

BILTEN



S a d r Ź a j

str.

S. Petrović i A. Čaušević

Prilog istraživanja utjecajnih
faktora na stlačivanje furnirskih
ploča 1-50

R e d a k t o r i:

Prof.dr Stanislav Bađun

Doc.dr mr Mladen Figurić

Prof.dr mr Boris Ljuljka

Dipl.ing. Vladimir Herak

Tehnički urednik

Zlatko Bihar

PETROVIĆ STJEPAN,
ČAUŠEVIĆ ADNAN

PRILOG ISTRAŽIVANJU UTJECAJNIH
FAKTORA NA STLAČIVANJE FURNIRSKIH PLOČA

1. U v o d

Drvo se ubraja u elasto-plastične materijale, Pod utjecajem sila koje na njega djeluju, mijenja mu se forma i veličina, te se onodeformira. Razlikuju se tri oblika deformacije: elastične, plastične i pune (potpune). Elastična deformacija praktički momentalno nestaje, dok plastična deformacija ostaje i nakon otklanjanja sila koje su je prouzročile. Međutim, plastična deformacija može nestati tokom vremena ako dodje do smanjenja unutarnjeg trenja u drvetu. Kao važan uvjet reverzibilnosti plastične deformacije drveta javlja se povišenje vlažnosti. Na elastične i plastične deformacije utječe samo vlaga koja je vezana u drvetu. Promjenom količine vlage, mijenja se i koeficijent unutarnjeg trenja, koji znatno utječe na deformaciju drveta.

Temperatura se javlja kao faktor koji djeluje na povećanje vlage, smanjujući je s povećanjem temperature grijanja.

Jačina djelovanja temperature nije jednaka kod svake vlažnosti. S povećanjem vlažnosti djelovanje temperature raste i dostiže svoj maksimum kod točke

1) Mr PETROVIĆ STJEPAN, dipl. ing. - Institut za drvo - Zagreb
ČAUŠEVIĆ ADNAN, dipl. ing. - Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb

2) Zahvaljujemo RO "Lignošper" Bos.Novi, RO "Chromos" Zagreb, te suradnicima Mr.Salah E.Omeru, dipl.ing. i Stjepčević Iliji, dipl.ing. na pomoći u provođenju eksperimenata.

zasićenja vlakana. Ako prešano vlažno drvo istovremeno grijemo i sušimo elastična deformacija prelazi u plastičnu, na račun smanjenja vlage.

Prethodna razmatranja o deformacijama drveta (1) u određenim uvjetima moguće je primjeniti i na pojavu stlačivanja paketa furnira pri prešanju furnirskih ploča.

Kod prešanja furnirskih ploča vrućim postupkom elastična deformacija prelazi u plastičnu. Odnos elastične i plastične deformacije ne javlja se kao stalna veličina, već zavisi o debljini, vlažnosti i hrapavosti površine furnira, utroška ljepila, pritisku, temperaturi, vremenu prešanja itd.

Razvoj potpune deformacije furnirske ploče u toku prešanja može se podijeliti u tri različita perioda,

Prvi period karakterizira se opterećenjem prešanog paketa. Pri tome deformacija paketa određena je modulom elastičnosti furnira u hladnom stanju, jer grijanje još nije počelo.

Drugi period karakterizira se zagrijavanjem prešanog paketa. Pri tome modul elastičnosti materijala se snižava i opća deformacija paketa raste, tj. povećava se plastična deformacija.

Treći period nastupa nakon završetka grijanja paketa. Kod toga, uz stalan pritisak prešanja plastična deformacija nastavlja rast a veličina elastične deformacije se smanjuje. Treći period, definira se plastičnim tokom materijala tj. sposobnošću njegovog deformiranja u datim uvjetima pri stalnom opterećenju.

Izmjenom pritiska prešanja, mijenja se trajanje svakog od tri perioda. Povećanjem pritiska prešanja iznad granice plastičnog toka materijala dolazi do stlačivanja materijala.

Stlačivanje ima za posljedicu povećanje utroška osnovne sirovine a tim i povećanje cijena koštanja jedinice gotovog proizvoda. Obzirom na to smatrali smo interesantnim da ovaj problem поближе istražimo kod proizvodnje bukovih troslojnih furnirskih ploča.

2.0. PLAN POKUSA

2.1. Izbor utjecajnih faktora

Na osnovu podataka iz literature (1) i praktičnih iskustava u proizvodnji furnirskih ploča znamo da na kvalitet i stupanj stlačivanja furnirskih ploča utječe više ili manje niz tehnoloških faktora kao na pr. vlaga furnira, debljina furnira, pritisak i temperatura prešanja, hrapavost furnira, vrsta i količina ljepila te vrijeme prešanja . Mišljenja smo da za istraživanje nekog problema nije najvažnije pronaći sve utjecajne faktore nego one koji pokazuju najveći utjecaj. Rukovodeći se time za predmetno ispitivanje izabrali smo slijedeće utjecajne faktore:

- pritisak prešanja (bar)
- hrapavost površine furnira (μm)
- količina ljepila (gr/m^2)
- temperatura prešanja ($^{\circ}\text{K}$)

Dakle, radi se o četiri utjecajna faktora za koje se pretpostavlja da imaju signifikantan utjecaj na stlačivanje bukovog furnira. Primjenom postupka po R.S. Fischer-u za svaki utjecajni faktor odabrana su dva nivoa djelovanja tj. gornji (1) i donji (0). Obzirom da imamo četiri faktora

na dva nivoa, to daje faktorski plan pokusa $2^4 = 16$ kombinacija. Utjecajni faktori i njihovi nivoi prikazani su u tablici 1.

Tablica 1.

UTJECAJNI FAKTORI	OZNAKA FAKTORA	NIVO DJELOVANJA FAKTORA	
		donji (o)	gornji (1)
Pritisak prešanja (bar)	A	8	22
Hrapavost površine (μm)	B	57	108
Količina ljepila (gr/m^2)	C	150	280
Temperatura prešanja ($^{\circ}\text{K}$)	D	413	453

Pregled svih mogućih kombinacija za četiri utjecajna parametra i dva nivoa djelovanja ($2^4 = 16$), prikazan je u tablici 2.

Za svaku kombinaciju izrađene su po četiri laboratorijske troslojne ploče. Od svake probne ploče izrezane su odgovarajuće epruvete za ispitivanje svojstava. Pri izboru epruveta za pojedina ispitivanja korišten je princip slučajnosti (tabela slučajnih brojeva). Na ovaj način omogućeno je da se eventualno manji utjecaji proizašli iz razlike u strukturi, dimenzijama itd. mogu isključiti. Princip slučajnog izbora daje svakoj epruveti jednaku šansu da s istom vjerojatnošću bude izabrana iz osnovnog skupa.

Uvrštavanjem dobivenih rezultata u tablicu 3 moguće je izračunati efekte djelovanja pojedinih faktora i njihovih interakcija.

Tablica br. 2.

MOGUĆE KOMBINACIJE ZA PLAN POKUSA 2^4

Broj i simbol kombinacije	NIVO DJELOVANJA ZA UTJECAJNE FAKTORE			
	A	B	C	D
1 - I	0	0	0	0
2 - a	1	0	0	0
3 - b	0	1	0	0
4 - ab	1	1	0	0
5 - c	0	0	1	0
6 - ac	1	0	1	0
7 - bc	0	1	1	0
8 - abc	1	1	1	0
9 - d	0	0	0	1
10 - ad	1	0	0	1
11 - bd	0	1	0	1
12 - abd	1	1	0	1
13 - cd	0	0	1	1
14 - acd	1	0	1	1
15 - bcd	0	1	1	1
16 - abcd	1	1	1	1

MATRICA ZN AKOVA ZA IZRAČUNAVANJE 4 UTJECAJNA FAKTORA KOD FAKTORSKOG
PLANA POKUSA 2^4

Tabela br. 3.

Oznaka djelovanja faktora	NIVOI UTJECAJNIH FAKTORA PO KOMBINACIJAMA																Suma za efekt djelovanja
	(I)	a	b	ab	c	ac	bc	abc	d	ad	bd	abd	cd	acd	bcd	abcd	
A	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	A
B	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	B
AB	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	AB
C	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	C
AC	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	AC
BC	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	BC
ABC	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	ABC
D	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	D
AD	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	AD
BD	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	BD
ABD	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	ABD
CD	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	CD
ACD	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	ACD
BCD	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	BCD
ABCD	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	ABCD

Za razliku od jednofaktornog plana pokusa, kod kojega se varira samo jedan faktor, a ostali se drže konstantnim, ovdje se za izračunavanje veličine utjecaja pojedinih faktora i njihovih interakcija koriste rezultati svih kombinacija. Obrada rezultata obuhvatila je analizu varijance te utvrđivanje signifikantnosti utjecaja faktora provodjenjem F-testa.

2.2. Mjerila kvalitete

Za određivanje veličine utjecaja pojedinog faktora upotrebljena su slijedeća mjerila:

- stupanj stlačenja
- stupanj slijepljenosti
- čvrstoća na smicanje

Stupanj stlačenja dobiven je iz razlike u debljini paketa furnira i gotove ploče. Debljina paketa furnira ustanovljena je nakon egaliziranja paketa u jednoetažnoj preši.

Stupanj slijepljenosti određivan je vizuelno a obuhvaća komparaciju površine smicanja ispitane epruvete sa odgovarajućim slikama stupnjeva slijepljenosti u JUS-u D.A1.072 Metoda ispitivanja prikazan je također u spomenutom standardu. Izrada epruveta uslijedila je prema slici 1.

Za ispitivanje u suhom stanju (UK-22) od svake kombinacije izabrano je slučajnim izborom po 8 epruveta. Po 4 epruvete upotrebljene su za ispitivanje svakog sloja ljepila tro-slojne ploče. Postupak odabiranja je ponovljen i kod ispitivanja nakon testa UK-28. Prema tome za ispitivanje slijepljenosti upotrebljeno je ukupno 256 epruveta.

Obzirom da je u ocjeni stupnja sljepljenosti neminovno sadržan i subjektivni utjecaj samog ispitivača, pouzdanost ove metode ispitali smo pomoću Spermanovog koeficienta korelacije ranga (r_s) kako slijedi:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2-1)} \quad /1/$$

gdje je:

- r_s - koeficijent korelacije ranga
- d - razlika između vrijednosti ocjene dva ispitivača koji se rangiraju
- n - broj mjerenja

Koeficijent korelacije (r_s) može se kretati u uzorcima od -1 (potpuno neslaganje) do +1 (potpuno slaganje).

U tabelama po Kendalu (8) prikazani su nivoi značajnosti za koeficijent korelacije ranga kod nivoa 5% i 1%.

Čvrstoća na smicanje ispitana je također u suhom stanju (UK-22) i nakon testa UK-28. Za dva uvjeta kondicioniranja (UK od svake kombinacije izabrano je slučajnim izborom po 40 epruveta, što ukupno daje 640 epruveta. Čvrstoća je izračunata prema /2/

$$\sigma_s = \frac{2 F}{b \times l \times (n-1)} \quad /2/$$

gdje je:

- P_s - čvrstoća na smicanje (N/mm^2)
- F - sila smicanja (N)
- $b \times l$ - površina smicanja (mm^2)
- n - broj slojeva

SHEMA IZREZIVANJA

M 1:4

7	14	21	36
6	13	20	35
5	12	19	34
4	11	18	33
3	10	17	32
2	9	16	31
1	8	15	30
			29
			28
			27
V1(S1)	S2(V2)	V3(S3)	26
			25
			24
			23
S1 (V1)	V2(S2)	S3 (V3)	22

1 ÷ 36 Probe za smicajnu čvrstoću
 S1 ÷ S3 " " stepen sljepljenosti - suho UK 22
 V1 ÷ V3 " " " " - test UK 28

Slika 1.

Ispitivanje je vršeno na stroju Otto Wolpert tip U5 pri brzini djelovanja sile od 10 mm/min. Test UK 28 obuhvaća 4 sata kuhanja kod 373^oK 16 - 20 sati sušenja u stanju toplog zraka, ponovno 4 sata kuhanja kod 373^oK i 16 - 20 sati potapanja u vodi temperature 393 ± 2^oK.

Epruvete se ispituju u mokrom stanju.

3.0. METODOLOGIJA RADA

3.1. Izbor materijala za ispitivanje

Kao osnovni materijal za ispitivanje upotrebljen je bukov ljuštteni furnir dimenzija 420 x 420 x 2,2 (mm) i vlage 4 - 6 % iz normalne industrijske proizvodnje.

Da bismo provjerili u kojim granicama varira debljina furnira, bilo je potrebno izvršiti određena mjerenja. Mjerenja su vršena mikrometrom Somet s točnošću očitavanja do 1/100 mm. Na osnovu dobivenih rezultata izradjena je distribucija frekvencija (tablica 4) i histogram (sl. 2.) te izračunata aritmetička sredina, varijanca, standardna devijacija i varijacioni koeficijent.

