

Istraživanje mogućnosti proizvodnje lijepljenih lameliranih elektrovodnih stupova*

RESEARCH INTO THE POSSIBILITY OF THE PRODUCTION OF GLUE-LAMINATED ELECTRO-CONDUCTING POLES

Mr Stjepan Petrović, dipl. ing.
dr Slavko Kovačević, prof.
dr Salah Eldien Omer, dipl. ing.
Ilija Stjepčević, dipl. ing.
Institut za drvo Zagreb

UDK 630*831.41:630*832.286

Primitljeno: 15. rujna 1985.
Prihvaćeno: 5. listopada 1985.

Izvorni znanstveni rad

Sažetak

U radu su prikazani rezultati istraživanja mogućnosti proizvodnje lameliranih stupova od lamela drva jele/smreke, johe i topole, lijepljenih rezorcin-fenolformaldehidnim ljepljivima. Prije lijepljenja lamele su impregnirane zaštitnim sredstvima. Postupak impregnacije i lijepljenja izvršen je u skladu s postavljenim planom pokusa. Pokusi su provedeni u laboratorijskim i pogonskim uvjetima. Eksperimentalni stupovi ugrađeni su u vanjskim klimatskim uvjetima radi provjere ponašanja tokom vremena.

Glavne riječi: lamelirani lijepljeni drveni stupovi — rezorcin-fenolformaldehidno ljepljivo.

Summary

The paper presents the results of research into the production possibility of laminated poles from the wood elements of fir, alder and poplar glued by resorcin-phenol-formaldehyde. Before gluing the elements were treated by preservatives. Preserving process and gluing were carried out in accordance with the set testing plans. The tests were performed in laboratory and field conditions. Experimental poles were put up in outdoor climatic conditions in order to test their behaviour for some time.

Key words: glue laminated wooden poles — resorcin-phenol-formaldehyde glue.

(M. V.)

1.0. UVOD

Polazeći od činjenice da je oblo drvo četinjača (smreka, jela, bor), koje se upotrebljava za izradu elektrovodnih i PTT-stupova, u našoj zemlji deficitarno, nametnula se već duže vremena potreba za pronalaženjem novih materijala i konstruktivnih rješenja za stupove. Problem nestašice stupova rješava se danas primjenom betonskih, metalnih i plastičnih stupova, te stupova izrađenih od drva nekih vrsta listača [2]. Sve navedene vrste stupova imaju određene prednosti i mane, koje ni jednoj vrsti ne daju dominantnu prednost.

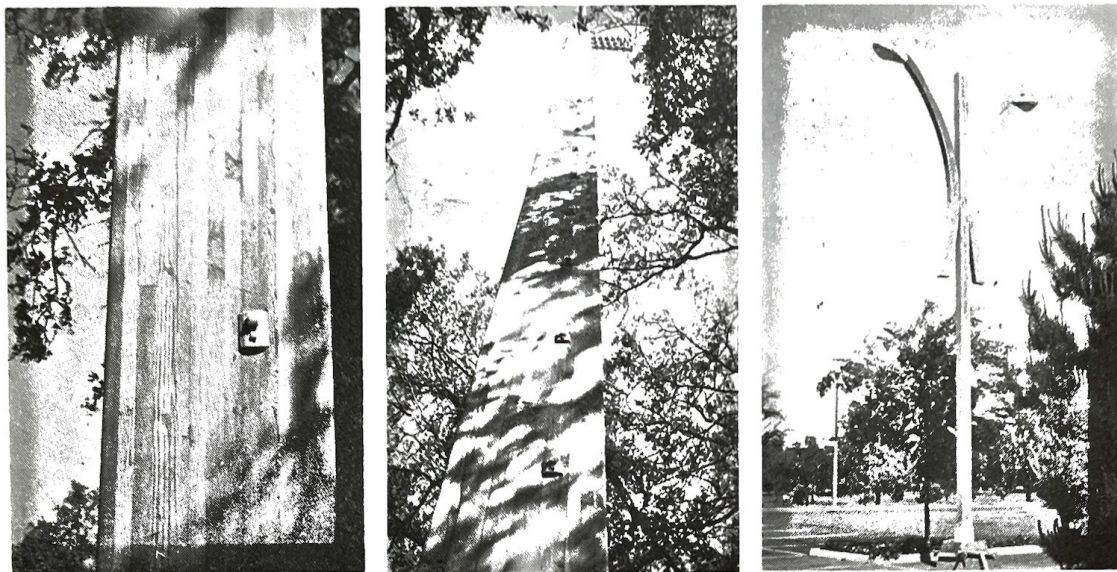
Većina nedostataka u primjeni ovih stupova može se riješiti upotrebom drvenih, impregniranih i naknadno zaštićenih stupova, čija je trajnost približno ista kao i betonskih stupova. Međutim, zbog pomanjkanja kvalitetne oblovine za stupove, izlaz se traži, s jedne strane, u supstituciji četinjača listačama, a s druge, u racionalnijem iskorišćenju sirovine primjenom tehnologije podužnog i ploš-

