehyde Resin Visible on Glued Wood Surfaces.
For.Prod.J. 30(1), 46-48
29. Gončarov, N.A., Čubinskaja, T.V., 1980: Podgotovka poverhnosti drevesiny k skleivaniju.

- Derevoobrab.Prom. 9, 4-5
30. Gunesch, H., 1979: Bestimmung von Abbindeggeschwindigkeit und Anfangstack bei wässrigen Dispersionen.
Adhäsion 6, 180-183
31. Hafner, Th., 1962: Allgemeine Verleimungsprobleme mit Hochfrequenzwärme.
Holztechnik 6, 268-273
32. Hruljev, V.M., 1964: O funkcionaljnom vyražeenii rezuljtatov uskorennovo i dliteljnovo stare-nija kleevyh prosloek v derevjannyh izdelijah.
Derevoobrab.Prom. 11, 15-17
33. Hruljev, V.M., 1968: Vlijanie skorosti razbuhanija na pročnost kleevyh soedinenij drevesiny.
Derevoobrab.Prom. 6, 13-14
34. Hruljev, V.M., 1969: Vlijanie nabuhanija na pročnost kleevyh soedinenij drevesiny.
Derevoobrab.Prom. 10, 14-16
35. Hruljev, V.M., Šusterzon, G.I., Novikov, V.N., 1972: Novyj metod ispytanija kleevyh švov na uskorennoe starenie.
Derevoobrab.Prom. 4, 11-12
36. Ivanov, JU.M., Ljeparskij, L.O., 1968: Modelirovanie i reologija vnutrennih naprjaženij v drevesine i kleevyh soedinenijah.
Derevoobrab.Prom. 5, 12-14
37. Ivanov, JU.M., 1974: Osnovnye principy ispytanija kleenych derevjannyh konstrukcij.
Derevoobrab.Prom. 2, 10-12
38. Kelley, S.S., Young, R.A., Rammon, R.M., Gillespie, R.H., 1982: Bond Formation by Wood Surface Reactions,

Part II. Chemical Mechanisms of
Nitric Acid Activation.

J.Adhesion 14, 257-282

- ... 1983: Bond Formation by Wood Surface
Reactions.
Part III. Parameters affecting the
bond strength of solid wood panels.
For.Prod.J., 33(2), 21-28
- ... 1982: Bond Formation by Wood Surface
Reactions.
Part IV. Analysis of Furfuryl Alcohol,
Tannin and Maleic Acid Bridging Agents,
Journal of Wood Chemistry and Techno-
logy 2(3), 317-342
39. Keylwerth, R., Höfer, W., 1962: Rheologische Untersuchun-
gen an Leimfugen bei Querkzugbelastung,
Holz als Roh- u. Werkstoff 20(3),
91-105
40. Kovaljčuk, L.M., 1960: Dolgovečnost soedinenij pri skle-
ivanii s podogrevom TVČ.
Derevoobrab.Prom. 1, 10-12
41. Kovaljčuk, L.M., Senčilo, Ju.Ja., 1968: Naprjaženija v klee-
vyh soedinenijah pri skleivanii s nag-
revom.
Derevoobrab.Prom. 4, 7-9
42. Kowaltschuk, L.M., 1979: Verleimte Holzverbindungen - An-
forderungen und Prüfverfahren.
Holz als Roh- u. Werkstoff 37(3), 91-95
43. Kulikov, V.A., Gončarov, N.A., Karataev, S.G., Ermolaev,
B.V., 1980:
Puti intensivizacii processa skleiva-
nija drevesiny.
Derevoobrab.Prom. 9, 2-3
44. Marian, J.E., Stumbo, D.A., Maxey, C.W., 1958: Glue - Joint

Strength.