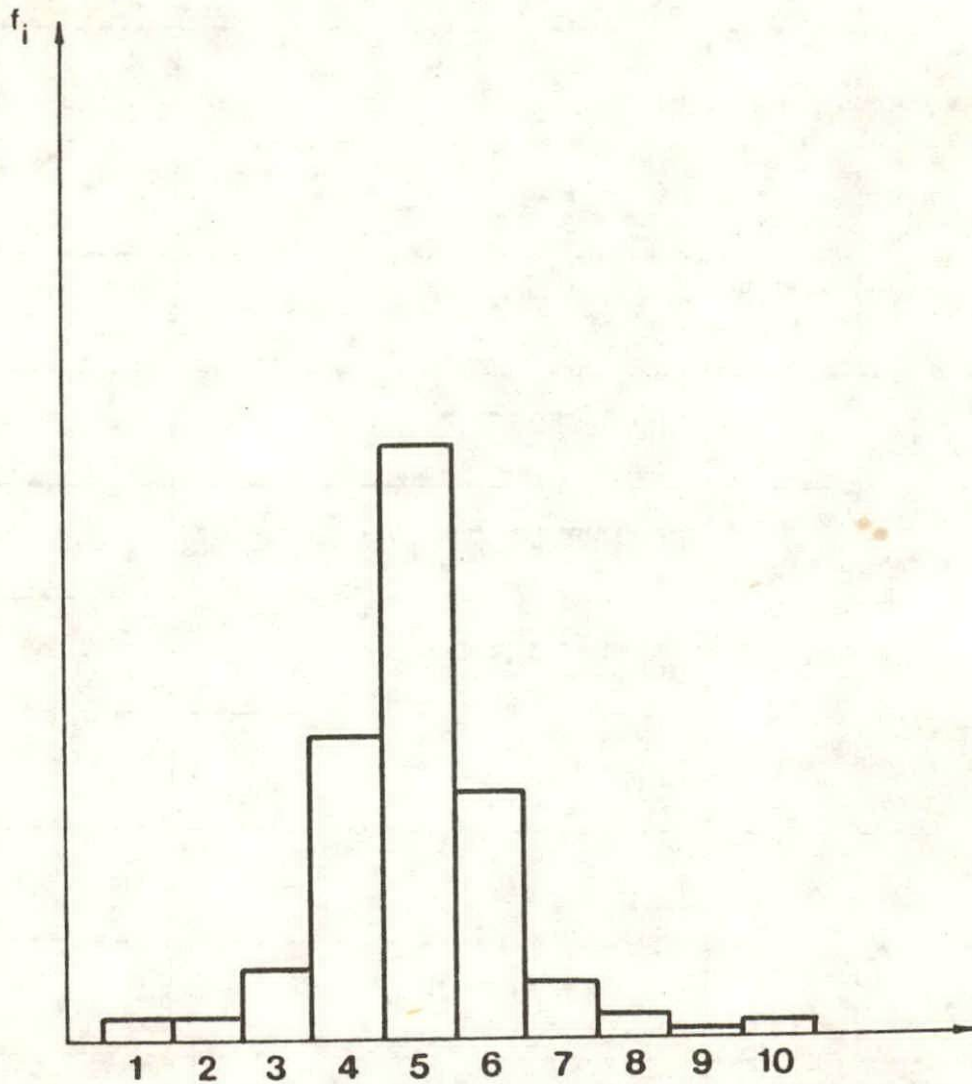
Obzirom da je u planu pokusa geometrija odnosno hrapavost površine furnira izabrana kao jedan od utjecajnih faktora na stlačivanje ploče neophodno je bilo od raspoložive količine industrijski proizvedenih furnira zavisno o stupnju hrapavosti, formirati dvije grupe materijala koje će predstavljati donji nivo tj. manju hrapavost i gornji nivo odnosno veću hrapavost.

DISTRIBUCIJA FREKVENCIJA
DEBLJINE FURNIRA

Tablica 4.

RAZREDI	X_i		f_i
2,00-2,04	2,02		3
2,04-2,08	2,06		3
2,08-2,12	2,1		10
2,12-2,16	2,14		43
2,16-2,20	2,18		84
2,20-2,24	2,22		35
2,24-2,28	2,26		8
2,28-2,32	2,30		3
2,32-2,36	2,34		1
2,36-2,40	2,38		2
Σ			192

Grafički prikaz raspodjele X_i
debljina furnira



broj	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X_i	2,02	2,06	2,10	2,14	2,18	2,22	2,26	2,30	2,34	2,38
f_i	3	3	10	43	84	35	8	3	1	2

Slika 2

3.1.1. Općenito o hrapavosti površine

Geometrija površine je izgled površine tijela koje može biti promatrano mikrogeometrijski i makrogeometrijski. Mikrogeometrijski izgled je izgled jednog dijela zasebno promatrane površine. Idealno ravne površine nema u stvarnosti. Mikrogeometrijski izgled sastoji se od valovitosti i hrapavosti.

Valovitost je izražena zaobljenim uzvisinama i udubinama stvarne površine koje se mogu ustanoviti po mikrogeometrijskom izgledu, i čija je udaljenost između vrhova znatno veća nego kod hrapavosti. U vezi s tim hrapavost se dobro ustanovljuje pipanjem a valovitost promatranjem uz kosu rasvjetu. Prema Schmalzu opipom se mogu osjetiti neravnine od $0,5 \mu\text{m}$ pa i manje, a vidom prema Marionu neravnine do 1 m , kod čega važnu ulogu igra proporcija između visine i razmaka među vrhovima neravnina.

Metode ispitivanja mikrogeometrije površine su kvantitativne i kvalitativne. Kvalitativne se temelje na usporedbi obradjene površine s površinom uzorka i to vizuelno ili opipom. Bitno je da uzorci budu izradjeni od istog materijala, da su jednakog oblika i da tehnika obrade bude ista kao i kod proizvoda koje ispitujemo. Kvantitativne metode mogli bismo podjeliti u optičke i kontaktne.

Optičkim metodama postiže se vjerna reprodukcija mikrogeometrije površine, ne razara se površina, ali dobivena slika nije potpuno oštra, i što je još važnije, mjerno područje je maleno. Kontaktnim pak metodama na nekim površinama ne dobivamo potpuno vjernu reprodukciju stvarnog izgleda površine, ali je zato mjerno područje teoretski veliko i postiže se velika točnost i mogućnost reprodukcije rezultata (5).

3.1.2. Mjerenje hrapavosti

U našim mjerenjima koristili smo instrument (slika 3) koji se bazira na kontaktnoj metodi mjerenja hrapavosti površine. Ukratko ćemo opisati postupak mjerenja.

Nakon što smo kvalitativnom metodom razvrstali listove furnira na one sa finom površinom i na one sa hrapavijom površinom, izvršili smo odabiranje furnira u uzorak na principu slučajnog izbora. Iz ovih listova furnira izrezane su probe 150 x 100 mm. Od raspoložive količine proba, slučajnim izborom odabrana je po jedna proba za svaku hrapavost.

Da bi se izbjegao utjecaj valovitosti furnira, probe su zaljepljene kontaktnim ljepilom na drvene podloge.

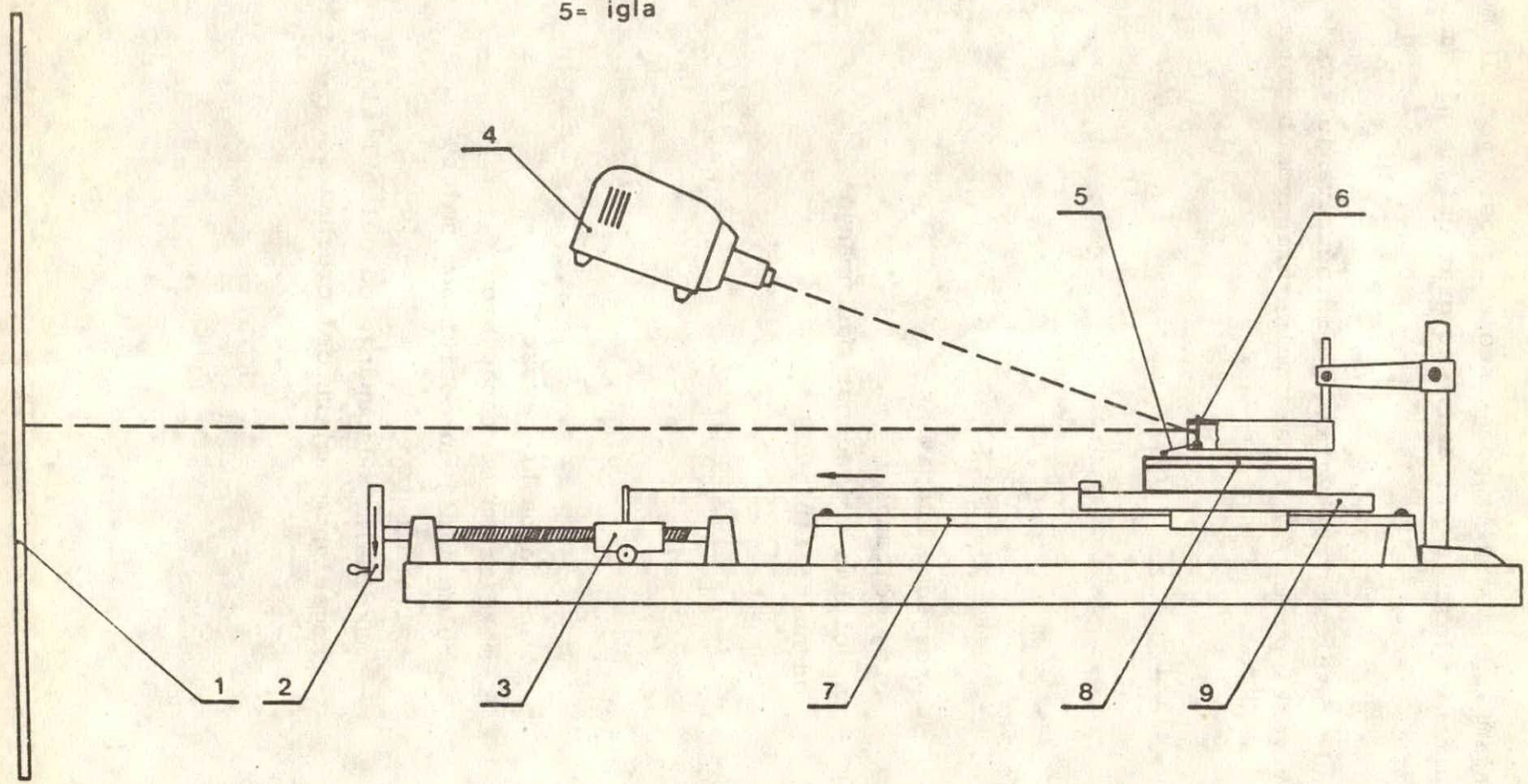
Princip mjerenja je slijedeći:

- Uzorak se pričvrsti na pokretni stol, a komparator koji mjeri pomak stola namjesti se na početni položaj. Zatim se spusti igla koja se može slobodno zakretati oko svoje osi, na površinu furnira. Snop svjetla koji se formira iz dija-projektora usmjerava se na ogledalce. Zraka svjetlosti se reflektira na skalu, koja je od igle udaljena četiri metra, jer na toj udaljenosti pomak od jednog milimetra na skali odgovara vertikalnom pomaku igle od jednog mikrona.

Zaokretanjem ručice, stol se pomiče u smjeru strelice, a igla prati konfiguraciju površine uzorka. Za svaki pomak ručice na komparatoru se očitava vrijednost pomaka, a na skali odstupanja zrake svjetlosti od nulte vrijednosti, što upravo predstavlja visinu izbočine (udubina) na površini uzorka.

- 1- skala
- 2- okretna ručica
- 3- potezna kolica
- 4- izvor svjetla
- 5- igla

- 6= ogledalo
- 7= vodilica
- 8= predmet mjerenja
- 9= pomični stol



Slika 3. Principijelna shema mjerenja hrapavosti površine

U našim ispitivanjima pomak stola iznosio je 2/10 mm.
Rezultati mjerenja prikazani su grafički na slikama
4. i 5.

Obrada rezultata obuhvatila je izračunavanje prosječne
hrapavosti prema /3/ i maksimalne hrapavosti prema /4/.

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad /3/$$

gdje je:

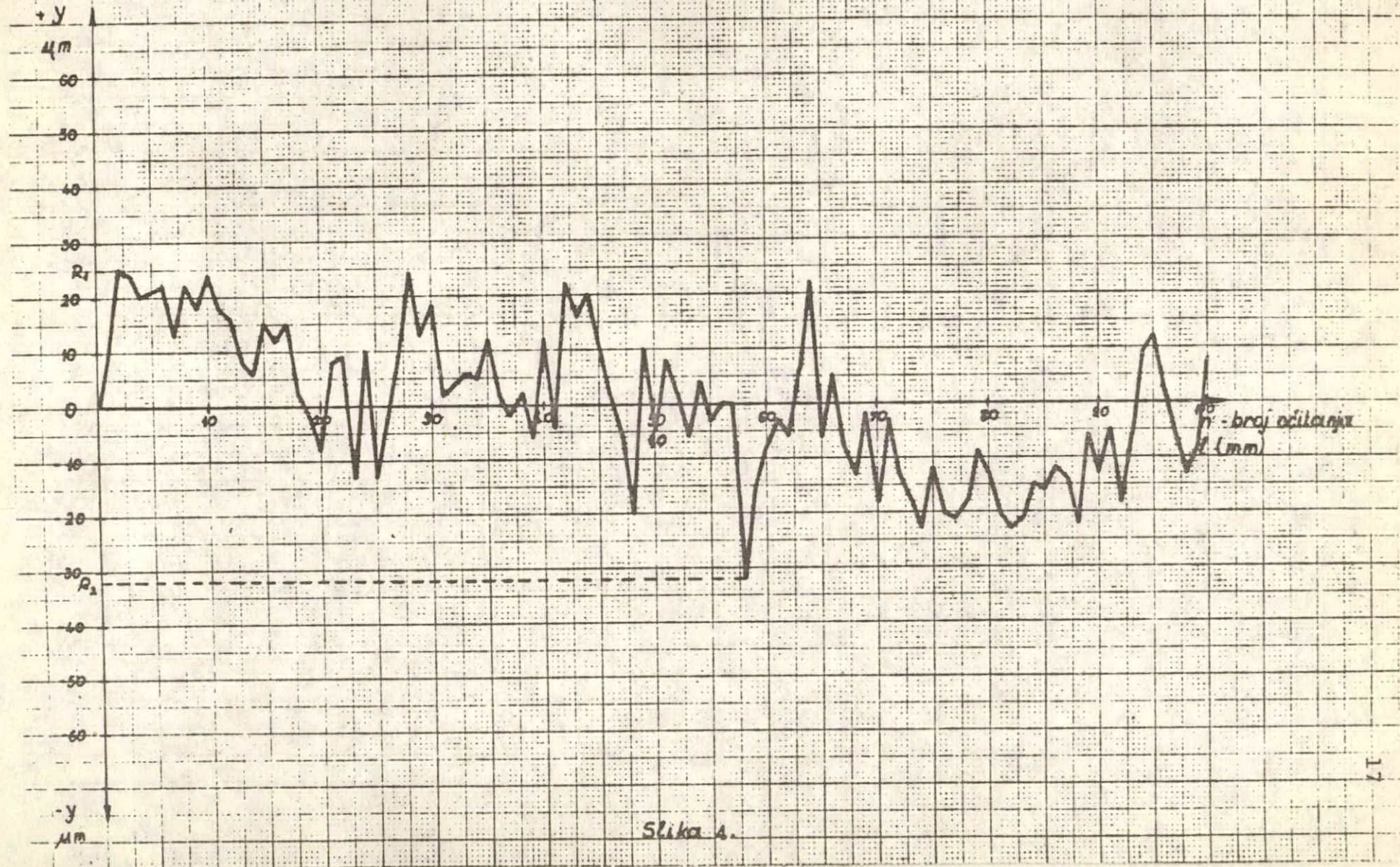
- R_a - prosječna hrapavost
- n - broj očitavanja
- y_i - apsolutna vrijednost odstupanja
od nulte linije

$$R_{\max} = R_1 - R_2 \quad /4/$$

Gdje je:

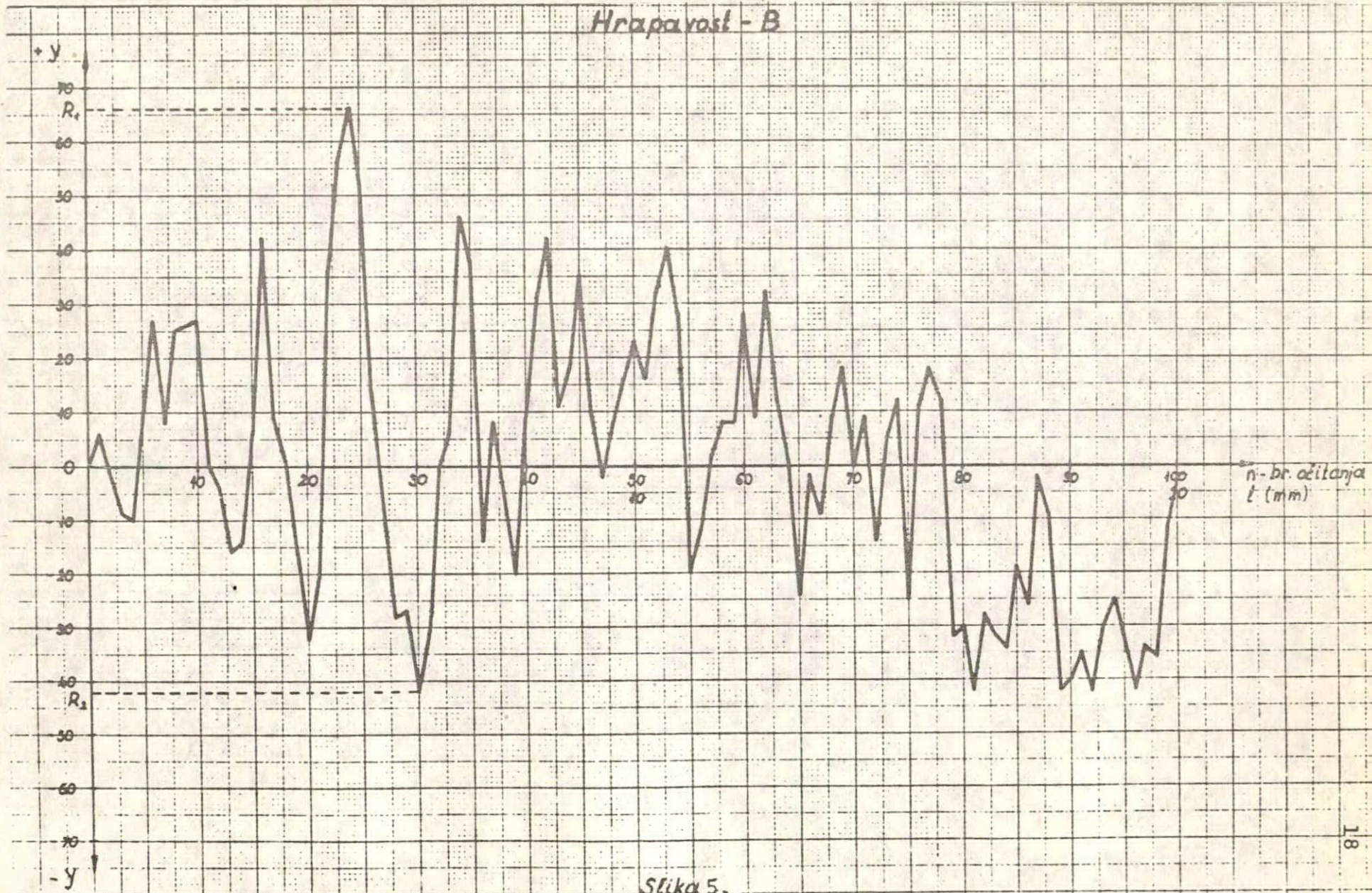
- R_{\max} - maksimalna hrapavost
- R_1 - maksimalna odstupanja od
nulte linije u pozitivnom smjeru
osi ordinate
- R_2 - maksimalno odstupanje od nulte linije u
negativnom smjeru osi ordinate.

Hrapavost - A



Slika 4.

Hrapavost - B



Slika 5.

Dobiveni rezultati za grupu furnira (A) i (B) prikazani su u nastavku:

Grupa A:

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n /y_i/ = \frac{1}{100} 1.153 = 11,53 \mu\text{m}$$

$$R_{\text{max}} = R_1 - R_2 = 75 - 18 = 57 \mu\text{m}$$

Grupa B:

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n /y_i/ = \frac{1}{100} \times 2036 = 20,36$$

$$R_{\text{max}} = R_1 - R_2 = 166 - 58 = 108 \mu\text{m}$$

Prema tome donji nivo hrapavosti u planu pokusa iznositi će $57 \mu\text{m}$ a gornji $108 \mu\text{m}$. Na osnovu toga izvršeno je i grupiranje furnira po kombinacijama.

3.1.3. Izbor ljepila

Za predmetna ispitivanja upotrebljeno je fenol-formaldehidno ljepilo Fenofix 200 proizvodnje "Chromos" - Zagreb. Fizikalno-kemijska svojstva prikazana su kako slijedi:

- sadržaj suhe tvari 51,2%
- viskozitet po Fordu N₄⁰ 280 sek
pri 20°C
- specifična težina 1,20 gr/cm³

U svrhu ubrzanja procesa vezanja upotrebljen je katalizator B. Priprema smjese navedenih komponenata vršena je tako da je na 100 tež. dijelova ljepila umiješano 20 težinskih dijelova katalizatora B.

3.2. Izrada laboratorijskih ploča

Prije upotrebe osnovni materijali (furnir i ljepilo) bili su kondicionirani u uvjetima laboratorijske klime. Kontrola uvjeta klimatiziranja vršena je pomoću termohigrometra. Registrirani podaci temperature i relativne vlage kretali su se u granicama:

- temperatura 293 - 296^oK
- relativna vlaga 54 - 60 %.

U toku postupka izrade troslojnih furnirskih ploča dimenzija 420 x 420 mm korišteni su slijedeći uređaji i instrumenti:

- nazubljena lopatica
- laboratorijska vaga (Sartorius, točnost 0,001 gr.)
- jednoetažna hidraulična preša (SUMO-tip 7M -201)
- dvoetažna hidraulična preša (Kombinat Belišće)

Postupak izrade ploča obuhvatio je pripremu ljepila, nanos ljepila na furnire u skladu s postavljenim planom pokusa, kondicioniranje furnira, konstrukciju ploče (slaganje furnira), formiranje paketa u jednoetažnoj preši, mjerenje debljine paketa, prešanje u vrućoj hidrauličnoj preši, mjerenje debljine ploče i kondicioniranje. Zavisno o kombinaciji ploče su proizvedene pri određenim tehnološkim parametrima navedenim u tablici 5.

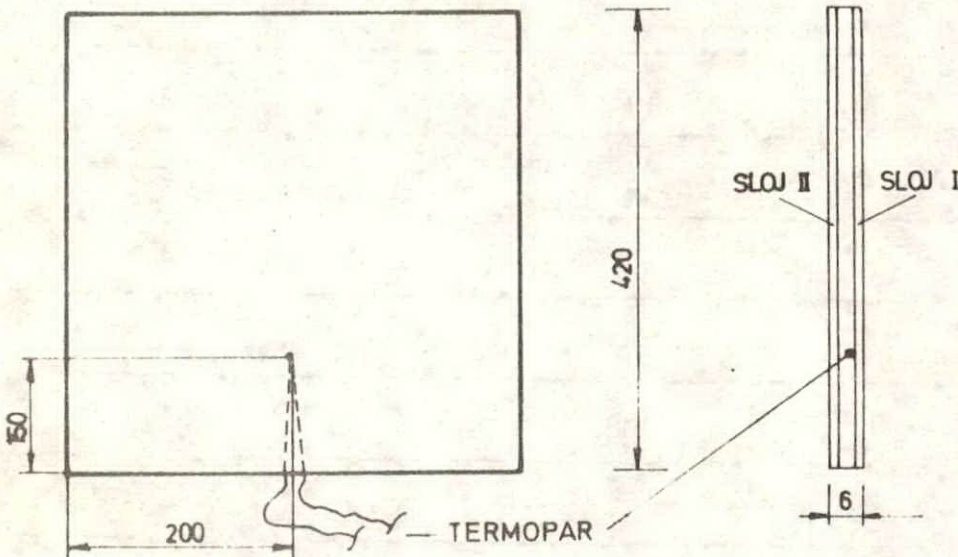
TEHNOLOŠKI PARAMETRI ZA IZRADU
FURNIRSKIH PLOČA

Tablica 5.

Broj i simbol kombina- cije	Pritisak prešanja	Hrapavost površine	Količina ljepila	Temperatura prešanja
	bar	μm	gr/m^2	$^{\circ}\text{K}$
1 - I	8	57	150	413
2 - a	22	57	150	413
3 - b	8	108	150	413
4 - ab	22	108	150	413
5 - c	8	57	250	413
6 - ac	22	57	250	413
7 - bc	8	108	250	413
8 - abc	22	108	250	413
9 - d	8	57	150	453
10 - ad	22	57	150	453
11 - bd	8	108	150	453
12 - abd	22	108	150	453
13 - cd	8	57	250	453
14 - acd	22	57	250	453
15 - bcd	8	108	250	453

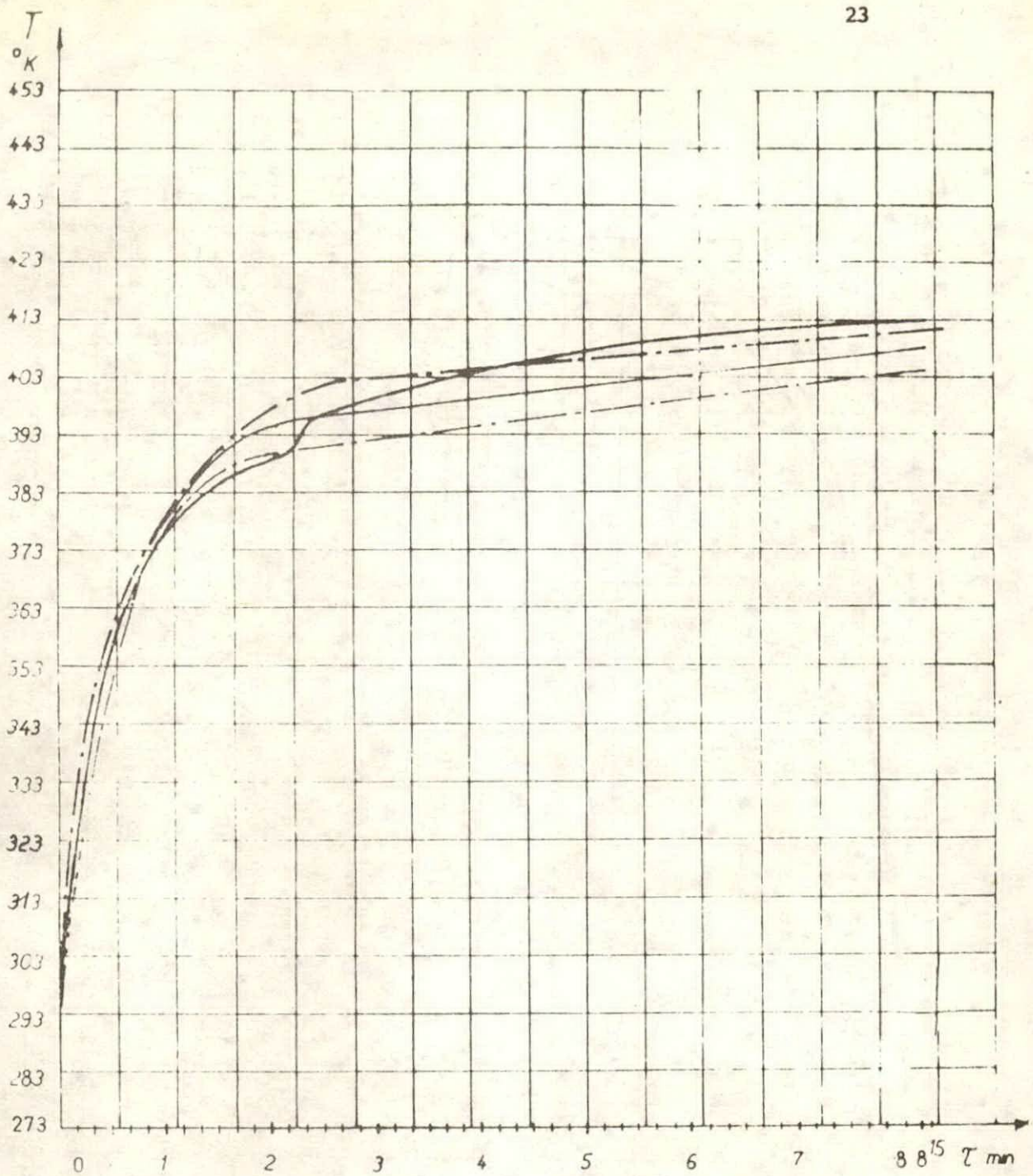
U toku prešanja u vrućoj hidrauličnoj preši u svakoj četvrtoj ploči jedne kombinacije mjerena je temperatura u sloju ljepila. Za mjerenje su korišteni termoparovi Fe-Co, te istosmjerni milivoltmetar (ISKRA - Kranj) s područjem mjerne skale od 0°C - 400°C .

Položaj termopara u furnirskoj ploči prikazan je na sl.6.