nog lijepljenja. Pritom se mogu primijeniti dosadašnja pozitivna iskustva u istraživanju i proizvodnji lameliranih inženjerskih konstrukcija, posebno onih koje su izložene vanjskim klimatskim utjecajima [1, 3, 5, 6, 8, 9]. Rukovodeći se time i pozitivnim iskustvima razvijenih zemalja (USA, Kanada, Skandinavske zemlje), postavljen je i cilj ovog rada, tj. da se istraži mogućnost supstitucije deficitarne sirovine četinjača za stupove proizvodnjom lameliranih stupova (sl. 1). U prilog tome mogle bi se navesti slijedeće prednosti:

- upotreba jeftinijih sortimenata drva,
- postizavanje strukturne zaštite svake lamele,
- prilagođivanje potrebne dužine uzdužnim spajanjem lamela,
- prilagođivanje oblika i boje konstruktivnim i estetskim zahtjevima,
- mogućnost montaže kao i kod klasičnih drvenih stupova.

Istraživanje je provedeno u laboratorijskim i pogonskim uvjetima.

* Ovaj rad omogućen je uz financijsku pomoć SIZ-a IV, »Zajednice elektroprivrede Hrvatske (ZEOH)« i DI »GAJ« — Podravska Statina.



Slika 1. Primjena lameliranih lijepljenih stupova za dalekovode i uličnu rasvjetu u USA

Fig. 1 — Application of laminated glued poles for transmission lines and street lighting in the USA.

2.0. LABORATORIJSKO ISPITIVANJE

2.1. Plan pokusa

2.1.1. Izbor nivoa utjecajnih faktora

Za istraživanje su izabrani utjecajni faktori i razine njihovog djelovanja, kako su prikazani u osnovnom planu pokusa (tablica I).

OSNOVNI PLAN POKUSA			Tablica I
BASIC TEST PLAN			Table I
Utjecajni faktori	Oznaka faktora	Opis faktora	Nivo djelovanja faktora
Vrsta drva	A	Joha	A ₁
		Topola	A ₂
		Smreka/jela	A ₃
Vrsta ljeplja	B	RFF 1	B ₁
		KAURESIN 440	B ₂
Uvjeti impregnacije	C	Neimpregnirano	C ₁
		Vakuuum (95%/45 min)	C ₂
		Vakuuum + pritisak (95%/45 min + 8 bara/60 min)	C ₃
		(95%/45 min + 8 bara/120 min)	C ₄
		(95%/45 min + 8 bara/180 min)	C ₅

Smreka/jela kao predstavnici četinjača izabrani su iz dva razloga. Prvi je da je pretežni dio standardnih stupova izrađen od drva četinjača, a drugi, da se drvo četinjača upotrebljava za proizvod-

nju lameliranih lijepljenih nosača. Pretpostavljalo se da će s ovim vrstama biti poteškoća u procesu impregnacije solima, s obzirom na njihovu anatomsku građu i permeabilnost u prosušenom stanju.

Joha i topola, kao predstavnici mekih listača, male prirodne trajnosti, izabrani su za ovo ispitivanje radi njihove manje vrijednosti i lake dostupnosti. Pretpostavljalo se da će s obzirom na njihovu dobru sposobnost impregnacije zadovoljiti u pogledu trajnosti.

