

Primjena statističkih metoda kod ispitivanja ljepila

(ISPITIVANJE ČVRSTOĆE LIJEPLJENJA PVA-c-LJEPILA)

Sažetak

Upotreba ljepila u industriji svakodnevno se povećava, te postavljeni zahtjevi za boljom kvalitetom, uz što povoljniju cijenu i sa što je moguće jednostavnijom primjenom, traže brzo i pouzdano ispitivanje. Ispitivanje fizičko-mehaničkih svojstava bez primjene statističkih metoda u praksi je također moguće, ali nije statistički pouzdano.

U članku su navedeni podaci dobiveni ispitivanjem uzoraka uzetih iz dnevne prakse, koji su obrađeni pomoću t i F testa i drugih statističkih metoda. Kako se iz priloženih primjera vidi, kvalitetna i pouzdana ispitivanja moguća su tek uvođenjem i primjenom statističkih metoda.

KLJUČNE RIJEČI: ispitivanje čvrstoće lijepljenja — PVA-c ljepila — statističke metode pri ispitivanju.

APPLICATION OF STATISTICAL METHODS IN GLUE TESTING (Glutinosity Strength Testing with PVAc — Glue)

Summary

The use of glue in industry has been increasing lately so the demands for a better quality (at a reasonable price) and as simple application as possible require quick and positive testing.

Physical — mechanical properties testing without application of statistical methods is in practice also possible but not statistically reliable.

The data acquired by pattern testing taken from everyday use and treated by means of t and F tests and by means of other statistical methods are presented in the article. As can be seen from enclosed examples good and positive testing is only possible by introducing and applying statistical methods.

1.0. UVOD

U posljednjih 15 — 20 godina, primjena statističkih metoda u industriji zauzela je prilično maha, kao na primjer kod obrade podataka uzoraka, ocjenjivanja rezultata mjerenja serije ili tekuće kontrole proizvodnje. U daljnjem razvoju iskristalizirao se pojam »Tehnička statistika«. Pod tim pojmom sažete su sve statističke metode koje su u tehnici upotrebljive.

Ove metode možemo podijeliti u dvije grupe:

1. *Statističke metode ispitivanja veza, odnosno čvrstoće, stohastičke zavisnosti između promatranih veličina* (npr. utjecaj raznih faktora na prekidnu čvrstoću materijala; ovisnost čvrstoće jednog materijala o uvjetima ispitivanja; uspoređivanje kvalitete dvaju materijala itd.).

* Dipl. ing. Klausu Bauckeu zahvaljujem na pomoći kod statističke obrade podataka.

* Ing. (Grad.) Aloisu Steineru zahvaljujem na pojedinim prijedlozima.

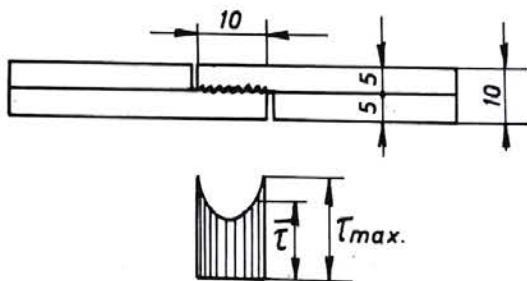
2. *Statistička kontrola kvalitete ulaza i izlaza materijala, kontrola proizvodnog procesa i promatranja istog.*

Za kvalitetu slijepljenog spoja odlučujuća je čvrstoća vezanja ljepila. Ona se može procijeniti iz izgleda spoja nakon kidanja, te izračunavanjem na osnovi izmjerenih podataka. Tehnika ispitivanja uzoraka sastoji se u tome da se na uzorku, pomoću stroja za ispitivanje čvrstoće, izazove naprezanje u slijepljenom spoju, sve do loma. Kvo-cijent sile loma i prekidne površine (površine smicanja) daje čvrstoću vezanja, odnosno izmjerenu čvrstoću slijepljenog spoja.

U ovom su radu ispitivanja čvrstoće na smicanje vršena na uzorcima prema DIN 53254. Ona ne ovisi samo o čvrstoći ljepila već i o vrsti drva od kojeg je uzorak izrađen. S povećanjem volumne težine drva povećava se i apsolutna čvrstoća lijepljenja, dok relativna čvrstoća lijepljenja opada.

Ovisno o udjelu zone ranog i kasnog drva, o volumnoj težini i konstrukciji spoja, čvrstoća

će biti manja ili veća. Prema DIN 53254, spomenuti uzorci izrađeni su na principu preklopnog spoja, te su naprezanja na smicanje parabolno raspoređena. (Slika 1)



Slika 1.