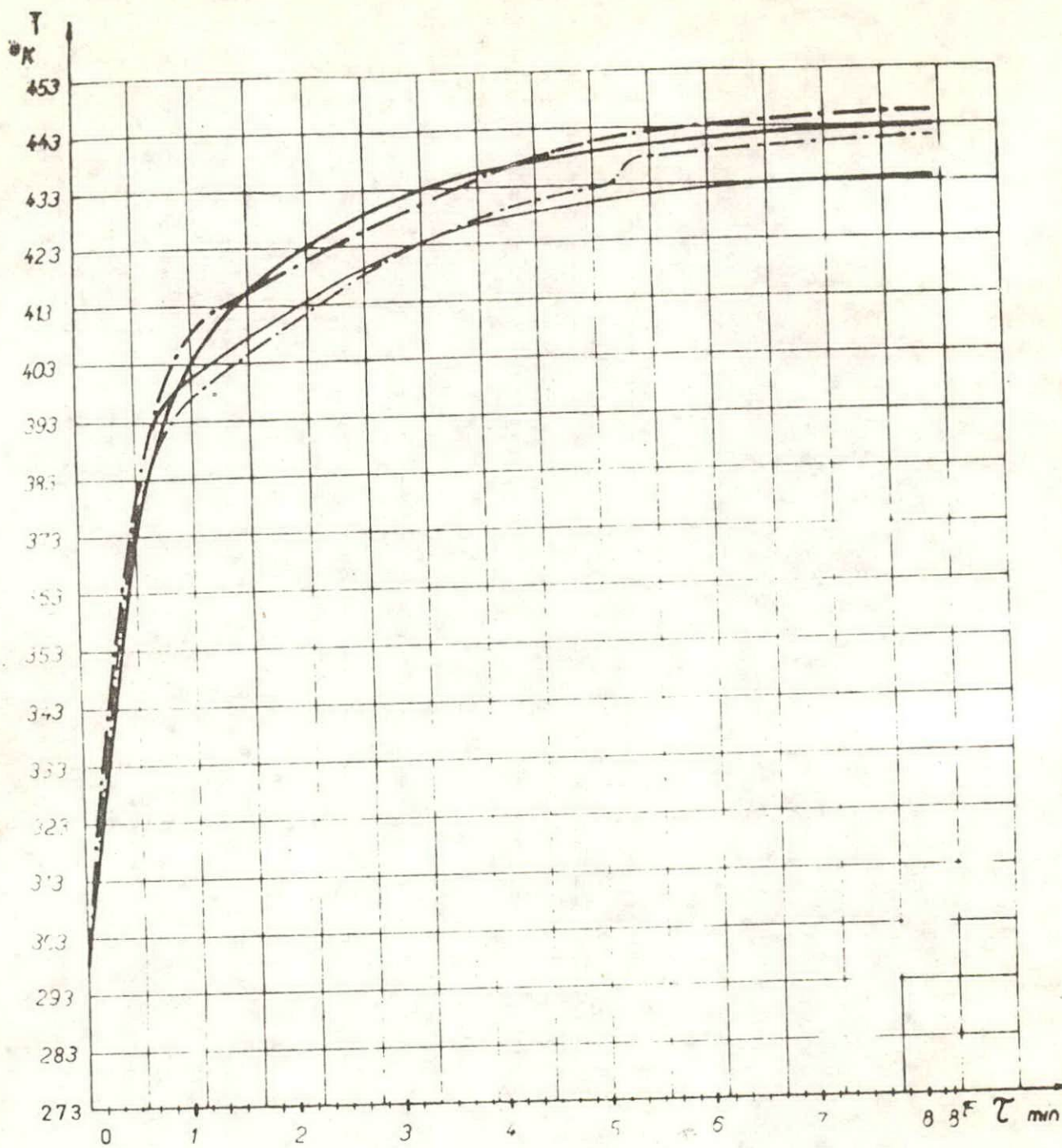
Slika 6.

Snimljeni podaci o promjeni temperature za neke od kombinacija prikazani su na slikama 7, 8, 9. i 10.



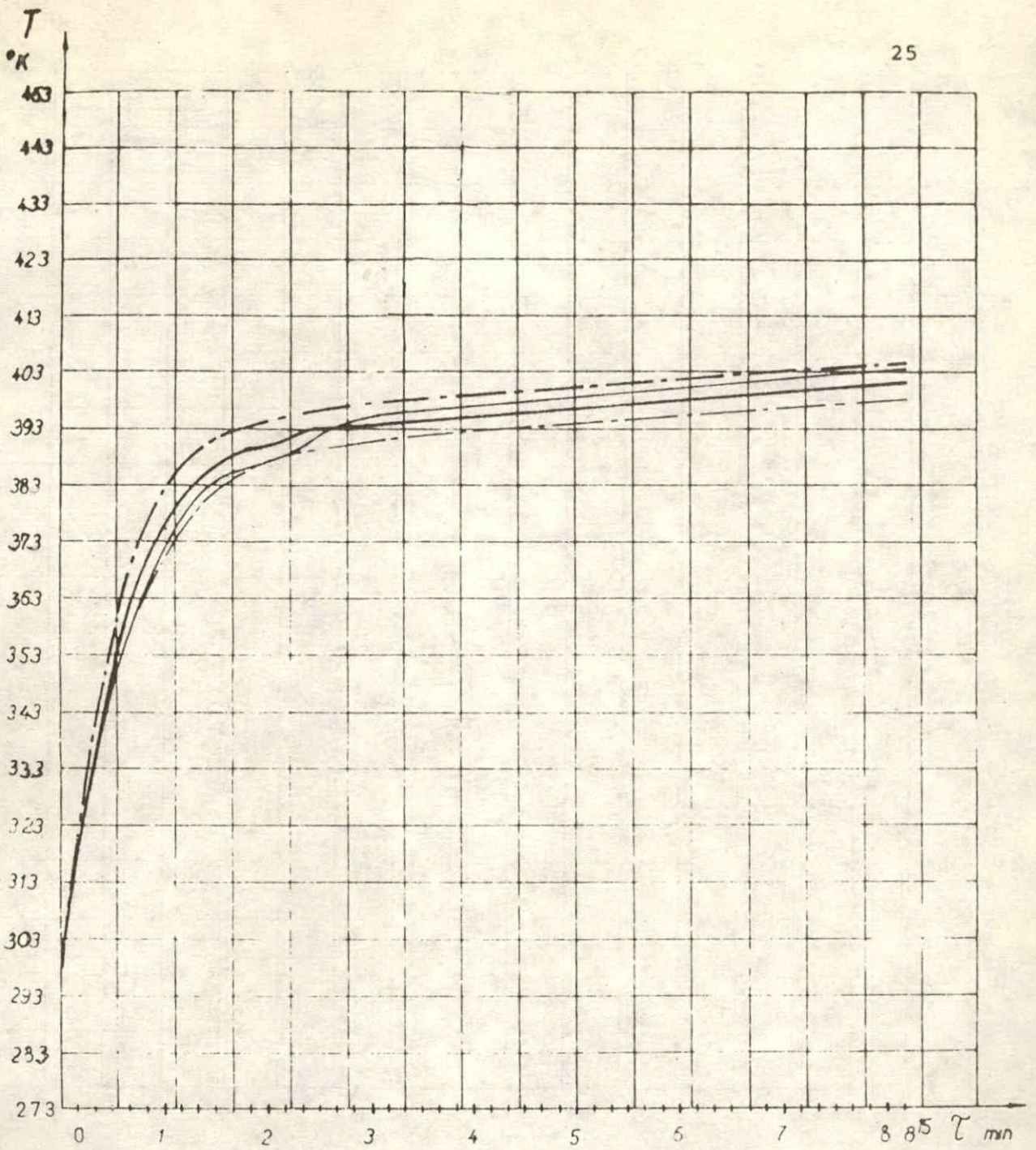
Utjecajni faktori	oznaka kombinacije			
	1 - I	2 - a	3 - b	4 - ab
Pritisak prešanja (bar)	8	22	8	22
Hrapavost površine (μm)	57	57	108	108
Temperatura prešanja ($^{\circ}\text{K}$)	413	314	413	413

Slika 7.



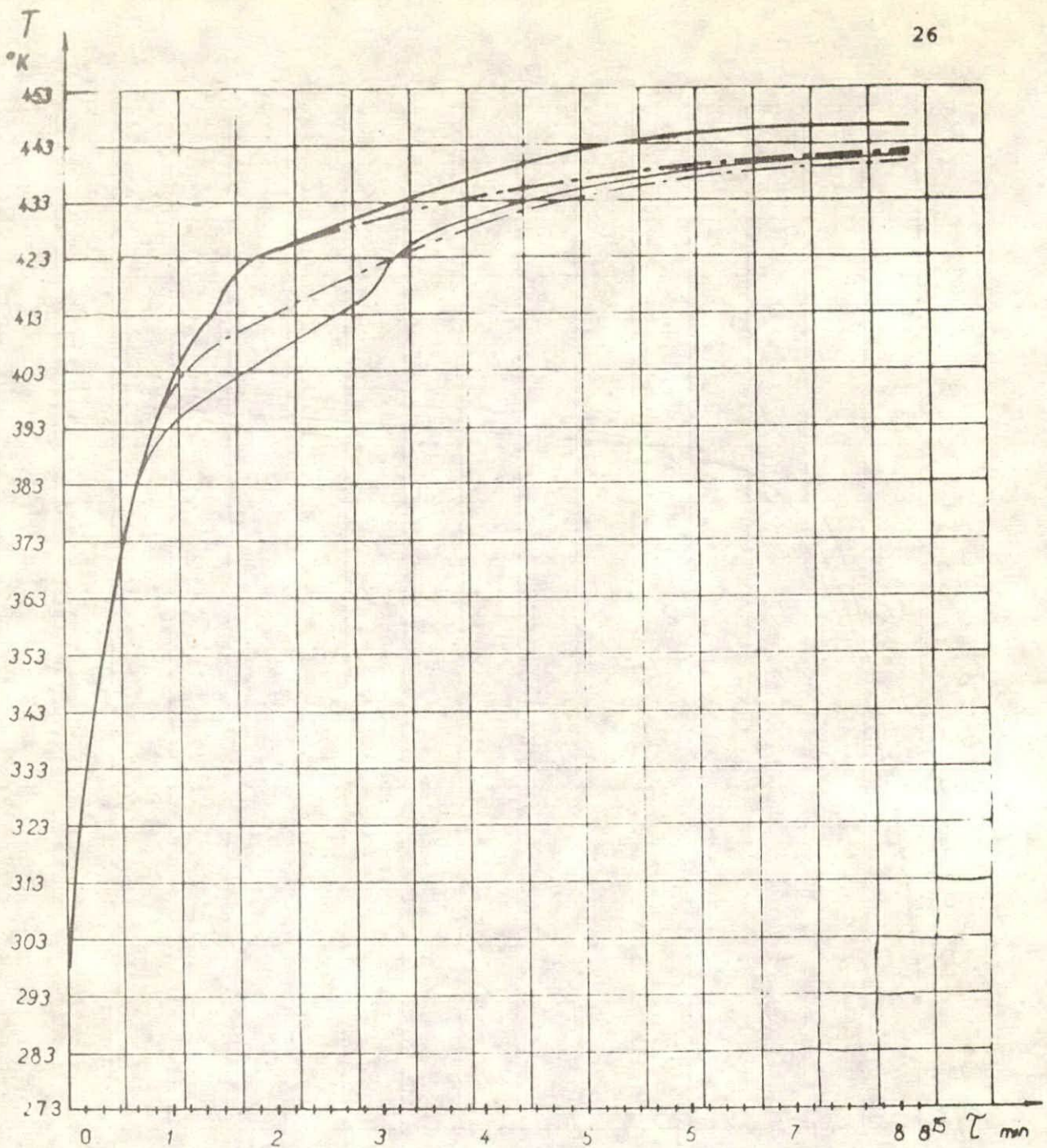
Utjecajni faktori	oznaka kombinacije			
	9 - d	10 - ad	11 - bd	12 - abd
Pritisak prešanja (bar)	8	22	8	22
Hrapavost površine (μm)	57	57	108	108
Količina ljepila (gr/m^2)	150	150	150	150
Temperatura prešanja ($^{\circ}\text{K}$)	453	453	453	453

Slika 8.



Utjecajni faktori	O z n a k a k o m b i n a c i j e			
	5 - c	6 - a c	7 - b c	8 - a b c
Pritisak prešanja (bar)	8	22	8	22
Hrapavost površine (μm)	57	57	108	108
Količina ljepila (gr/m^2)	250	250	250	250
Temperatura prešanja ($^{\circ}\text{K}$)	413	413	413	413

Slika 9.



Utjecajni faktori	Oznaka kombinacije			
	13 - cd	14 - acd	15 - bcd	16 - abcd
Pritisak prešanja (bar)	8	22	8	22
Hrapavost površine (μm)	57	57	108	108
Količina ljepila (gr/m^2)	250	250	250	250
Temperatura prešanja ($^{\circ}\text{K}$)	453	453	453	453

Slika 10.

4.0. REZULTATI POKUSA

4.1. Stupanj stlačenja (uprešanosti)

Kao što smo u točki 2.2. naveli stupanj stlačenja dobiven je iz razlike debljina mjerenih pomičnim mjerilom za vrijeme stajanja paketa u jednoetažnoj preši bez djelovanja pritiska i nakon prešanja.

Rezultati mjerenja prikazani su u tablici 6. Iz tablice je vidljivo da se rezultati po kombinacijama znatno razlikuju. No njih treba analizirati imajući u vidu i rezultate za ostala dva mjerila t.j. stupanj sljepljenosti i čvrstoću na smicanje.

4.2. Stupanj sljepljenosti

Obzirom da se radi o subjektivnoj ocjeni stanja površine nakon smicanja (JUS D.A1.072) izvršili smo provjeru pouzdanosti mjerila uz pomoć Spermanovog koeficijenta korelacije ranga (r_g) između dva ispitivača A i B. Rezultati (u tablici 7.) se odnose na prvi sloj ljepila nakon UK-22 (oznaka S) i nakon UK-28) (oznaka V).

Stupanj korelacije izračunat je po formuli /I/ za ukupno 64 epruvete kako slijedi:

- nakon UK - 22

$$d_y^2 = 32 + 78 = 110$$

REZULTATI ISPITIVANJA STUPNJA UPREŠANOSTI (STLAČENJA)

Tablica 6.