Za lijepljenje su upotrijebljena dva tipa standardnih ljeplja na bazi rezorcifenolne smole: Kauresin 440, proizvodnje »BASF« — Ludwigshafen, i RFF-1, proizvodnje »Chromos« — Zagreb. Po našim propisima za drvene konstrukcije (JUS U. C 9.200), ljeplja na bazi rezorcina inače su obvezna u proizvodnji lameliranih konstrukcija, posebno onih izloženih vanjskim klimatskim utjecajima. Namjera proizvođača bila je da, pod istim uvjetima, usporedi domaći proizvod s inozemnim iste vrste. Pritom se pošlo od pretpostavke da su, s obzirom na teškoće u snabdijevanju reprodromatijalom domaćih proizvođača, moguće razlike u karakteristikama ovih ljeplja, a time i u krajnjem efektu, tj. lijepljenju impregniranog drva.

Impregnacija lamela provedena je standardnim kemijskim sredstvom »Silvanit« (Silvaproduct — Ljubljana), koje se inače upotrebljava u postupku impregnacije elektrovodnih stupova. Zaštitno sredstvo predstavlja kombinaciju anorganskih soli kroma, bora i bakra u određenom odnosu, koje su lako topive u vodi. U ovom istraživanju primije-njena je koncentracija od 2,8%. Planom pokusa obuhvaćeno je 5 varijacija režima impregnacije kod iste koncentracije zaštitnog sredstva.

2.2. METODOLOGIJA RADA

2.2.1 Priprema lamela

Od svake vrste drva (smreka/jela, topola i joha) izrađene su lamele slijedećih dimenzija:

— duljina	900 mm
— širina	220 mm
— debljina	20 mm

Drvo smreke / jela, topole i joha prilikom isporuke bilo je zdravo, bez bilo kakve truleži ili crvotočine. Lamelle su u sirovom stanju oblanjane i osušene na sadržaj vode od 25%. Radi osiguranja mogućnosti praćenja upijene količine konzervansa, svaka lamela je prije postupka impregnacije vagona na vagi TTC-BIZERTA s točnošću od ± 1 g, radi ustanovljivanja početne mase, i označena odgovarajućim oznakama.

2.2.2. Postupak impregnacije

Impregnacija je provedena u malom kotlovskom uređaju (duljine 2,2 m, promjera 40 cm), opremljenom grijačima, vakuumskom pumpom i kompresorom, te mjernim instrumentima za regulaciju vakuuma i pritiska. Za vrijeme impregnacije lamela, temperatura u rezervoaru kretala se od 20—25°C, vakuum 95% u trajanju od 45 min, pritisak 8 bara, a koncentracija konzervansa 2,8%. Varirano je samo vrijeme djelovanja pritiska. Režimi impregnacije navedeni su u tablici I. Količina upijenog konzervansa dobivena je vaganjem lamela prije i nakon postupka impregnacije. Nakon impregnacije lamele su uskladištene 30 dana radi sušenja i fiksiranja konzervansa.

Rezultati impregnacije lamela, izraženi količinom upijenog konzervansa (suhe supstancije) i penetracijom (mm), prikazani su u tablici II.

2.2.3. Lijepljenje lamela

Nakon impregnacije lamele su osušene u laboratorijskoj višetažnoj sušari s prinudnom cirkulacijom zraka na prosječni sadržaj vode od 8,9% (mjereno el. vlagomjerom). Za svaku kombinaciju iz plana pokusa pripremljene su lamele za izradu troslojnih uzoraka.

Ljepila za nanos na lamele pripremljena su prema uputama proizvođača u omjeru 5:1 (ljepilo — katalizator).

Nanos ljepila iznosio je 200 gr/m² jednostrano. Ljepilo je nanošeno na srednju lamelu obostrano, a potom su postrano dodane vanjske lamele.

Pritom se vodilo računa da tzv. »otvoreno« i »zatvoreno« vrijeme iznosi oko 15 min, što približno odgovara uvjetima u proizvodnji.