For.Prod.J. 8(12), 345-351

45. Marra, A.A., 1962: Geometries as an Independent Variable in Adhesive Joint Studies.
For.Prod.J. 12(2), 81-90
46. Miller, D.G., George, P., 1965: Causes of Radio Frequency Burns In Edge Glued Joints.
For.Prod.J. 15(1), 33-36
47. Millett, M.A., Gillespie, R.H., Baker, A.J., 1980: Precision of Rate - Process Method for Predicting Durability of Adhesive Bonds Durability of Building Materials and Components, American Society for Testing and Materials, 913-923
48. Mc Namara, D. Waters, 1970: Comparison of the Rate of Glue - Line Strength Development for Oak and Maple.
For.Prod.J. 20(3), 34-35
49. Pahlitzsch, G., Dziobek, K., 1962: Einflüsse der Bearbeitungsbedingungen auf die Güte vorge-schliffener Holzoberflächen.
Holz als Roh- u. Werkstoff 20(4), 125-137
50. Pahlitzsch, G., Dziobek, K., 1965: Die Beurteilung bearbeiteter Holzoberflächen (II).
Holztechnologie 6(4), 219-224
51. Pecina, H., 1970: Holzfeuchte und Klebung.
2. Teil: Das Bindefestigkeitsverhalten einiger Holzklebstoffe bei verschiedener Holzfeuchte.
Holztechnologie 11(3), 193-198
52. Perkitny, T., Barnacle, J.E., Christensen, F.J., 1975: Untersuchungen über die Verleimbarkeit einiger australischer Laubhölzer.

Holz als Roh- u. Werkstoff 33(9),
341-348

53. Perkitny, T., Jablonski, W., 1978: Änderungen der Fugenfläche und ihr Einfluss auf die Scherfestigkeit von Leimverbindungen.
Holz als Roh- u. Werkstoff 36(7),
269-272
54. Perkitny, T., Jablonski, W., 1979: Untersuchungen über die Dehnbarkeit von Leimfugen.
Holz als Roh- u. Werkstoff 37(12)
463-465
55. Pillar, W.O., 1966: Determining Curing Properties of an Adhesive in Contact with Wood.
For.Prod.J. 16(6), 29-37
56. Pindžojan, M.L., 1970: Vlijanje starenija poverhnostnyh sloev drevesiny na pročnost kleevyh soedinenij.
Derevoobrab.Prom. 10, 17-18
57. Pjatirublev, N.A., Zajonček, M.V., 1981: Stanok dlja skleivanija bruskov iz tonkomernyh pilomaterialov v pole TVČ.
Derevoobrab.Prom. 7, 24-25
58. Pommer, E.H., Clad, W., 1978: Aktuelle Klebstoffprobleme.
Holz als Roh- u. Werkstoff 36(10),
383-392
59. Pöge, W., 1964: Polyvinylacetat - Dispersionen für die Holzklebung.
Holztechnologie 5(4), 48-51
60. Rabiej, R., 1978: Untersuchung der Scherfestigkeit von Klebfugen bei ausgewählten Anordnungen der verbundenen Werkstücke.
Holztechnologie 19(3), 155-157
61. Raknes, E., 1961: Die Mischung von PVA = und Harnstoffharzleimen.