Plo- ča Kombin.	Debljina (mm) - prije prešanja				Debljina (mm) - poslije prešanja				Stupanj uprešanosti (%)				Prosječ- na upre- šanost %
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
I	6,90	6,80	6,80	6,90	6,03	5,90	5,89	6,08	12,6	13,2	13,4	11,9	12,8
a	7,00	7,00	6,95	7,00	6,02	5,98	5,99	5,99	14,0	14,6	13,8	14,4	14,2
b	6,95	6,90	7,00	6,95	6,07	6,06	6,10	6,10	12,7	12,2	12,9	12,2	12,5
ab	7,00	7,10	7,05	7,20	6,11	6,25	6,15	6,23	12,7	12,0	12,8	13,5	12,8
c	7,00	7,10	7,05	7,15	6,02	6,13	6,02	6,09	14,0	13,7	14,6	14,8	14,3
ac	7,20	7,20	7,15	7,15	6,04	6,05	6,11	6,06	16,1	16,0	14,6	15,2	15,5
bc	7,25	7,20	7,30	7,25	6,21	6,14	6,10	6,22	14,3	14,7	16,4	1 2	14,9
abc	7,30	7,10	7,10	7,70	6,11	5,97	5,98	6,22	16,3	16,0	15,8	19,2	16,8
d	7,00	7,05	6,90	6,90	5,97	6,12	5,89	5,95	14,7	13,2	14,6	13,8	14,1
ad	7,00	7,05	7,05	7,00	5,85	5,79	5,76	5,78	16,4	17,9	18,3	17,4	17,5
bd	7,20	7,15	7,10	7,10	6,16	6,21	6,18	6,07	14,4	13,2	13,0	14,5	13,8
abd	7,10	6,90	7,05	7,10	5,88	5,72	5,91	5,77	17,2	17,1	16,2	18,7	17,3
cd	7,20	7,15	7,15	7,10	5,97	6,07	6,12	6,15	17,1	15,1	14,4	13,4	15,0
acd	7,00	7,05	7,05	7,20	5,80	5,77	5,76	5,89	17,1	18,2	18,3	18,2	18,0
bcd	7,15	7,20	7,20	7,20	5,93	5,89	5,96	5,98	17,1	18,2	21,0	17,0	18,3
abcd	7,40	7,05	7,00	7,20	6,02	5,69	5,69	5,69	18,7	19,3	18,7	17,2	18,5

SPERMANOV KORELACIJE RANGA IZMEDJU ISPITIVAČA A I B
 ZA STUPANJ SLJEPLJENOSTI U PRVOM SLOJU LJEPILO (S = UK-22 a V = UK-28)

Tablica 7.

Oznaka epruvete *	1-4	1-3	1-3	1-3	2-3	2-4	2-2	2-2	3-3	3-1	3-3	3-4	4-3	4-1	4-2	4-4	5-3	5-2	5-1	5-4	6-2	6-3	6-1	6-2	7-4	7-3	7-2	7-2	9-3	9-1	9-3	9-2	$\sum d_y^2$	
	S3	S2	S1	S3	S2	S2	S2	S3	S1	S2	S2	S3	S1	S1	S2	S3	S3	S3	S1	S2	S2	S3	S3	S3	S2	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S1		
Rang	A	5	5	5	6	6	5	4	5	5	5	3	4	5	5	5	4	4	4	4	5	5	5	5	5	4	3	3	5	5	6	6		
	B	4	5	6	7	7	6	4	6	6	6	3	3	6	5	6	3	5	3	5	5	6	7	4	6	6	4	4	4	5	7	7	7	
Razlika	d_y	1	0	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	0	1	-1	0	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	-2	1	-1	-1	0	-1	-1	0	-2	-1	-1	
	d_y^2	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	0	1	1	0	4	1	1	32
Oznaka epruvete *	11-2	11-4	11-3	11-1	12-4	12-4	12-4	12-3	10-2	10-2	10-3	10-1	8-2	8-4	8-4	8-2	15-1	15-1	15-2	15-1	13-1	13-2	13-4	13-3	14-4	14-1	14-3	14-2	16-1	16-3	16-4	16-2	$\sum d_y^2$	
	S3	S3	S3	S3	S2	S1	S3	S3	S3	S1	S3	S3	S2	S3	S1	S3	S2	S3	S2	S1	S1	S2	S3	S3	S1	S1	S1	S1	S1	S1	S1	S2		S2
Rang	A	5	6	5	5	2	4	4	4	5	6	4	5	5	4	4	5	5	5	4	5	5	4	5	4	5	5	6	6	5	5	4	5	
	B	7	7	6	4	3	6	4	5	7	8	5	7	6	4	4	7	5	6	4	7	6	4	7	4	7	7	8	8	7	8	6	7	
Razlika	d_y	-2	-1	-1	-1	-1	-2	0	-1	-2	-2	-1	-2	-1	0	0	-2	0	-1	0	-2	-1	0	-2	0	-2	-2	-2	-2	-3	-2	-2		
	d_y^2	4	1	1	1	1	4	0	1	4	4	1	4	1	0	0	4	0	1	0	4	1	0	4	0	4	4	4	4	9	4	4	78	
Oznaka epruvete *	1-4	1-2	1-2	1-1	2-3	2-2	2-2	2-4	3-4	3-1	3-2	3-2	4-4	4-2	4-3	4-3	15-1	15-4	15-3	15-1	6-3	6-1	6-1	6-4	7-1	7-2	7-3	7-4	9-3	9-1	9-3	9-3	$\sum d_y^2$	
	V3	V2	V3	V1	V3	V1	V2	V3	V3	V2	V3	V1	V3	V3	V3	V1	V3	V1	V3	V1	V1	V1	V3	V2	V1	V1	V3	V2	V2	V1	V3	V1		
Rang	A	5	5	5	2	5	3	4	4	3	4	4	4	4	6	4	4	4	5	2	6	6	2	5	4	5	3	4	2	5	5	5	5	
	B	7	5	7	3	5	4	6	4	4	6	5	3	6	6	6	5	5	1	5	6	2	5	5	6	3	4	2	6	5	5	3	7	
Razlika	d_y	-2	0	-2	-1	0	-1	-2	0	-1	-2	-1	-1	-2	-1	-1	-1	0	1	1	0	0	0	-1	-1	0	0	0	-2	0	0	-2		
	d_y^2	4	0	4	1	0	1	4	0	1	4	1	1	4	1	4	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	4	41
Oznaka epruvete *	11-4	11-2	11-3	11-1	12-1	12-1	12-2	12-3	10-1	10-4	10-2	10-4	8-2	8-1	8-3	8-2	5-3	5-1	5-1	5-3	13-3	13-4	13-3	13-2	14-3	14-3	14-3	14-4	16-1	16-3	16-4	16-3	$\sum d_y^2$	
	V3	V3	V1	V2	V3	V2	V3	V2	V2	V2	V3	V1	V1	V3	V3	V1	V3	V1	V2	V2	V3	V3	V1	V1	V2	V1	V3	V2	V2	V2	V2	V1		
Rang	A	5	5	4	4	6	5	2	2	5	5	5	4	4	5	4	5	5	4	4	2	3	2	2	5	5	4	4	3	4	5	5		
	B	5	6	4	4	6	5	1	3	7	6	5	3	5	7	3	6	6	5	4	3	3	4	1	2	6	5	3	4	4	5	5	5	
Razlika	d_y	0	-1	0	0	0	0	1	-1	-2	-1	0	1	-1	-2	1	-1	-1	0	0	1	-1	-1	1	0	-1	0	-1	0	0	0	0		
	d_y^2	0	1	0	0	0	0	1	1	4	1	0	1	1	4	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	25

29

brojnik: kombinacija - br. ploče
 nazivnik: S-UK22, V-UK-28.

$$r_s = 1 - \frac{6 \times 110}{44(64^2 - 1)} = 0,9975$$

Nakon UK-28:

$$d_y^2 = 66 \quad r_s = 1 - \frac{6 \times 66}{64(64^2 - 1)} = 0,9985$$

Na osnovu dobivenih rezultata proizlazi da između ispitivača (A i B) postoji visoki stupanj korelacije. Obzirom na granične vrijednosti po Kendalu (10) za stupanj slobode $k = n - 2$ dobivaju se slijedeće tabelarne vrijednosti za r_s .

$$\begin{array}{ll} P = 0,05, & r_s \text{ tab.} = 0,2464 \\ P = 0,01, & r_s \text{ tab.} = 0,3204 \end{array}$$

Usporedimo li te vrijednosti s izračunatim, proizlazi da postoji značajna korelacija kako na nivou signifikantnosti $P = 0,05$ tako i na nivou $P = 0,01$.

Provjera ispitivača A i B provedena je na isti način i na II sloju (cijela troslojna ploča). Spermonovi koeficienti korelacije za rezultate nakon UK-22 i UK-28 iznose:

$$\begin{array}{ll} \text{UK-22,} & r_s = 0,9981 \\ \text{UK-28,} & r_s = 0,9979 \end{array}$$

Pojedinačni rezultati po kombinacijama i postupak računanja prikazani su u tablici 8.

SPERMANOV KOEFICIJENT KORELACIJE RANGA IZMEDJU ISPITIVAČA A I B
 ZA STUPANJ SLJEPLJENOSTI U II. SLOJU LJEPILA (S=UK-12, a V=UK-28)

Tablica 8.

Oznaka epruvete*	I-1	I-1	I-4	I-2	2-4	2-4	2-3	2-1	3-2	3-1	3-1	3-4	4-4	4-1	4-3	4-1	5-4	5-2	5-4	5-1	6-4	6-1	6-3	6-4	7-1	7-1	7-3	7-3	9-2	9-1	9-4	9-1	$\sum d_y^2$	
	S1	S3	S1	S2	S3	S1	S3	S1	S2	S1	S3	S1	S2	S3	S3	S2	S3	S2	S1	S3	S2	S2	S1	S1	S2	S1	S3	S2	S2	S2	S1	S3		
Rang	A	4	5	5	5	4	5	5	6	6	6	7	5	5	5	4	4	5	6	5	6	5	6	6	6	6	5	4	5	5	5	5		
	B	4	4	6	7	6	5	6	5	6	7	6	5	4	6	4	4	5	6	6	7	6	4	6	7	5	6	5	4	6	5	7	6	
Razlika	d_y	0	1	-1	-2	-1	-1	-1	0	0	-1	0	2	1	-1	1	0	-1	-1	0	-2	0	1	0	-1	-1	0	0	0	-1	0	-2	-1	
	d_y^2	0	1	1	4	1	1	1	0	0	1	0	4	1	1	1	0	1	1	0	4	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	4	1	32
Oznaka epruvete*	11-1	11-2	11-3	11-4	12-2	12-1	12-2	12-3	10-4	10-1	10-2	10-1	8-1	8-3	8-3	8-3	15-3	15-4	15-3	15-2	13-4	13-2	13-3	13-3	14-4	14-1	14-4	14-2	16-2	16-4	16-4	16-3	$\sum d_y^2$	
	S2	S1	S2	S2	S3	S3	S2	S2	S2	S2	S2	S1	S1	S1	S3	S2	S2	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S2	S2	S2	S3	S1	S3	S3		
Rang	A	5	4	6	6	4	6	5	5	5	7	7	7	5	5	5	5	1	5	5	5	4	4	5	6	4	5	5	5	5	6	6	6	
	B	6	5	7	6	6	6	7	7	6	7	7	7	6	7	6	7	7	3	6	4	5	5	6	6	7	5	5	6	7	7	5	6	
Razlika	d_y	-1	-1	-1	0	-2	0	-2	-2	-1	0	0	0	-1	-2	-1	-2	-2	-2	-1	1	0	-1	-2	-1	-1	-1	0	-1	-2	-1	1	0	
	d_y^2	1	1	1	0	4	0	4	4	1	0	0	0	1	4	1	4	4	4	1	1	0	1	4	1	1	1	0	1	4	1	1	0	51
Oznaka epruvete*	I-1	1-3	1-3	1-1	2-1	2-4	2-2	2-4	3-2	3-4	3-1	3-4	4-3	4-4	4-2	4-1	15-3	15-1	15-2	15-3	6-2	6-1	6-4	6-2	7-4	7-2	7-3	7-1	9-4	9-2	9-4	9-2	$\sum d_y^2$	
	V3	V3	V2	V2	V3	V2	V3	V1	V2	V2	V3	V1	V2	V1	V1	V2	V2	V3	V2	V1	V1	V2	V3	V3	V1	V3	V2	V3	V3	V2	V1	V1		
Rang	A	4	3	5	3	5	4	5	5	4	3	4	5	4	4	5	5	5	1	2	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	5	4	4	
	B	3	5	5	3	7	6	7	7	5	1	7	5	6	6	7	6	5	1	2	5	4	4	5	5	4	3	5	4	2	5	3	5	
Razlika	d_y	1	-2	0	0	-2	-2	-2	-2	-1	2	-3	0	-2	-2	-1	0	0	0	-1	0	0	-1	-1	1	1	-1	0	2	0	1	-1		
	d_y^2	1	4	0	0	4	4	4	4	1	4	9	0	4	4	4	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	4	0	1	1	60
Oznaka epruvete*	11-1	11-2	11-2	11-4	12-4	12-4	12-4	12-2	102	10-4	10-3	10-2	8-2	8-4	8-2	8-3	5-2	5-4	5-1	5-2	13-3	13-1	13-1	13-2	14-4	14-1	14-1	14-2	16-2	16-1	16-1	16-4	$\sum d_y^2$	
	V3	V1	V2	V1	V2	V1	V3	V2	V1	V3	V3	V2	V3	V3	V2	V2	V2	V2	V3	V3	V2	V3	V2	V3	V1	V2	V1	V1	V3	V3	V1	V3		
Rang	A	4	3	3	2	5	4	4	5	4	4	3	5	4	4	4	5	4	5	4	5	3	3	2	2	4	6	4	3	5	5	5	5	
	B	5	3	3	2	5	4	5	5	2	2	2	6	4	3	3	6	4	5	6	6	3	4	2	2	4	3	3	3	6	5	5	5	
Razlika	d_y	-1	0	0	0	0	0	-1	0	2	2	1	-1	0	1	1	-1	0	0	-2	-1	0	-1	0	0	0	3	1	0	-1	0	0	0	
	d_y^2	1	0	0	0	0	0	1	0	4	4	1	1	0	1	1	1	0	0	4	1	0	1	0	0	0	9	1	0	1	0	0	0	32

*brojnik: kombinacija - broj ploče
 nazivnik: S=UK-22, V=UK-28

4.3. Čvrstoća na smicanje

Dobiveni rezultati nakon UK-22 za 16 kombinacija komparativno su prikazani u tablici 9.