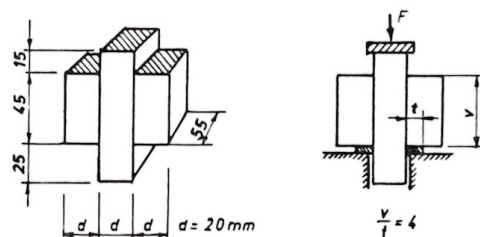
Proces prešanja pripremljenih uzoraka za svaku kombinaciju izveden je u laboratorijskoj preši po slijedećim uvjetima:

— tlak prešanja	6 daN/cm ²
— vrijeme prešanja	16 sati

Tlak na preši ostvaren je pomoću vijčanih stezača. Nakon prešanja, slijepljeni uzorci su ostavljeni u klimatiziranoj prostoriji 120 sati, radi kondicioniranja.

2.2.4. Postupak ispitivanja

Po završenom kondicioniranju, iz pripremljenih troslojnih uzoraka izrezane su epruvete za ispitivanje čvrstoće na smicanje pod djelovanjem pritiska. Za provedbu ispitivanja ove vrste, u pomanjkanju domaćih propisa, primijenjena je metoda EMPA — Zürich. Dimenzije i oblik epruveta prikazani su na sl. 2.



Slika 2. — Oblik epruvete za ispitivanje čvrstoće na smicanje i principi ispitivanja.

Fig. 2 — Shape of the sample for shear strength testing and principles of testing.

Ispitivanje je provedeno kod propisanih uvjeta tretiranja TD 1-1, TD 5-7, i TD 5-8 prema JUS-u H.K8.024. Ovi uvjeti približno simuliraju vanjske klimatske uvjete. Za svaki uvjet tretiranja i kombinaciju od raspoložive količine odabrano je slučajnim izborom po 20 epruveta.

Nakon tretiranja, epruvete su ispitane na stroju O. Wolpert, tip. V-5, pri brzini djelovanja sile od 10 mm/min. Pored određivanja čvrstoće na smicanje pod djelovanjem pritiska, registriran je i udjel smicanja po drvu.

Čvrstoća na smicanje pod djelovanjem pritiska određena je po slijedećoj formuli:

$$\sigma = \frac{F \max}{2 \cdot A} \quad (\text{N/mm}^2),$$

gdje je

A — površina smicanja (mm²)

F — maksimalna sila smicanja (N)

KOLIČINE UPLJENOG KONZERVANSA U OVISNOSTI OD IMPREGNACIJE
AMOUNT OF SOAKED PRESERVATIVE IN RELATION TO PRESERVING PROCESS

Tablica II

Table II

Oznaka kombi-nacije	Tretman lamela			Količina impregn. (s.s.) na jed.vol. (kg/m ³)	Dubina penetracije - ocjena -
	Oznaka lamela *	Vakuum (%) / min	Pritisak bara / min		
1	J	neimpregnirano		-	-
2	J	95/45	-	2,75	1 mm ne zadovoljava
3	J	95/45	8/60	8,40	3 mm - ne zadovoljava
4	J	95/45	8/120	9,00	5 mm - ne zadovoljava
5	J	95/45	8/180	12,50	lamela potpuno impregnirana
6	J	neimpregnirano		-	-
7	J	95/45	-	2,75	1 mm - ne zadovoljava
8	J	95/45	8/60	8,40	3 mm - ne zadovoljava
9	J	95/45	8/120	9,00	5 mm - ne zadovoljava
10	J	95/34	8/180	12,50	lamela potpuno impregnirana
11	T	neimpregnirano		-	-
12	T	95/45	-	1,80	1 mm - ne zadovoljava
13	T	95/45	8/60	7,80	2 mm - ne zadovoljava
14	T	95/45	8/120	10,50	4 mm - ne zadovoljava
15	T	95/45	8/180	11,00	lamela potpuno impregnirana
16	T	neimpregnirano		-	-
17	T	95/45	-	1,80	1 mm - ne zadovoljava
18	T	95/45	8/69	7,80	2 mm - ne zadovoljava
19	T	95/45	8/120	10,50	4 mm - ne zadovoljava
20	T	95/45	8/180	11,00	lamela potpuno impregnirana
21	S/J	neimpregnirano		-	-
22	S/J	95/45	-	2,00	0 mm - ne zadovoljava
23	S/J	95/45	8/60	5,60	3 mm - ne zadovoljava
24	S/J	95/45	8/120	6,60	3 mm - ne zadovoljava
25	S/J	95/45	8/180	8,50	lamela potpuno impregnirana
26	S/J	neimpregnirano		-	-
27	S/J	95/45	-	2,00	0 mm - ne zadovoljava
28	S/J	95/45	8/60	5,60	3 mm - ne zadovoljava
29	S/J	95/45	8/120	5,60	3 mm - ne zadovoljava
30	S/J	95/45	8/180	8,50	lamela potpuno impregnirana