Na krajevima ureza nastaju najveća naprezanja, i ona su to veća što je veća dužina površine lijepljenja uzorka. Radi ilustracije uzmimo dužinu preklopa 1 cm (DIN 53254) i 2 cm, uz istu širinu preklopa od 2 cm. Ispitamo li uzorke na stroju za kidanje, dobit ćemo veće vrijednosti čvrstoće kod uzoraka dužine preklopa 1 cm. Ako je sloj ljepila elastičniji (popustljiviji) od drva, moguće je da se ne stvaraju velika naprezanja na krajevima ureza. U tom slučaju srednja čvrstoća lijepljenja na smicanje znatno prekoračuje čvrstoću drva, što je slučaj kod jako elastičnih ljepila. Čvrstoća vezanja ljepila i osjetljivost prema klimatskim djelovanjima (vode i vodene pare) može se kod ljepila za drvo ispitati i ocijeniti samo na lijepljenim uzorcima. Izmjerene ili procijenjene vrijednosti više su ili manje promjenljive stohastičke (slučajne) veličine, ocjenjivanje kojih bez statističkih metoda nije moguće.

Usporedba između različitih ljepila ili između različitih receptura nije moguća samo mehaničkim načinom ispitivanja (dlijetom). Stolar koji želi ocijeniti ljepilo utiskuje u sloj ljepila dlijeto i njime razdvaja spoj. On će ljepilo prihvatiti samo onda ako je ljepilo čvršće od drva, što znači da lom nastaje u sloju drva. Kod tehničkog se ispitivanja ovakva ocjenjivanja ne mogu prihvatiti. Budući da je mehanička adhezija jedan od odlučujućih faktora, ispitivanje ljepila moguće je samo na slijepljenim uzorcima. Time se ujedno povećava utjecaj drva na rezultate mjerenja, što se mora uzeti u obzir kod ispitivanja ljepila.

Kod ispitivanja čvrstoće na smicanje slijepljenog spoja, površina lijepljenja je nakon razdvajanja obično pokrivena sitnim drvnim vlakancima. Forma i veličina istrgnutih vlakanaca ovisi o vrsti drva. Što je drvo lakše i poroznije, to su vlakanca veća i deblja. Kod tvrdih vrsta s velikom volumnom težinom, ostaje na razdjelnoj površini samo tanki sloj vlakanaca. Kada lom nastaje direktno u ljepilu (kohezija), razdjelna površina nije pokrivena vlakancima. U tom slučaju ne postoji direktan utjecaj drva na čvrstoću spoja, kako je bilo gore navedeno kod

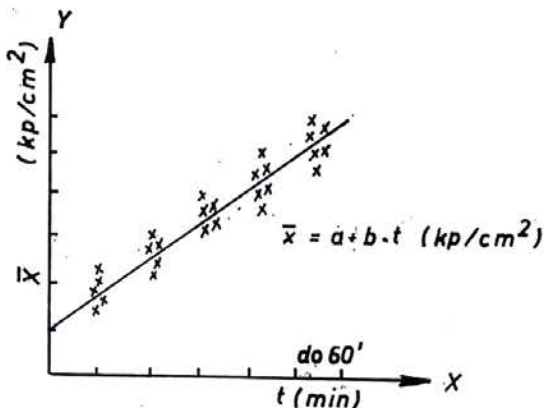
mehaničke adhezije. Kod lijepljenja uzoraka, treba opratiti pažnju na smjer i položaj godova, ležeći — stojeći. (sl.2)



Slika 2

Treba nastojati da struktura drva kod oba dijela uzorka bude što izjednačenija. Lijepljenjem uzoraka s različitim fizičko-mehaničkim svojstvima, kao npr. nejednako svojstvo upijanja, dobivaju se nehomogeni skupovi. U praksi ispitivanja ljepila postoji jedno daljnje statističko pitanje, kada se dvije različite srednje vrijednosti moraju usporediti. Na primjer, treba se odlučiti da li će, uz promjenu ljepila ili uz promjenu recepture, nastupiti neko poboljšanje. Drugim riječima, želimo znati da je razlika između dvije aritmetičke sredine statistički značajna (signifikantna), ili je možda ta razlika samo slučajna. Za ovakva ispitivanja stoje nam na raspolaganju takozvani F , i t — test, što će u primjerima biti prikazano.

Za praksu nije toliko važna krajnja čvrstoća lijepljenja, već brzina vezanja. Ljepila za drvo, već nakon kraćeg vremena, dostižu određenu čvrstoću na smicanje dovoljnu za daljnju obradu elemenata, iako je čvrstoća ljepila na vlak još malena. Ako nakon određenog vremena t nanesemo izračunate srednje vrijednosti čvrstoće na smicanje \bar{x} na os y , a na os x vrijeme vezivanja, dobit ćemo dijagram brzine vezanja ljepila.