Prije provodjenja daljnje obrade, izvršena je na uobičajeni način pomoću χ^2 testa (6,7) provjera normaliteta raspodjele rezultata po kombinacijama. Tek nakon dokaza da se podaci u kombinacijama pokoravaju zakonu normalne razdiobe, prišlo se daljoj obradi.

Dalja obrada obuhvatila je analizu varijance i proračun po metodi F.Yates-a (8). Analizom varijance (tablica 10) ustanovljena je nehomogenost proizvedenih furniranih ploča u statističkom smislu, što ukazuje na postojanje signifikantnih utjecajnih faktora.

Tablica 10.

Varijacija	Suma kvadrata odstupanja	Stupanj slobode	Procjena varijacije	Faktor F	Faktor Fo tab.
Ukupno	42,291	319	0,132574		
Između uzoraka	5,1185	15	0,34123	2,779	1,705
Unutar uzoraka	37,1725	304	0,12278		

Proračun po metodi F-Yatesa obuhvaća stvaranje suma i razlika dobivenih rezultata kako je to prikazano u tablici 11, te provodjenje F-testa (tablica 12). Na osnovu određivanja granične vrijednosti varijance može se uspoređivanjem dobivenih vrijednosti s rezultatima u tablici 12 utvrditi koji se utjecaj pokazao signifikantnim. Granične vrijednosti izračunate su iz odnosa $F = S_v^2 / S_u^2$ tako, da se umjesto Fo u vrsti vrijednost za F tabl. na nivou signifikantnosti 0,05 i 0,01, pri stupnjevima slobode brojnika ($k_p - 1$) i nazivnika ($k_n = 304$). Granične vrijednosti varijance su

Tablica 9.

REZULTATI ISPITIVANJA ČVRSTOĆE NA SMICANJE (N/mm²) NAKON UK-22

OZNAKA KOMBINACIJE	OZNAKE EPRUVETA										Srednja vrijednost \bar{x}	Standardna devijacija σ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
I	1,81	1,65	2,40	2,26	2,48	1,75	1,95	2,54	1,74	1,48	1,862	0,38953
	1,69	1,40	1,30	1,35	1,95	1,31	1,72	1,99	2,07	2,34		
a	2,57	1,72	2,04	1,77	1,25	2,30	1,88	2,01	2,40	2,59	2,1655	0,41495
	1,90	2,67	2,00	2,34	2,52	2,00	1,82	1,91	2,63	2,95		
b	1,92	2,19	2,42	2,03	1,99	2,52	2,02	2,20	2,56	2,11	2,265	0,38356
	1,88	2,25	1,18	2,58	1,27	2,10	2,55	2,00	2,46	1,87		
ab	2,25	1,86	1,82	2,04	2,99	2,13	2,49	1,41	1,55	1,66	1,953	0,47062
	2,10	1,63	2,67	1,50	1,75	1,95	1,34	1,97	2,64	1,31		
c	2,34	1,62	2,21	2,13	1,26	2,11	1,94	2,67	2,00	2,23	2,185	0,36509
	2,72	2,20	2,11	2,42	2,25	2,21	2,57	2,02	2,80	1,89		
ac	1,93	2,38	1,84	2,62	2,15	2,06	1,75	2,12	1,74	2,52	2,145	0,29330
	2,46	2,10	2,35	2,20	1,94	1,96	2,57	2,40	2,19	1,62		
bc	2,20	1,66	2,04	2,34	1,89	1,71	2,10	1,58	2,13	2,08	1,9715	0,23674
	2,04	1,86	1,80	2,47	1,97	1,66	1,90	1,75	2,12	2,13		
abc	2,13	1,90	1,59	2,04	1,70	1,76	2,00	2,20	1,30	1,89	1,875	0,21140
	1,87	1,98	1,96	1,60	1,98	1,75	1,99	2,03	2,01	1,82		
d	2,38	1,50	1,98	2,59	2,83	1,90	2,33	2,43	1,93	2,08	2,1425	0,31242
	1,93	1,92	2,24	2,14	2,08	1,83	2,35	1,77	2,25	2,39		
ad	1,60	2,39	2,48	2,72	1,66	2,26	2,27	2,39	2,19	2,31	2,239	0,31511
	2,35	2,54	2,19	2,34	2,60	2,42	1,65	1,98	2,45	1,99		
bd	1,86	1,52	1,94	1,84	1,55	1,64	2,17	1,98	1,82	2,09	1,883	0,25215
	1,91	2,44	1,94	1,78	1,75	2,26	1,88	1,81	1,40	2,08		
abd	2,00	1,89	2,32	2,06	1,57	1,73	1,82	2,13	2,14	1,51	1,9335	0,300009
	1,47	2,48	1,89	2,48	2,06	1,92	1,75	1,93	2,05	1,47		
cd	2,41	2,52	1,89	2,77	2,47	1,91	2,38	1,62	1,96	2,07	2,1925	0,34213
	1,76	1,98	2,60	1,61	2,19	2,06	2,44	2,63	2,41	2,17		
acd	2,26	1,36	2,56	2,53	2,35	2,10	2,18	2,40	1,63	2,33	2,1835	0,37749
	1,53	1,75	2,61	2,17	1,96	2,13	2,26	2,20	2,72	2,64		
bcd	2,03	2,00	2,27	1,87	2,16	2,37	2,12	1,52	1,22	2,88	2,042	0,37862
	2,46	1,76	1,92	1,67	1,72	2,32	2,66	1,08	2,08	1,94		
abcd	2,35	2,58	2,41	2,03	2,02	1,98	1,21	2,62	2,51	2,18	2,1505	0,43635
	2,48	2,38	1,95	2,68	2,47	1,31	2,35	2,23	1,35	1,92		

EFEKTI DJELOVANJA UTJECAJNIH FAKTORA NAKON UK-22

Tablica 11

Oznaka kombinacije	Sume pojedinačnih vrijednosti	SUME I RAZLIKE				Efekt djelovanja faktora
		1	2	3	4	
I	37,24	80,55	161,71	325,33	660,66	
a	43,31	81,16	163,62	353,33	5,32	A
b	42,10	86,60	163,96	0,39	-23,94	B
ab	39,06	77,02	171,37	4,93	- 8,72	AB
c	43,70	87,63	3,03	- 8,97	9,32	C
ac	42,9	76,33	- 2,64	-14,97	-6,62	AC
bc	39,43	87,52	2,94	-10,15	-2,56	BC
abc	37,59	83,85	1,99	1,43	11,34	ABC
d	42,85	6,07	0,61	1,91	10,0	D
ad	44,78	- 3,04	- 9,58	7,41	4,54	AD
bd	37,66	- 0,80	-11,3	- 5,67	- 6	BD
abd	38,67	- 1,84	-3,67	-0,95	11,58	ABD
cd	43,85	1,93	-9,11	-10,19	5,5	CD
acd	43,67	1,01	-1,04	7,63	4,72	ACD
bcd	40,84	-0,18	- 0,92	8,07	17,82	BCD
abcd	43,01	2,17	2,35	3,27	- 4,8	ABCD

Tablica 12

Efekt djelovanja faktora	Suma kvadrata odstupanja	Stupanj slobode	Procjena varijance S^2	Faktor F
A	0,088445	1	0,088445	0,7233
B	1,79101	1	1,79101	14,647
AB	0,23762	1	0,23762	1,9433
C	0,2697	1	0,2697	2,2056
AC	0,13695	1	0,13695	1,12
BC	0,02048	1	0,02048	0,1675
ABC	0,40186	1	0,40186	3,2864
D	0,3125	1	0,3125	2,556
AD	0,66066	1	0,66066	5,403
BD	0,1125	1	0,1125	0,92
ABD	0,42559	1	0,42559	3,481
CD	0,09453	1	0,09453	0,7731
ACD	0,06962	1	0,06962	0,5694
BCD	0,99235	1	0,99235	8,1155
ABCD	0,072	1	0,072	0,5889
Greška pokusa	37,1725	304	0,122278	
Ukupno	42,291	319	0,132574	

A - pritisak prešanja
 B - hrapavost površine
 C - količina ljepila
 D - temperatura prešanja

$$S_{0,05}^2 = F_{0(0,05)} \cdot S_u^2$$

/5/

$$S_{0,01}^2 = F_{0(0,01)} \cdot S_u^2$$

$$S_{0,05}^2 = 3,875 \cdot 0,122278 = 0,4738$$

$$S_{0,01}^2 = 6,73 \cdot 0,122278 = 0,8229$$

Usporedimo li izračunate vrijednosti varijabli F s tabličnim (6) za $F_{0,05} = 1,705$ ($K_b = 15, K_u = 304$) proizlazi da je $F > F_{\text{tabl}}$. kod varijacija B, AB, C, ABC, D, AD, ABD, BCD. To zapravo znači da te varijacije pokazuju signifikantan utjecaj na čvrstoću smicanja.

Koristeći iste rezultate ustanovili smo protumačeni dio u odnosu na ukupni utjecaj faktora. U tu svrhu izračunat je koeficient korelacije između protumačenog i ukupnog dijela sume kvadrata odstupanja (S_Q) kako slijedi:

$$r^2 = \frac{\text{protumačeni dio } S_Q}{\text{ukupni dio } S_Q} =$$

$$r^2 = \frac{5,1185}{42,291} = 0,121 \quad /6/$$

$$r^2 = \sqrt{r^2} = 0,348$$

Prema tome ispitivanjem čvrstoće na smicanje nakon UK-22 ovim planom pokusa uspjeli smo protumačiti oko 35% utjecaja faktora. To ukazuje na postojanje još nekih faktora sa značajnim utjecajem a koji nisu obuhvaćeni ovim planom pokusa (na pr. vrijeme prešanja).

Dobiveni rezultati nakon UK-28 za 16 kombinacija prikazani su u tablici 13. Provjera normaliteta raspodjele rezultata po kombinacijama i homogeniteta podataka izvršena je kao i kod rezultata nakon UK-22.

Analizom varijance (tablica 14) utvrđeno je postojanje signifikantnih razlika između kombinacija, ($F > F_0$) što ukazuje na signifikantnost utjecaja obuhvaćenih faktora.

Tablica 14

Varijacija	Suma kvadrata odstupanja	Stupanj slobode	Procjena varijance	Faktor F	Faktor F_0 tabl.
Ukupno	16,09995	319	0,05047	6,558	1,705
Između uzoraka	3,935985	15	0,262399		
Unutar uzoraka	12,163965	304	0,040013		

Efekte djelovanja pojedinih faktora prikazani su u tablici 15, a vrijednosti varijable F za pojedine kombinacije u tablici 16.

Oznaka kombinacije	OZNAKE EPRUVETA										Srednja vrijednost \bar{x}	Standardna devijacija
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
I	1,28	1,31	1,58	1,37	1,43	1,1	1,64	1,63	1,38	1,30	1,4445	0,221434
	1,23	1,53	1,32	1,37	1,67	1,77	1,41	1,36	1,8	1,41		
a	1,57	1,63	1,88	1,66	1,66	1,47	1,75	1,73	1,8	1,57	1,6905	0,15275
	1,53	1,72	1,59	1,66	2,12	1,75	1,46	1,74	1,85	1,67		
b	1,94	0,75	1,36	1,8	1,82	1,20	1,97	1,54	1,77	1,79	1,589	0,28676
	1,5	1,74	1,44	1,72	1,64	1,34	1,40	1,78	1,66	1,62		
ab	1,04	1,62	1,36	1,72	1,39	0,77	1,51	1,60	1,48	1,25	1,4195	0,26625
	1,36	1,40	1,65	1,88	1,37	1,47	1,12	1,10	1,10	1,67		
c	1,86	1,73	1,75	1,68	1,22	1,80	1,56	2,07	1,87	1,33	1,7015	0,193235
	1,87	1,64	1,83	1,51	1,74	1,70	1,64	1,63	1,83	1,77		
ac	1,51	1,77	1,48	1,60	1,90	1,64	1,56	1,63	1,52	1,83	1,6535	0,170827
	1,64	2,11	1,84	1,44	1,61	1,70	1,55	1,74	1,43	1,57		
bc	1,62	1,70	2,17	1,68	1,96	1,42	1,94	1,68	1,92	1,72	1,7795	0,21591
	1,90	1,84	1,98	1,70	1,56	1,60	1,74	1,93	2,15	1,37		
abc	1,47	1,58	1,73	1,57	1,20	1,55	1,81	1,54	1,54	1,75	1,539	0,154712
	1,49	1,46	1,56	1,70	1,26	1,70	1,55	1,48	1,48	1,48		
d	1,62	2,07	1,86	1,90	1,45	1,78	1,96	1,48	2,28	1,55	1,751	0,21455
	1,65	1,61	1,83	1,87	1,58	1,65	1,51	1,90	1,63	1,84		
ad	1,58	1,44	1,92	1,67	1,89	1,60	1,20	1,68	1,68	1,68	1,618	0,23816
	1,86	1,87	1,39	1,35	1,26	2,13	1,62	1,54	1,60	1,40		
bd	1,58	1,59	1,30	1,60	1,85	1,65	1,35	1,57	1,43	1,28	1,4345	0,211896
	1,05	1,59	1,54	1,36	1,10	1,52	1,10	1,36	1,25	1,62		
abd	1,54	1,72	1,41	1,67	2,03	1,5	1,8	1,58	1,61	1,95	1,6445	0,20049
	1,41	1,42	1,58	1,36	1,52	1,63	1,8	1,7	2,05	1,61		
cd	1,62	1,58	1,48	1,43	1,69	1,67	1,70	1,43	1,50	1,76	1,6255	0,19416
	2,07	1,71	1,38	1,80	1,61	1,85	1,68	1,42	1,28	1,75		
acd	1,8	1,58	1,93	1,96	1,71	1,75	1,82	1,80	1,98	1,66	1,7595	0,198029
	1,55	1,82	1,78	2,13	1,62	1,30	1,58	2,09	1,65	1,68		
bcd	1,57	1,53	1,42	1,70	1,37	1,68	1,76	1,92	1,58	1,50	1,6455	0,17006
	1,81	1,83	1,58	1,71	1,79	1,86	1,53	1,75	1,72	1,30		
abcd	1,90	1,69	1,73	1,54	2,04	1,59	1,71	1,63	1,85	1,73	1,788	0,16231
	1,89	1,85	1,93	1,51	2,06	1,72	1,95	2,0	1,75	1,69		

Tablica 15 EFEKTI DJELOVANJA FAKTORA (nakon UK-28)