* J - joha; T - topola; S/J - smreka/jela

s.s.- suhe supstance

UVJETI TRETIRANJA TD 1—1
TREATMENT CONDITION TD 1—1Tablica III
Table III

Broj i oznaka kombinacije	čvrstoća na smicanje (N/mm ²)					Smicanje po drvu (%)
	min	\bar{x}	max	σ^*	V(%) [*]	
1 (A ₁ B ₁ C ₁)	3,44	5,29	6,78	1,03	19,45	86,50
2 (A ₁ B ₁ C ₂)	3,75	5,39	7,31	0,85	15,71	75,00
3 (A ₁ B ₁ C ₃)	4,68	5,49	6,22	0,53	9,69	66,50
4 (A ₁ B ₁ C ₄)	3,22	3,91	5,26	0,75	19,23	61,50
5 (A ₁ B ₁ C ₅)	3,46	4,45	7,05	1,17	26,38	65,50
6 (A ₁ B ₂ C ₁)	3,43	3,99	4,91	0,42	10,42	81,50
7 (A ₁ B ₂ C ₂)	3,01	4,00	5,41	0,72	18,02	56,00
8** (A ₁ B ₂ C ₃)	-	-	-	-	-	-
9** (A ₁ B ₂ C ₄)	-	-	-	-	-	-
10 (A ₁ B ₂ C ₅)	3,08	3,52	3,99	0,25	7,05	45,50
11 (A ₂ B ₁ C ₁)	3,38	4,81	6,57	0,83	17,22	84,50
12 (A ₂ B ₁ C ₂)	3,71	5,16	6,55	0,89	17,34	75,00
13 (A ₂ B ₁ C ₃)	3,63	4,18	4,80	0,43	10,21	73,50
14 (A ₂ B ₁ C ₄)	3,17	4,31	5,04	0,52	11,98	63,00
15 (A ₂ B ₁ C ₅)	3,44	4,38	6,23	0,94	21,40	61,50
16 (A ₂ B ₂ C ₁)	3,76	4,53	5,37	0,48	10,72	65,50
17** (A ₂ B ₂ C ₂)	-	-	-	-	-	-
18** (A ₂ B ₂ C ₃)	-	-	-	-	-	-
19 (A ₂ B ₂ C ₄)	3,65	4,27	5,13	0,51	11,92	67,00
20 (A ₂ B ₂ C ₅)	3,38	4,36	5,49	0,75	17,23	51,00
21 (A ₃ B ₁ C ₁)	4,71	5,14	5,77	0,38	7,31	86,00
22 (A ₃ B ₁ C ₂)	3,36	3,99	4,69	0,41	10,33	63,00
23 (A ₃ B ₁ C ₃)	3,03	3,76	4,37	0,35	9,49	62,50
24 (A ₃ B ₁ C ₄)	3,16	4,01	4,86	0,46	11,41	64,50
25 (A ₃ B ₁ C ₅)	3,74	4,36	4,88	0,40	9,20	64,50
26 (A ₃ B ₂ C ₁)	3,99	5,34	6,34	0,68	12,69	75,50
27 (A ₃ B ₂ C ₂)	3,44	4,18	6,49	0,82	19,62	66,00
28** (A ₃ B ₂ C ₃)	-	-	-	-	-	-
29** (A ₃ B ₂ C ₄)	-	-	-	-	-	-
30 (A ₃ B ₂ C ₅)	3,43	3,90	4,21	0,27	6,89	53,50