Slika 3

Na dijagramu brzine prikazan je odnos između čvrstoće na smicanje i vremena vezanja. Koeficijent b je tada brzina vezanja (što je b veći, pravac je strmiji, tj. u kraćim vremenskim intervalima dolazi do većeg porasta čvrstoće, dakle do bržeg vezanja). Ako usporedimo dva koeficijenta regresije i ustanovimo (t — test) da između njih postoji statistički značajna razlika,

tada s određenom statističkom sigurnošću možemo utvrditi da jedno ljepilo veže brže od drugog. Potrebna statistička obrada može se izvršiti kako slijedi:

1. Aritmetička sredina \bar{x} iz N mjerenja:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad i=1,2,3,\dots,N$$

2. Procjena standardne devijacije:

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad s = \sqrt{S^2}$$

3. Interval u kojem se nalazi »prava« aritmetička sredina:

$$GP = \bar{x} \pm p$$

$$p = \pm t \cdot \frac{s}{\sqrt{N}}$$

t = faktor ovisan o broju N i pouzdanosti procjene

4. 50% Fraktilen:

$$\bar{x}_s = \bar{x} - t' \cdot s$$

U novije vrijeme, za izračunavanje dopuštene čvrstoće materijala sve se više upotrebljava formula:

$$G_{doz.} = \frac{1}{n} (\bar{x} - t' \cdot s)$$

n = faktor sigurnosti materijala

x = aritmetička sredina

t' = statistički faktor sigurnosti — vrijednost t vanijance za koju je p (t < t') = 0,05

s = standardna devijacija

5. Ispitivanje razlika aritmetičkih sredina pomoću t testa:

$$\hat{t} = \sqrt{\frac{N}{2}} \cdot \frac{|\Delta \bar{x}|}{S_2} \quad S_2^2 = \frac{1}{2} (S_1^2 + S_2^2) \quad S_1^2 = \frac{N}{2} \Delta \bar{x}^2 = \frac{N}{2} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)^2$$

$$\Delta \bar{x} = \bar{x}_1 - \bar{x}_2$$

6. Ispitivanje razlika (jednakosti) više aritmetičkih sredina pomoću F — testa:

$$\hat{F} = \frac{\frac{1}{k-1} [B-k]}{\frac{1}{n-k} [A-B]} \quad A = \sum_{ij} x_{ij}^2 \quad x_{ij} = \sum_j x_{ij} \quad B = \sum_i \frac{x_i^2}{n_i}$$

$$k = \frac{(\sum_i x_i)^2}{n} = \frac{x_{..}^2}{n}$$

n = ukupan broj promatranih uzoraka iz k grupe probnih uzoraka

7. Ispitivanje razlika (jednakosti) više aritmetičkih sredina pomoću H — testa (Kruskal i Wallis):

$$\hat{H} = \left[\frac{12}{n(n+1)} \right] \cdot \left[\sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} \right] - 3(n+1)$$

$$\text{kontrola } R_i \quad \sum_{i=1}^k R_i = n(n+1)/2$$

8. Pravac regresije:

$$\bar{x} = a + b \cdot t \quad [kp/cm^2]$$

označimo li x = t, možemo pisati

$$b = S_{xy} / S_{xx}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$r^2 = S_{xy}^2 / (S_{xx} S_{yy})$$

$$S_{xx} = \sum (x_i - \bar{x})^2$$

$$S_{yy} = \sum (y_i - \bar{y})^2$$

$$S_{xy} = \sum x_i y_i - \bar{y} \sum x_i$$

2.0 REZULTATI ISPITIVANJA

- 2.1 Razlika između aritmetičkih sredina zavisnih pokusnih uzoraka (tabela 1)

Ako želimo međusobno usporediti različita ljepila (ili recepture), kod istih uvjeta lijepljenja, i ustanoviti da li postoji značajna razlika između dva ljepila, upotrijebit ćemo t — test.

Ako je izračunati t*1 veći od t iz odgovarajućih tabela, razlike srednjih vrijednosti su statistički značajne. Kako je u tabeli 1 prikazano, između ljepila A i B, u grupama opterećenja B1 i B3₁ ne postoji značajna razlika, tj. obje srednje vrijednosti potječu iz istog skupa. »Prave« aritmetičke sredine mogu se očekivati s 95% vjerojatnosti u intervalu 20,34 — 24,30 [kp/cm²] (kod ljepila A) te u intervalu 22,88 — 25,76 [kp/cm²] (kod ljepila B) za grupu B3₁. Gornja dva ljepila odgovaraju grupi opterećenja prema DIN 68602, a služe za lijepljenje konstrukcija za vanjsku upotrebu kao što su npr. vanjska vrata i prozori, te opločenja.

B1 — čvrstoća vezanja ljepila ispitana u suhom stanju (prema DIN-u minimum 100 kp/cm²)

B3₁ — čvrstoća vezanja ljepila ispitana u mokrom stanju (4 dana močenje, minimum 20 kp/cm²)

B3₂ — čvrstoća vezanja ljepila ispitana u suhom stanju nakon močenja od 4 dana, te sušenja od 7 dana (minimum 60 kp/cm²)

¹ Budući da nismo mogli otisnuti znak \wedge iznad slova (osim u kliširanim formulama), u zamjenu za taj znak na više mjesta smo u članku upotrijebili znak * kraj slova. Uredništvo

Tabela 1 — Razlika između aritmetičkih sredina zavisnih pokusnih uzoraka

Grupe opterećenja		B 1		B 3 ₁		B 3 ₂	
		Ljepilo A	Ljepilo B	Ljepilo A	Ljepilo B	Ljepilo A	Ljepilo B
\bar{x}	kp/cm ²	111,86	116,71	22,32	24,32	138,79	122,57
s	kp/cm ²	27,23	16,49	4,1	2,98	14,81	17,51
N	Kom.	14	14	19	19	14	14
p	kp/cm ²	± 15,72	± 9,52	± 1,98	± 1,44	± 8,55	± 10,11
\bar{x}_s	kp/cm ²	63,64	87,51	15,21	19,15	112,56	91,56
Istrgnuta vlakanca	%	100	100	0	0	84	100
t*		0,57		1,72		2,65	
t (v;0,05)		2,08		2,03		2,06	

Budući da je $t^* = 0,57 < 2,08 = t_{(21;0,05)}$, možemo stvoriti zaključak da obadvije aritmetičke sredine potječu iz iste cjeline. Razlika aritm. sredina nije značajna na nivou od 5%.