Oznaka kombinacija	Sume pojedinačnih vrijednosti	Sume i razlike				Efekt djelovanja faktora
		1	2	3	4	
I	28,89	62,7	122,87	256,34	521,67	
a	33,81	60,17	133,47	265,33	12,83	A
b	31,78	67,1	128,96	-4,24	-8,09	B
ab	28,39	66,37	136,37	17,07	-5,13	AB
c	34,03	67,38	1,53	-3,26	18,01	C
ac	33,07	61,58	-5,77	-4,83	-3,31	AC
bc	35,59	67,7	1,94	-12,16	8,57	BC
abc	30,78	68,67	5,53	7,03	-2,23	ABC
d	35,02	4,92	-2,53	10,6	8,99	D
ad	32,36	-3,39	-0,73	7,41	21,31	AD
bd	28,69	-0,96	-5,8	-7,3	-1,57	BD
abd	32,89	-4,81	0,97	3,99	19,19	ABD
cd	32,51	-2,66	-8,31	1,8	-3,19	CD
acd	35,19	4,2	-3,85	6,77	11,29	ACD
bcd	32,91	2,68	6,86	4,46	4,97	BCD
abcd	35,76	2,85	0,17	-6,69	-11,15	ABCD

Tablica 16

Efekt djelovanja	Suma kvadrata odstupanja	Stupanj slobode	Procjena varijance S^2	Faktor F
A	0,02503	1	0,02503	0,62555
B	0,2045	1	0,2045	5,11084
AB	0,08224	1	0,08224	2,0553
C	1,01363	1	1,01363	25,333
AC	0,03424	1	0,03424	0,8557
BC	0,22952	1	0,22952	5,736
ABC	0,01554	1	0,01554	0,3884
D	0,25256	1	0,25256	6,312
AD	0,39974	1	0,39974	9,99
BD	0,0077	1	0,0077	0,1924
ABD	1,1508	1	1,1508	28,761
CD	0,80	1	0,80	19,994
ACD	0,3983	1	0,3983	9,9543
BCD	0,0772	1	0,0772	1,9294
ABCD	0,3885	1	0,3885	9,709
Unutar uzorka	12,163965	304	0,040013	
Ukupno	16,09995	319	0,05047	

A - pritisak prešanja
 B - hrapavost površine
 C - količina ljepila
 D - temperatura prešanja

Usporedbom izračunatih vrijednosti F s tabličnim F_0 za stupanj slobode brojnika $k_b = 15$ i nazivnika $k_n = 304$ uočavaju se kombinacije kod kojih je $F > F_0$. To ukazuje na postojanje signifikantnih utjecaja kod tih kombinacija.

Nivo signifikantnosti određen je izračunavanjem graničnih vrijednosti za prosječna kvadratna odstupanja prema /5/.

$$s^2_{0,05} = 3,875 \cdot 0,040013 = 0,1551$$

$$s^2_{0,01} = 6,73 \cdot 0,040013 = 0,2693$$

Na osnovu dobivenih vrijednosti proizlazi da signifikantan utjecaj na nivou 0,01 pokazuje količina ljepila, (c) interakcija pritiska i temperature prešanja (AD), interakcija pritiska hrapavosti i temperature (ABD), interakcija količine ljepila i temperature (CD) interakcija pritiska, količine ljepila i temperature (ACD) te interakcija pritiska, hrapavosti, količine ljepila i temperature (ABCD). Izračunavanjem koeficienta korelacije između protumačenog i ukupnog dijela sume kvadrata odstupanja prema /6/ odredili smo veličinu protumačenog dijela ukupnog utjecaja faktora kako slijedi:

$$r^2 = \frac{3,936}{16,1} = 0,245$$

$$r = 0,49$$

Prema tome ovim planom pokusa protumačeno je ukupno 49% utjecaja faktora i njihovih interakcija na čvrstoću smicanja nakon UK-28.

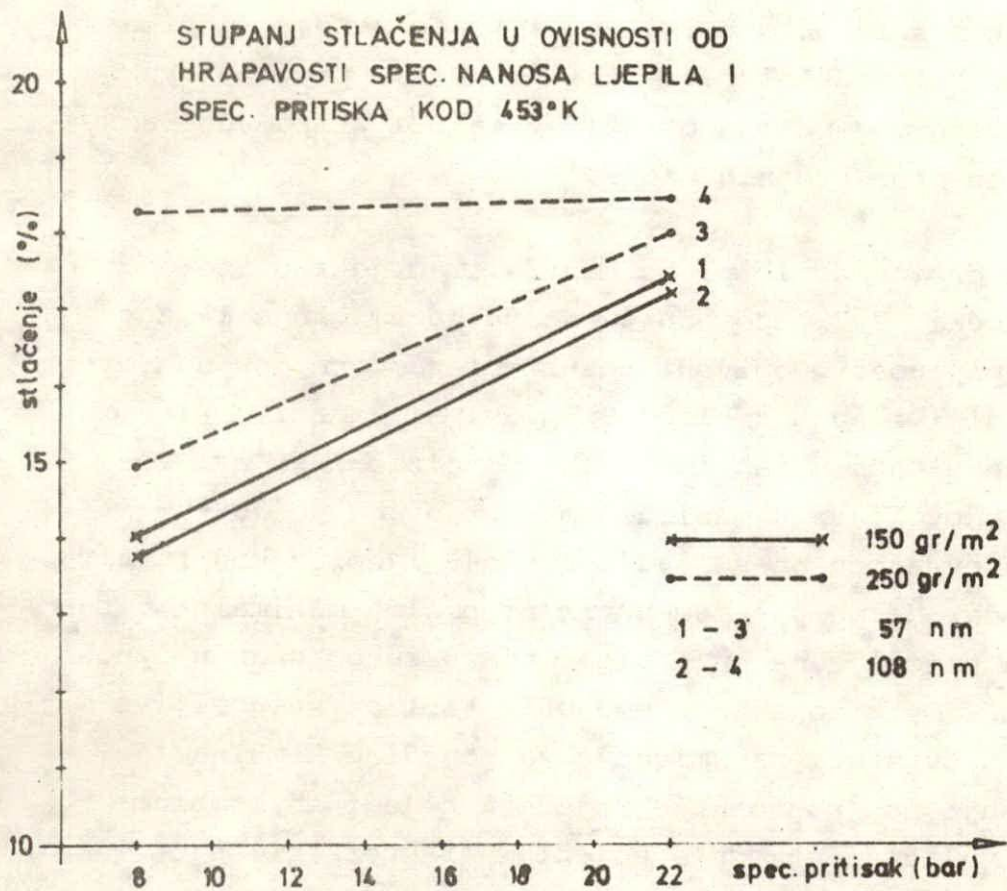
4.4. Analiza rezultata

Na osnovu rezultata prikazanih u točkama 4.1. - 4.3. proizlazi prije svega da se stupanj stlačenja odnosno uprešanosti, zavisno o kombinaciji utjecajnih faktora kreće u granicama od 12,5% do 18,5% (tablica 6). Veličina utjecaja pojedinih faktora na stupanj stlačenja vidljiva je na slikama 11 i 12. Relativno najmanji stupanj stlačenja na obadva temperaturna nivoa (413°K i 453°K) nastaje kod manjeg specifičnog nanosa ljepila (150 gr./m^2) i većeg stupnja hrapavosti (108 m). Kod većeg specifičnog nanosa ljepila međjutim uočava se na oba temperaturna nivoa veći stupanj stlačenja kod furnira veće hrapavosti (108 m). Temperatura u pravilu utječe takodjer na veće stlačenje kod obadva nivoa specifičnog nanosa, hrapavosti i spec. pritiska.

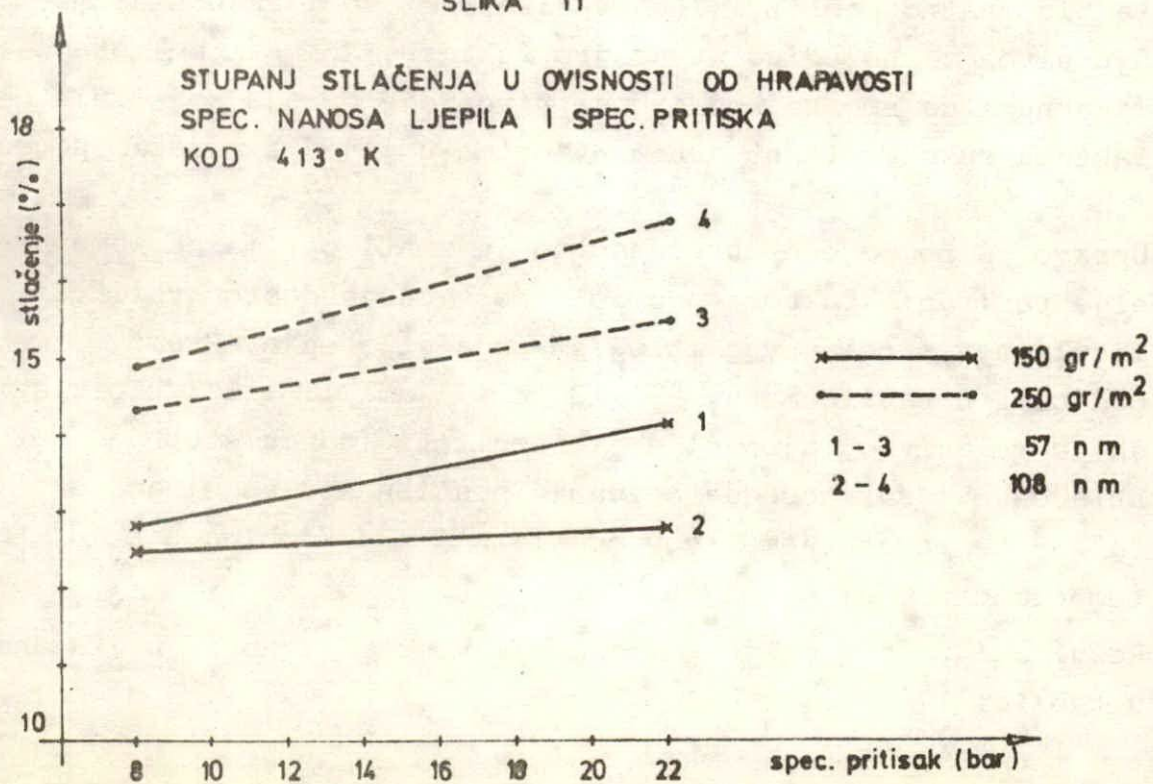
Interesantno je pritom da na gornjem temp. nivou dolazi gotovo do podjednakog stupnja stlačenja furnirske ploče kod donjeg i gornjeg nivoa spec. pritiska. (8 i 22 bara) višeg nanosa ljepila (250 gr./m^2) i veće hrapavosti (108 m). Očita je ovdje interakcija hrapavosti površine (B), količine ljepila (C) i temperature prešanja (D).

Veći stupanj stlačenja kod više temperature, većeg specifičnog nanosa i stupnja hrapavosti može se protumačiti većim stupnjem plastifikacije drva. Naime, s većom količinom ljepila unosi se i veća količina vode koja na oba temperaturna nivoa utječe na povećanje stlačenja, posebno kod veće hrapavosti. Viša temperatura na etažama uzrokuje u spomenutim uvjetima brži prelaz topline u paketu furnira (sl. 7. - 10), što ima za posljedicu veću plastifikaciju, a time i veći stupanj stlačenja,

Na osnovu podataka o stupnju stlačenja (tablica 6 i sl. 11 i 12) proizlazi da se najmanji stupanj stlačenja, ako pritisak raste od donjeg (8 bara) ka gornjem nivou