- Holz als Roh- u. Werkstoff 19(6), 239-247
62. Raknes, E., 1969: Prøving av lim for tappforbindelser i vinduer.
NTNF utvalg for møbler og innredninger, Publikasjon 30
63. Reinsch, H.H., 1970: Neue Kleber für Holz und Kunststoffe.
Holztechnik 4, 156-158; 5, 175
64. Schaeffer, R.E., Gillespie, R.H., 1970: Improving End-to-End Grain Butt Joint Gluing of White Pine.
For.Prod.J. 20(6), 39-43
65. Semenov, V.A., Vojtović, V.A., 1974: Ulučšenje tehnologičeskih i fiziko mehaničeskih svojstv klev na osnovu polivinilacetatnoj dispersij.
Derevoobrab.Prom. 5, 11-12
66. Semenov, V.A., 1980: O dolgovečnosti klevykh soedinenij na osnovu modificirovannoj polivinilacetatnoj dispersij.
Derevoobrab.Prom. 10, 7-8
67. Skirev, B.A., 1980: Skleivanie pilomaterialov po širine v proizvodstve derevjannykh kleenykh konstrukcij.
Derevoobrab.Prom. 9, 7-8
68. Slaats, M.A., 1979: Glue Bond Quality in Wood.
International Journal of Furniture Research 1(8), 15-17
69. Smoljnikova, V.G., Azarov, V.I., Cvetkov, V.E., 1976: Uskorennoe skleivanie massivnoj drevesiny.
Derevoobrab.Prom. 9, 7-8
70. Spörl, H.H., 1973: Hochfrequenzanlagen zum Verkleben von Flächenelementen aus Vollholz.
Holztechnologie 14(3), 138-144
71. Stanger, A.G., Blomquist, R.F., 1965: Block Shear, Cross - Lap Tension, and Glueline Cleavage .

- Methods of Testing Glued Joints.
For.Prod.J. 15(12), 468-474
72. Stewart, H.A., 1979: Analysis of Orthogonal Woodcutting Across the Grain.
Wood Science 12(1), 38-45
73. Stewart, H., Murmanis, L., River, B.H., 1983: Microscopy of Abrasive - Planed and Knife - Planed Surfaces in Wood - Adhesive Bonds.
Wood and Fiber Science 15(2), 102-115
74. Strickler, M.D., 1968: Specimen Designs for Accelerated Tests.
For.Prod.J. 18(9), 84-90
75. Stumbo, D.A., 1964: Influence of Surface Aging Prior to Gluing on Bond Strength of Douglas - Fir and Redwood.
For.Prod.J. 14(12), 582-589
76. Syme, H.J., 1960: Lumber end and Edge - Gluing Operations.
For.Prod.J. 10(5), 228-233
77. Šapoval, A.P., Motuz, B.A., 1960: Kleenye zagotovki dlja zadnih nožek stoljarnovo stula.
Derevoobrab.Prom. 5, 5-6
78. Świetliezny, M., 1980: Über den Einfluss der Neigung der Holzfasern auf die Festigkeit der Klebungen.
Holztechnologie 21(2), 83-87
79. Vasin, Ju.M., 1962: Ob uskorennom skleivanii drevesiny s dvustoronnim predvariteljnym nagrevom.
Derevoobrab.Prom. 3, 8-9
80. Vojtović, V.A., 1970: Povyšenie vodostojkosti polivinil-acetatnyh vodoemuljsionnyh kleev.
Derevoobrab.Prom. 6, 7-8
81. Walsh, P.F., Leicester, R.H., Ryan, A., 1973: The Strength

- of Glued Lap Joints in Timber.
For.Prod.J. 23(5), 30-33
82. Walter, F., 1963: Ein Beitrag zur mechanischtechnologischen Prüfung von Klebstoffen. Holztechnologie 4(1), 71-74
83. White, M.S., Green, D.W., 1980: Effect of Substrate on the Fracture Toughness of Wood - Adhesive Bonds. Wood Science 12(3), 149-153
84. Zabrodkin, A.G., 1960: O vozmožnosti peresmotra standartna na kostnyj klej. Derevoobrab.Prom. 11, 11
85. Zigeljbojm, S.N., 1964: Skleivanje drevesiny polivinilacetatnoj emulzije. Derevoobrab.Prom. 6, 3-5
86. Zigeljbojm, S.N., 1965: O pročnosti skleivanja drevesiny. Derevoobrab.Prom. 7, 11-13
87. Ljuljka B. : Lijepljenje u tehnologiji finalnih proizvoda , Šumarski fakultet, Zagreb, 1978.
88. Rašić M. : Otvaranje sljubnica na lakiranim površinama. Drvna industrija, Zagreb. God.20br. 11 - 12/1969.
89. Biffi M. : Poznavanje materijala II.Nedrvni materijali. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb, 1980.