Budući da je $t^* = 1,72 < 2,03 = t_{(33;0,05)}$ obadvije srednje aritm. vrijednosti potječu iz iste cjeline.

Budući da je $t^* = 2,65 > 2,06 = t_{(25;0,05)}$, razlike srednjih aritmetičkih vrijednosti su na nivou od 5%.

Tabela 2. — Usporedba više aritmetičkih sredina zavisnih pokusnih uzoraka kod ispitivanja vodootpornog ljeplja C na vruće

Grupe opterećenja		Ljepilo C (B 1)		Ljepilo C (B 4 ₁)					Ljepilo C (B 4 ₂)	
		1	2	1	2	3	4	5	1	2
\bar{x}	kp/cm ²	125,6	114,5	43,20	43,80	45,80	42,50	41,40	128,26	107,80
s	kp/cm ²	11,29	14,93	3,71	4,54	3,43	6,45	4,86	18,04	17,07
N	Kom.	10	10	10	10	10	10	10	19	15
p	kp/cm ²	± 8,08	± 10,68	± 2,66	± 3,25	± 2,46	± 4,62	± 3,46	± 8,7	± 9,45
\bar{x}_s	kp/cm ²	104,91	87,13	36,40	35,48	39,51	30,68	32,49	96,98	77,74
t*		1,88							3,38	
(;0,05)		2,11		9,49 = $\chi^2_{(4;0,05)}$					2,04	

Budući da je $t^* = 1,88 < 2,11 = t_{(17;0,05)}$ obadvije srednje aritmetičke vrijednosti potječu iz iste cjeline. Razlika nije statistički značajna na nivou od 5%.

Budući da je $F^* = 1,21 < 2,6 = F_{(4;5;0,05)}$ svih pet srednjih aritm. vrijednosti potječu iz iste cjeline. Do istog zaključka dolazimo pomoću H-testa. $H^* = 4,87 < 9,49 = \chi^2_{(4;0,05)}$

Budući da je $t^* = 2,04 > 2,04 = t_{(33;0,05)}$, razlike srednje aritm. vrijednosti su na nivou od 5%. Kritični nivo je manji od 1%.

Tabela 3. — Usporedba više aritmetičkih sredina zavisnih pokusnih uzoraka kod ispitivanja ljeplja D, E, F, otpornih na vruću vodu.

Grupe opterećenja		B 1		B 4 ₁			B 4 ₂			
		Ljep. D	Ljep. E	Ljep. F	Ljep. D	Ljep. E	Ljep. F	Ljep. D	Ljep. E	Ljep. F
\bar{x}	kp/cm ²	187,40	136,7	145,6	64,73	46,47	50,53	146,2	129,8	132,6
s	kp/cm ²	12,15	7,65	16,47	15,8	4,6	3,42	13,48	20,76	10,82
N	Kom.	10	10	10	15	15	15	15	15	15
p	kp/cm ²	± 8,69	± 5,7	± 11,79	± 8,75	± 2,55	± 1,89	± 7,47	± 11,50	± 5,99
\bar{x}_s	kp/cm ²	165,13	122,68	115,41	36,91	38,37	44,51	121,46	93,24	113,55
Istr. vlakanca	%	100	100	100	0	0	0	95	95	100
		F* = 46,07			H* = 12,92			H* = 8,2		
		F (2;27,0,01) = 5,49			$\chi^2 = 5,99_{(2;0,05)}$			$\chi^2 = 5,99_{(2;0,05)}$		

Budući da je $F^* = 46,07 < 5,49$, razlike srednjih aritmetičkih vrijednosti su na nivou od 1%.

Budući da je $H^* = 12,92 > 5,99$, razlike srednjih aritmetičkih vrijednosti su na nivou od 5%.

Budući da je $H^* = 8,2 > 5,99$, razlike srednjih aritm. vrijedn. su na nivou od 5%.