SLIKA 11

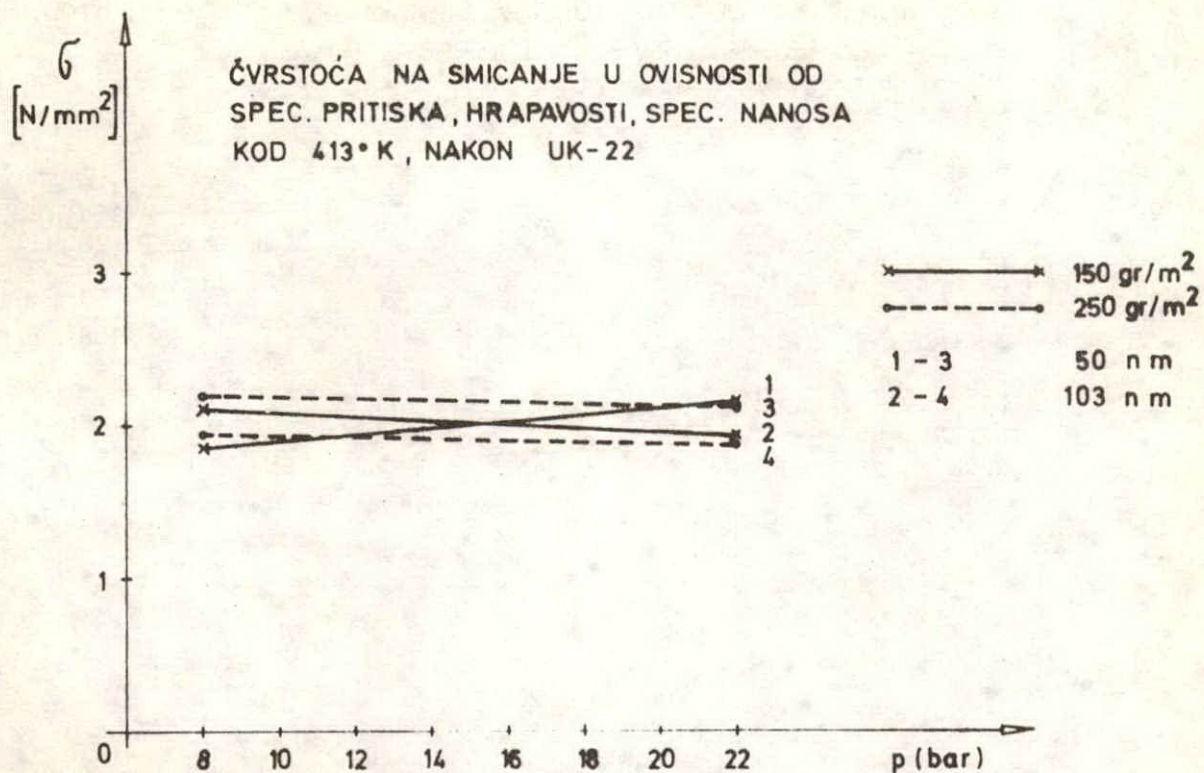


SLIKA 12

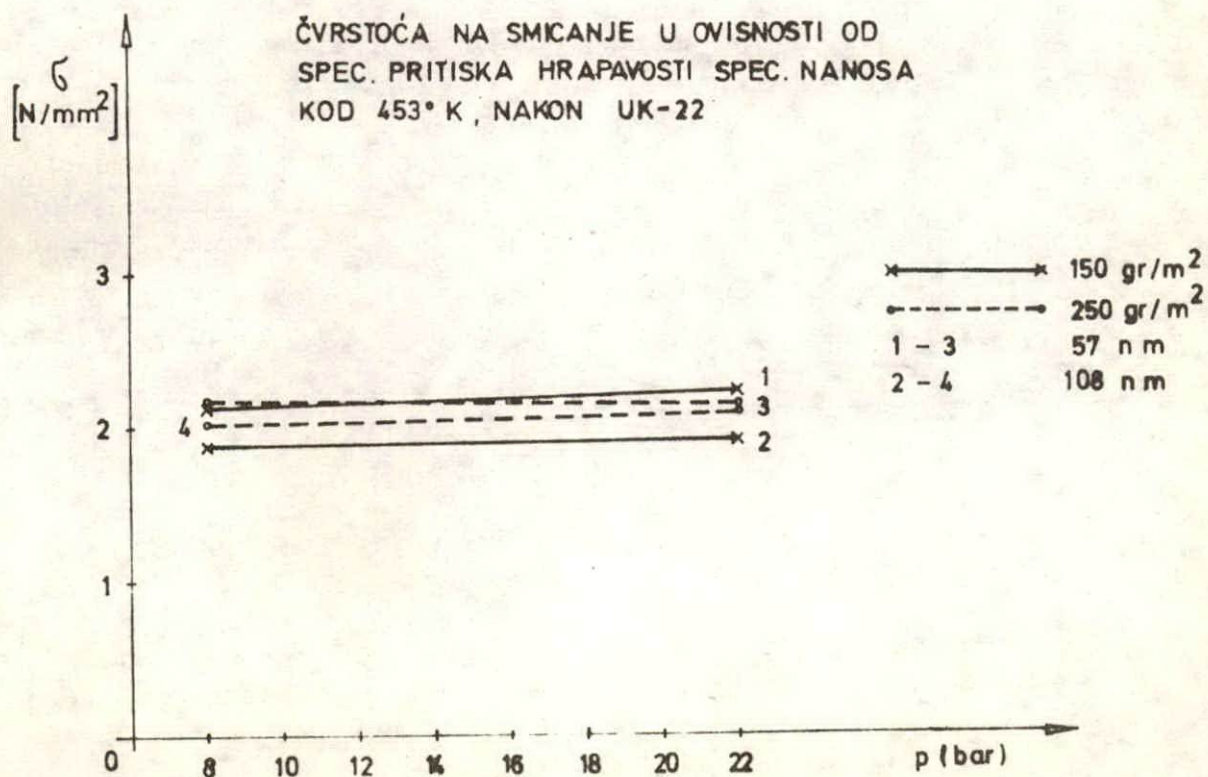
(22 bara), postiže kod nižeg specifičnog nanosa ljepila (150 gr/m^2) i veće hrpavosti (108 m). Međutim, ovu konstataciju moramo razmotriti uzimajući pritom u obzir i kvalitet proizvedenih ploča.

Kvalitet proizvedenih ploča kontroliran je kao što znamo (točka 2.2.) pomoću čvrstoće na smicanje i stupnja sljepljenosti. Dobiveni rezultati za čvrstoću na smicanje vidljivi su u tablici 9 i 13 i slikama 13 - 16. Na osnovu rezultata u tablici 9 i 13 proizlazi da svi rezultati udovoljavaju minimalnim zahtjevima po JUS-u i DIN-u za čvrstoću na smicanje u sloju ljepila kod furnirskih ploča. Naime po spomenutim propisima minimalna čvrstoća na smicanje nakon ispitivanja u suhom stanju iznosi $1,2 \text{ N/mm}^2$. Osim toga iz spomenutih tablica su uočljive razlike u čvrstoći na smicanje za pojedine kombinacije što ukazuje na postojanje utjecaja pojedinih kombinacija. O veličini utjecaja pojedinih faktora bilo je više rečeno u točki 4.3. Vjerojatno bi utjecaj pojedinih faktora bio znatno uočljiviji da su izabrani veći rasponi između nivoa za pojedine utjecajne faktore. No, pritom moramo istaknuti da smo se kod izbora nivoa djelovanja pojedinih faktora rukovodili stvarnim uvjetima u pojedinim našim pogonima.

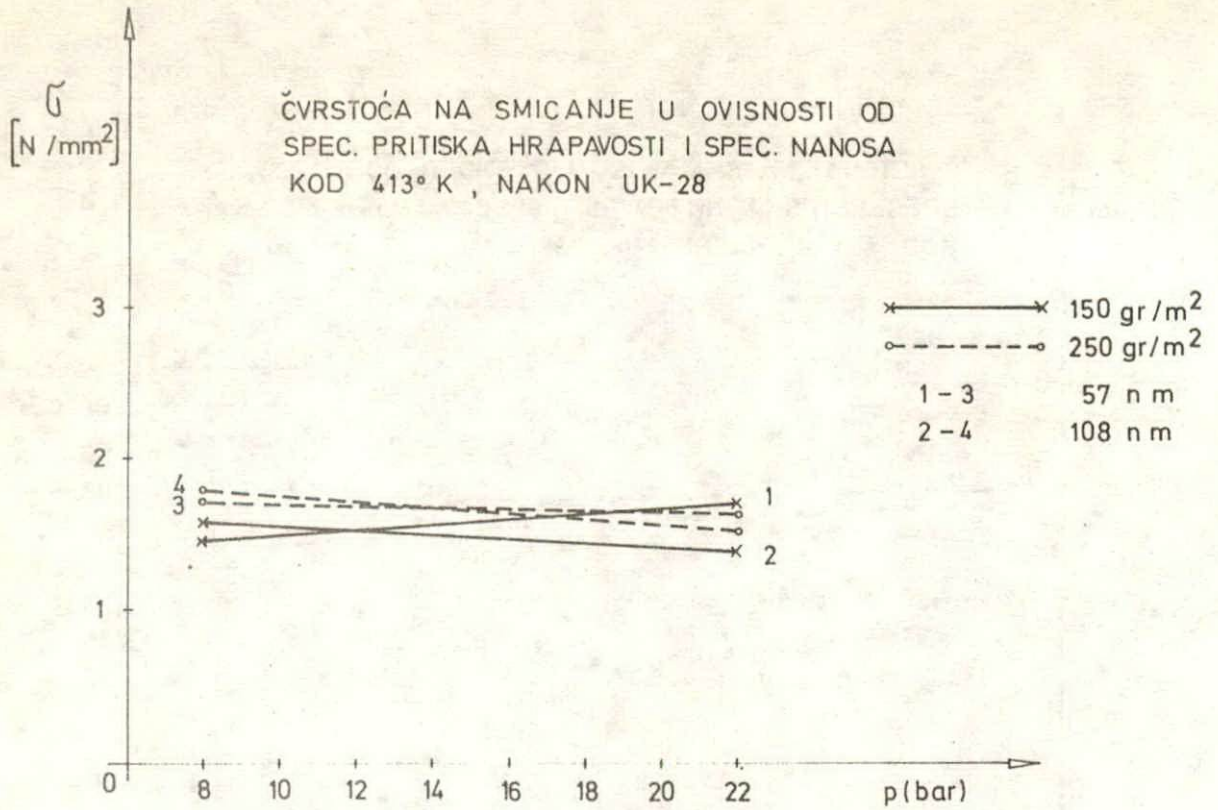
Upravo za te pogone interesantno je znati optimalne kombinacije variranih faktora u smislu postizanja dobre kvalitete ljepljenja i relativno malog stupnja stlačenja. Prema podacima u tablicama 6, 9 i 13 te slikama 11 - 16, proizlazi da se relativno najpovoljniji rezultati (odnos stupnja stlačenja i čvrstoće na smicanje postižu kod kombinacije "a" na temperaturnom nivou od 413°K i kod kombinacije "d" na temperaturnom nivou od 453°K . (oznaka 1 na sl. 11 - 16). Rezultati za ove dvije kombinacije komparativno su prikazane u tablici 17.



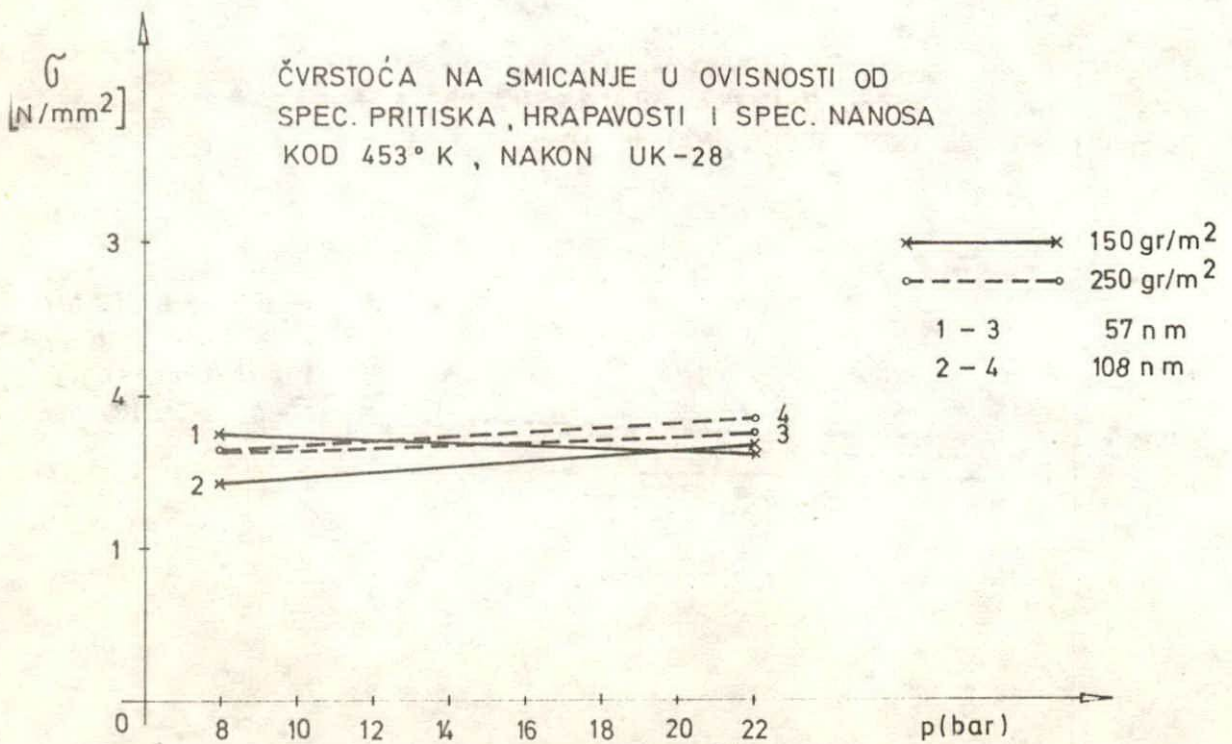
SLIKA 13



SLIKA 14



SLIKA 15



SLIKA 16

Tabela 17.

Kombinacija	Spec. prit.	stupanj hrpa- vosti	spec. nanos	temp.	stupanj stlač.	čvrstoća na smic.
	bar	μm	gr/m^2	$^{\circ}\text{K}$	%	N/mm^2
a	22	57	150	413	14,2	2,16
d	8	57	150	453	14,1	2,14

Prikazani rezultati predstavljaju po našoj ocjeni za stupanj stlačenja i čvrstoću na smicanje, približno optimalne vrijednosti u uvjetima rada definiranim primjenjenim planom pokusa. Kada kažemo približno mislimo pritom na postojanje i drugih utjecajnih tehnoloških faktora, i na potrebu da se najutjecajnije faktori variraju na više od dva nivoa, kako bi se pronašli optimalni nivoi djelovanja upravo za te faktore.

5.0. ZAKLJUČAK

Na osnovu provedenog ispitivanja proizlazi da varirani tehnološki faktori značajno utječu na stupanj stlačenja i čvrstoću na smicanje u sloju ljepila. Iz protumačenog dijela utjecaja svih faktora (r) vidljivo je međutim da postoje još neki utjecajni faktori čiji utjecaj nije obuhvaćen ovim planom pokusa.

Zahvaljujući planiranju pokusa na znanstvenim osnovama moguće je i kod relativnog malog raspona između nivoa utjecajnih faktora utvrditi signifikantnost utjecaja pojedinog faktora.

Imajući u vidu upravo te mogućnosti i stalnu potrebu racionalizacije rada i povećanja produktivnosti u proizvodnji furnirskih ploča mišljenja smo da bi bilo od praktičnog interesa da se ova problematika u jednom od budućih radova detaljnije istraži.

POPIS LITERATURE

1. BATIN, N.A., i dr.: Mehaničeskaja tehnologija drevesnji, Vnjipusk 4 "Vnjišečšaja škola", Minsk 1974.
2. Čorlukić, F.: Mjerenje temperature u industriji "Tehnička knjiga", Zagreb 1966.
3. Čaušević, A.: Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb 1980.
4. Katović, Z.,
Čić, Dj.,
Petrović, S.: Neka zapažanja o sintetskim ljepilima na bazi fenolnih smola u proizvodnji vodootpornih šperploča 22 (1971), 3 - 4, S 58-65.
5. Ljuljka, B.: Utjecaj strukture neravnosti drva i laka na glatkoću površine "Drvna industrija" 17 (1966), 11 - 12.
6. Pantelić, I.: Uvod u teoriju inženjerskog eksperimenta (Univerzitet Novi sad, 1976)
7. Pavlić, I.: Statistička teorija i primjena, Tehnička knjiga, Zagreb, 1976.

8. Petrović, S.: Magistarski rad
Fakultet strojarstva i bro-
dogradnje Zagreb, 1973. g.
9. Sevastjanov, K.F.: Intenzifikacija procesa
skeivania fanernji
"Lesnaja promišlenost"
Moskva 1976.
10. Snedecor, W.G.
Cochran, W.G.: Statički metodi
"Vuk Karadžić", Beograd
1971.

* * *