2.2 Usporedba više aritmetičkih sredina zavisnih pokusnih uzoraka kod ispitivanja vodootpornog ljepila C na vruće pomoću F-testa (Tabela 2)

Grupa opterećenja B4 prema DIN 68602 i 68603 E.
 B₄₁ = čvrstoća lijepljenja uzoraka nakon 6 sati kuhanja u vodi pri temperaturi 100° C, te močenja u vodi najmanje 2 sata kod 20° C. (minimum 40 kp/cm²)

B₄₂ = čvrstoća lijepljenja uzoraka u suhom stanju. Isti režim kao kod B₄₁, te 7 dana sušenja (minimum 80 kp/cm²)

Ovdje se radi o dvikomponentnom ljeplju, gdje je komponenta A na bazi PVAc, a komponenta B otvrdivač. Pokusni uzorci napravljeni su prema DIN-u 53254 i sušeni 7 dana pri normalnoj klimi 20° C i 65% vlage, te nakon toga ispitani na čvrstoću smicanja. Kako je iz tabele 2 vidljivo, kod grupe opterećenja B₄₁ (ljepilo C), svih pet srednjih vrijednosti potječu iz istog skupa, što znači da ne postoji značajna razlika između pojedinih pokusnih grupa. Isti argumenti vrijede za grupu B1. Do istih zaključaka dolazimo pomoću modificiranog F-testa, te pomoću H-testa.

\bar{x}	43,20	43,80	45,80	42,50	41,40
s	3,71	4,54	3,45	6,45	4,86

$$S_1^2 = \frac{1}{K-1} \sum_{j=1}^k (\bar{x}_j - \bar{x})^2 \quad j=1,2,\dots,K$$

$$S_2^2 = \frac{1}{K} (s_1^2 + s_2^2 + \dots + s_k^2)$$

$$S_1^2 = \frac{10}{4} \cdot 10,75 = 26,88 \quad S_1^2 = S_{2w}^2$$

$$S_2^2 = \frac{1}{5} \cdot 111,35 = 22,27 \quad S_2^2 = S_{in}^2$$

Ako mjerne vrijednosti (N) potječu iz jednog homogenog skupa, moraju vrijednosti s₁², s₂² i s² biti podjednake.

Ako je s₁² značajno veći od s₂², tada je skup nehomogen.

Mjera nehomogenosti je kvocijent varijanci

$$\alpha = s_1^2/s_2^2$$

$$\alpha = \frac{26,88}{22,27} = 1,21$$

$$n_1 = (k - 1) = 4$$

$$n_2 = (N - K) = 45$$

Budući da je 1,21 < 2,6 = F_(4;45;0,05), svih pet aritmetičkih sredina potječu iz istog homogenog skupa.

Do istog zaključka dolazimo pomoću H-testa, H* = 4,87 < 9,49 = χ²_(4;0,05).

U grupi B₄₁ — prema Cochranu G*_{max.} = 0,37 < 0,4241_(5;9;0,05) te Bartlettu χ^{2*} = 4,98 < 9,49 χ^{2*}_(4;0,05) ne postoji značajna razlika varijanci na nivou od 5%, te se može upotrijebiti F-test za testiranje sredina.

2.3 Usporedba više aritmetičkih sredina zavisnih pokusnih uzoraka pomoću H i F-testa (Tabela 3)

Kako se vidi iz tabele 3, između aritmetičkih sredina ljepila D, E, F postoji značajna razlika. Budući da je F* > od F kod grupe B1, te H* > od χ² kod grupe B₄₁ i B₄₂ postoje značajne razlike na nivou od 5%.

2.4 Usporedba dvije zavisne metode (Tabela 4)

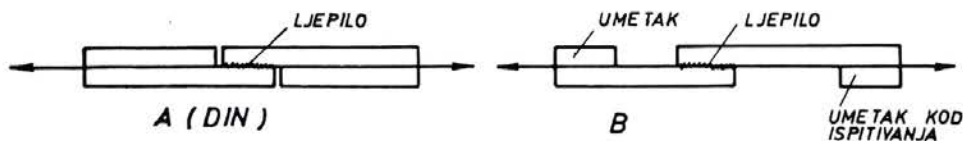
Pomoću t — testa ispitane su dvije metode pripreme uzoraka: metoda A, gdje su pokusni uzorci napravljeni prema DIN-u 53254, i metoda B, gdje su uzorci napravljeni iz jednostavnih preklopnih pojedinačnih uzoraka. Uzorci po DIN-u izrađeni su iz dviju zalijepljenih ploča, dok su uzorci metode B napravljeni iz malih jednostavnih preklopnih uzoraka (sl. 4).

Kako je u tabeli 4 prikazano, kod sve tri grupe B1, B₄₁, B₂ srednje vrijednosti potječu iz iste skupine, što dovodi do zaključka da su za praksu uzorci iz metode B upotrebljivi. Ako uzmemo u obzir da su uzorci metode B mnogo jednostavniji za izradu od uzoraka metode A, to su za praksu pogodniji uzorci metode B.

2.5 Usporedba dviju zavisnih pokusnih grupa (dva PVAc ljepila) nakon 1 godine izlaganja sobnoj temperaturi (Tabela 5)

Iz tabele 5 proizlazi da kod grupe B1 i B₃₂ ne postoji značajna razlika između ljepila I (s otvrdivačem) i ljepila H (bez otvrdivača), budući da je F* = 0,0879 < 3,35 F (kod B1) i F* = 1,807 < 3,35 = F (kod B₃₂).

U grupi B1 — prema Cochranu G*_{max.} = 0,57 < od 0,6167_(3;9;0,05), te Bartlettu χ^{2*} = 4,74 < 5,99 χ²_(2;0,05), kao i u grupi B₃₂ — prema Cochranu G*_{max.} = 0,47 < 0,6167_(3;9;0,05), te Bartlettu χ^{2*} = 1,18 < 5,99 χ²_(2;0,05), ne postoji značajna razlika varijanci na nivou od 5%, te se može upotrijebiti F-test za testiranje sredine.



Sl. 4.

LJEPILO G

Tabela 4. — Usporedba dvije zavisne metode

DIN = Pokusni uzorci prema DIN-u 53254
E = Jednostavno preklonni pokusni uzorci

Grupe opterećenja		B 1		B 4 ₁		B 4 ₂	
		A (DIN)	B	A (DIN)	B	A (DIN)	B
\bar{x}	kp/cm ²	124,34	132,20	46,28	45,40	121,44	130,50
s	kp/cm ²	12,79	18,11	2,78	3,30	10,92	22,24
N	Kom.	15	15	20	20	15	15
\underline{p}	kp/cm ²	± 7,09	± 10,04	± 1,30	± 1,55	± 6,05	± 12,33
\bar{x}_s	kp/cm ²	101,82	100,31	41,47	39,69	102,21	91,34
Istrgnuta vlakanca	%	100	90	0	0	80	70
t*		1,37		0,91		1,42	
t (v; 0,05)		2,06		2,03		2,086	

Budući da je $t^* = 1,37 < 2,06 = t_{(25; 0,05)}$, možemo stvoriti zaključak da aritmetičke sredine potječu iz iste cjeline. Razlika aritm. sredina nije značajna (signifikantna) na nivou od 5%.

Budući da je $t^* = 0,91 < 2,03 = t_{(37; 0,05)}$, obadviije srednje aritm. vrijednosti potječu iz iste cjeline.

Budući da je $t^* = 1,42 < 2,0863 = t_{(20; 0,05)}$, obadviije srednje aritm. vrijednosti potječu iz iste cjeline.

Tabela 5. — Usporedba dviju zavisnih pokusnih grupa, nakon 1 godine izlaganja sobnoj temperaturi

Grupe opterećenja		B 1			B 3 ₁		B 3 ₂		
		H bez otvrd.	I s otvrd.	I s otvrd.	Ljep. H	Ljep. I	Ljep. H	Ljep. I	Ljep. I
\bar{x}	kp/cm ²	138,5	128,5	137,5	34,0	60,58	101,0	109,6	107,9
s	kp/cm ²	11,56	17,65	24,3	5,03	10,09	8,68	12,66	10,43
N	Kom.	10	10	10	12	12	10	10	10
\underline{p}	kp/cm ²	± 8,27	± 12,63	± 17,38	± 3,2	± 6,41	± 6,21	± 9,06	± 7,46
\bar{x}_s	kp/cm ²	117,3	96,15	92,96	24,97	42,46	85,09	86,39	88,78
Istrgnuta vlakanca	%	100	100	100	0	0	100	100	100
t*					8,17				
t (v; 0,05)					2,12 (16; 0,05)				
F*		0,879					1,807		
F (k-1; n-k; α)	F (2; 27, 0,05) = 3,25						F (2; 27, 0,05) = 3,35		

Budući da je $F^* = 0,879 < 3,35$, možemo stvoriti zaključak da aritmetičke sredine potječu iz iste cjeline. Razlika aritm. sredina nije značajna na nivou od 5%.

Budući da je $t^* = 8,17 > 2,12 (16; 0,05)$, razlika sred. aritm. vrijednosti značajna je na nivou od 5%. Kritični nivo je manji od 0,1%.

Budući da je $F^* = 1,807 < 3,35$, sve tri srednje aritmetičke vrijednosti potječu iz iste cjeline. Razlike aritm. sred. nizu značajne na nivou od 5%.

Tabela 6. — Utjecaj vremena kuhanja na čvrstoću vezanja

LJEPILO K

Grupe opterećenja		B 1			B 3 ₁			B 3 ₂		
		1 sat	1 mjes.	2 mjes.	1 sat	1 mjes.	2 mjes.	1 sat	1 mjes.	2 mjes.
\bar{x}	kp/cm ²	137,92	136,67	128,33	33,94	22,13	16,75	131,67	132,08	128,33
s	kp/cm ²	10,33	16,28	18,5	2,62	3,83	2,14	10,73	21,47	18,63
N	Kom.	12	12	12	16	16	16	12	12	12
\underline{p}	kp/cm ²	± 6,56	± 10,34	± 11,75	± 1,4	± 2,4	± 1,14	± 6,82	± 13,64	± 11,84
\bar{x}_s	kp/cm ²	119,37	107,43	95,10	29,35	15,42	13,00	112,40	93,52	94,87
Istrgnuta vlakanca	%	100	100	100	2	0	0	100	100	100
F*		1,368			142,1			0,165		
F (k-1; n-k; α)	F (2; 33, 0,05) = 3,30				F (2; 45, 0,01) = 5,18			F (2; 33, 0,05) = 3,31		

Budući da je $F^* = 1,368 < 3,30$, sve tri srednje aritm. vrijednosti potječu iz iste cjeline (skupa). Razlike aritm. sredina nisu značajne na nivou od 5%.

Budući da je $F^* = 142,1 > 5,18$, razlika srednjih aritm. vrijednosti značajna je na nivou od 1%.

Budući da je $F^* = 0,165 < 3,31$, sve tri srednje aritm. vrijednosti potječu iz iste cjeline. Razlike aritm. sredina nisu značajne na nivou od 5%.

Tabela 7. — Utjecaj jednostranog i dvostranog nanošenja ljepila na brzinu vezanja spoja (čvrstoća na smicanje nakon vremena t)

LJEPILO L

		10 minuta		15 minuta		20 sati	
		Jednostrano	Dvostrano	Jednostrano	Dvostrano	Jednostrano	Dvostrano
\bar{x}	kp/cm ²	45,28	45,0	57,78	48,44	80,8	103,3
s	kp/cm ²	14,62	15,08	11,06	12,65	15,08	10,44
N	Kom.	18	18	18	18	10	10
p	kp/cm ²	± 7,27	± 7,5	± 5,50	± 6,29	± 10,79	± 7,47
\bar{x}_s	kp/cm ²	19,84	18,76	38,54	26,43	53,16	84,16
t*		0,06		2,36		3,88	
t (γ;0,05)		2,03		2,03		2,12	

Budući da je $t^* = 0,06 < 2,03 = t_{(34;0,05)}$, oba dvije srednje aritm. vrijednosti potječu iz iste cjeline (skupa).

Budući da je $t^* = 2,36 > 2,03 = t_{(33;0,05)}$, razlika srednje aritm. vrijed. značajna je na nivou od 5%.

Budući da je $t^* = 3,88 > 2,123 = t_{(16;0,05)}$, razlika srednje aritm. vrijed. značajna je na nivou od 5%. Kritični nivo je manji čak od 1%.

Tabela 8. — Odnos između čvrstoće na smicanje i vremena vezanja

LJEPILO L

		10 minuta		15 minuta	
		Jednostrano	Dvostrano	Jednostrano	Dvostrano
\bar{x}	kp/cm ²	45,28	45,00	57,78	48,44
N = 36		$\bar{x} = a + b \cdot t$ (kp/cm ²); $\bar{x}_1 = 20,28 + 2,5 \cdot t$ (kp/cm ²); $\bar{x}_2 = 36,12 + 0,69 \cdot t$ (kp/cm ²).			

Tabela 9. — Odnos između čvrstoće na smicanje i vremena vezanja

LJEPILO M

		10 minuta	15 minuta	30 minuta	45 minuta	60 minuta
		Jednostrano	Jednostrano	Jednostrano	Jednostrano	Jednostrano
\bar{x}	kp/cm ²	39,6	68,05	78,0	83,4	83,6
N = 100		$\bar{x} = 47,58 + 0,72 \cdot t$ (kp/cm ²); $r = 0,81$				

Tabela 10. — Odnos između čvrstoće na smicanje i vremena vezanja

LJEPILO N

		10 minuta		15 minuta		30 minuta		45 minuta		60 minuta	
		N	O	N	O	N	O	N	O	N	O
\bar{x}	kp/cm ²	39,3	39,8	66,1	70,0	78,1	77,9	82,10	84,7	85,6	81,6
N = 50		$\bar{x}_1 = 45,83 + 0,76 \cdot t$ (kp/cm ²); $r_1 = 0,84$ $\bar{x}_2 = 49,26 + 0,67 \cdot t$ (kp/cm ²); $r_2 = 0,77$									

Budući da je $t^* = 8,17 > 2,12 = t$, razlike srednjih vrijednosti su signifikantne na nivou od 5% (kod B3₁), što je sasvim vidljivo u tabeli 5. Zaključujemo da značajne razlike postoje samo kod ispitivanja u vlažnom stanju, što znači da je ljepilo I otpornije prema vodi i vlazi, dok u suhom stanju ne postoji razlika.

Dalje smo ispitali utjecaj vremena kuhanja na čvrstoću vezanja ljepila.

Iz tabele 6. vidljivo je da kod B1, B3₂ (u suhom stanju) ne postoji značajni utjecaj vremena kuhanja od 1 sat, 1 mjesec i 2 mjeseca na čvrstoću vezanja. Gornja tvrdnja nije primjenjiva kod B3₁ (vlažno stanje), gdje su utjecaji vremena

kuhanja na čvrstoću sasvim uočljivi. Radi ilustracije navodimo da su pokusni uzorci lijepljeni nakon vremena kuhanja od 1 sat, 1 mjesec i 2 mjeseca.

U grupi B1 — prema Cochranu $G_{\max}^* = 0,48 < 0,60$ (3;11;0,05), te Bartlettu $\chi_{2}^* = 3,65 < 5,99$ χ^2 (2;0,05), kao u grupi B3₁ prema Bartlettu $\chi_{2}^* = 5,03 < 5,99$ χ^2 (2;0,05), te u grupi B3₂ prema Cochranu $G_{\max}^* = 0,5 < 0,602$ (3;11;0,05), te Bartlettu $\chi_{2}^* = 5,11 < 5,99$ χ^2 (2;0,05), ne postoji značajna razlika varijanci na nivou od 5%, te se može upotrijebiti F test kod grupa opterećenja B1, B3₁ i B3₂.

2.6 Ispitivanje utjecaja jednostranog i dvostranog nanošenja ljepljiva na brzinu vezanja spoja pomoću t — testa (Tabela 7)

Iz tabele 7. uočljivo je da, nakon 10 minuta vezanja ljepljiva, nema značajne razlike kod jednostranog i dvostranog nanošenja ljepljiva. To se ne bi moglo reći nakon 15 minuta i 20 sati vezanja, gdje su razlike srednjih vrijednosti signifikantne na nivou od 5%. Naročito je (kritični nivo je manji od 1%) ta razlika uočljiva nakon 20 sati vezanja. Može se tvrditi da dvostrano nanošenje ljepljiva daje veću čvrstoću spoja, što je sasvim uočljivo iz tabele 7 kod svih statističkih veličina. Količina nanosenog ljepljiva (g/m²) i vrsta nanošenja (jednostrano ili dvostrano) znatno utječu na čvrstoću spoja. U našem primjeru radi se o jednostranom nanosu ljepljiva od 130 g/m² i dvostranom od 2 × 90 g/m².

3.0 PROCJENA PRAVCA REGRESIJE I KORELACIONOG KOEFICIJENTA

Tabele 8—10 pokazuju odnos između čvrstoće na smicanje i vremena vezanja. Čvrstoća na smicanje i vrijeme vezanja proporcionalni su (do određenog vremena), te se mogu u općem obliku izjednačiti $\bar{x} = a - b \cdot t$ (kp/cm²). Praktički možemo kazati da regresioni koeficijent b predstavlja brzinu vezanja (sl. 2).

Istraživali smo nadalje odnose između čvrstoće na smicanje i vremena kod jednostranog i dvostranog nanošenja ljepljiva. Iz tabele 8 vidi se da je kod jednostranog nanošenja regresioni koeficijent b veći nego kod dvostranog nanošenja ljepljiva. Jednadžba pravca čvrstoće jednostranog nanošenja jest:

$$x_1 = 20,28 + 2,5 \cdot t \text{ [kp/cm}^2\text{]},$$

a dvostranog nanošenja

$$x_2 = 36,12 + 0,69 \cdot t \text{ [kp/cm}^2\text{]}.$$

Kod daljnjih primjera ispitani su odnosi između čvrstoće na smicanje i vremena vezanja nakon 10, 15, 30, 45 i 60 minuta. Kako se iz tabele 9 vidi, jednadžba pravca čvrstoće jest $x = 47,58 + 0,72 \cdot t$; dok je procjena koeficijenta korelacije $r = 0,81$.

Iz tabele 10 vidimo da praktički između dva ljepljiva (skoro jednake brzine vezanja — čvrstoća na smicanje), nakon određenog vremena od 10, 15, 30, 45 i 60 minuta, ne postoji velika razlika, jer se regresioni koeficijenti ne razlikuju mnogo po vrijednosti. Jednadžba pravca čvrstoće ljepljiva N i O je:

$$\bar{x}_1 = 45,83 + 0,76 \cdot t; r_1 = 0,84,$$

$$x_2 = 49,26 + 0,67 \cdot t; r_2 = 0,77$$

4.0 ZAKLJUČAK

Na primjerima dnevnih ispitivanja ljepljiva zorno je prikazana primjena najosnovnijih statističkih metoda. Bez primjene statističkih metoda teško je zamisliti razvoj, pripremu, proizvodnju i kontrolu ljepljiva. Međutim, mora se također naglasiti da bi bilo pogrešno promatrati ispitivanja pomoću statističkih metoda odvojeno od problematike ispitivanja ljepljiva na strojevima za ispitivanje. To je kompleks koji se mora promatrati zajedno preko obje komponente, tj. komponente: priprema uzoraka, lijepljenje uzoraka, izrada uzoraka, ispitivanje uzoraka na strojevima (kidalicama) i druge komponente statističke obrade podataka. Samo spajanjem ovih dviju komponenata dolazimo do pouzdanih kvalitetnih praktičnih ispitivanja. Problem ispitivanja svesti na »suho« statističko ispitivanje moglo bi nas dovesti do krivih zaključaka, pogrešnih za praksu.

5.0 LITERATURA

- Sachs, L. 1972. Statistische Auswertungsmethoden. Dritte izdanje, Springer-Verlag Berlin.
- Plath, E. 1971. Adhäsion Heft 5. Statistische Methoden für Leimprüfungen.
- Plath, E. 1972. Adhäsion Heft 1. Statistische Methoden bei Leimprüfungen.
- Sass, F., Bouche, Ch. Leitner, A. 1970. Duobel — Taschenbuch für den Maschinenbau. 13. izdanje, Prva knjiga.