* σ - standardna devijacija (N/mm²)
V - varijacijski koeficijent (%)

** Lamela za ove kombinacije su u postupku pripreme oštećene, pa su izostavljene iz pokusa.

2.3 REZULTATI ISPITIVANJA

2.3.1 Obrazloženje metode analize rezultata

U skladu s postavljenim planom pokusa (2.2), dobiveni rezultati za pojedine uvjete tretiranja (TD 1-1, TD 5-7 i TD 5-8) i kombinacije prikazani su u tablicama III, IV i V.

Obrada podataka prikazanih u tablicama III — V izvršena je uz neke osnovne pretpostavke:

— izvedeni pokusi, kojih je cilj bio ispitivanje utjecaja uvjeta impregnacije i vrsta ljepila na mehanička svojstva uzoraka, i to za 3 vrste drva;
— svi ostali utjecajni faktori držani su na konstantnom nivoju, u granicama mogućnosti;

— zbog nedostatka nekih od stanja pokusa (kombinacije 8, 9, 17, 18, 28, 29), obrada je vršena primjenom dva različita modela analize varijance;

UVJETI TRETIRANJA TD 5—7
TREATMENT CONDITION TD 5—7Tablica IV
Table IV

Broj i oznaka kombinacije	čvrstoća na smicanje (N/mm ²)					Smicanje po drvu (%)
	min	\bar{x}	max	σ^*	V(%) [*]	
1 (A ₁ B ₁ C ₁)	3,12	3,53	4,65	0,42	11,82	63,50
2 (A ₁ B ₁ C ₂)	1,21	2,20	3,12	0,60	27,50	41,50
3 (A ₁ B ₁ C ₃)	1,60	2,54	3,27	0,52	20,60	23,50
4 (A ₁ B ₁ C ₄)	0,77	1,22	2,20	0,41	33,84	20,00
5 (A ₁ B ₁ C ₅)	0,96	2,00	2,92	0,62	31,32	50,00
6 (A ₁ B ₂ C ₁)	8,85	1,23	1,60	0,28	22,76	12,50
7 (A ₁ B ₂ C ₂)	0,76	1,08	1,68	0,27	24,63	13,00
8** (A ₁ B ₂ C ₃)	-	-	-	-	-	-
9** (A ₁ B ₂ C ₄)	-	-	-	-	-	-
10 (A ₁ B ₂ C ₅)	1,04	2,13	2,83	0,49	22,93	17,00
11 (A ₂ B ₁ C ₁)	2,47	2,81	3,75	0,37	13,11	62,50
12 (A ₂ B ₁ C ₂)	2,33	2,95	3,71	0,32	10,83	60,50
13 (A ₂ B ₁ C ₃)	1,26	1,99	3,19	0,51	25,40	33,50
14 (A ₂ B ₁ C ₄)	2,36	2,70	3,42	0,29	10,79	26,00
15 (A ₂ B ₁ C ₅)	1,49	2,16	3,24	0,51	23,66	21,00
16 (A ₂ B ₂ C ₁)	2,11	2,68	3,62	0,48	18,09	31,50
17 (A ₂ B ₂ C ₂)	-	-	-	-	-	-
18 (A ₂ B ₂ C ₃)	-	-	-	-	-	-
19 (A ₂ B ₂ C ₄)	1,26	1,65	2,15	0,29	17,39	14,50
20 (A ₂ B ₂ C ₅)	0,72	1,25	1,77	0,33	26,35	11,50
21 (A ₃ B ₁ C ₁)	2,21	2,89	3,68	0,39	13,41	64,00
22 (A ₃ B ₁ C ₂)	1,39	2,07	3,18	0,61	29,47	52,50
23 (A ₃ B ₁ C ₃)	2,35	2,66	3,57	0,43	16,30	58,50
24 (A ₃ B ₁ C ₄)	1,92	2,44	3,09	0,30	12,41	54,00
25 (A ₃ B ₁ C ₅)	1,28	2,60	3,46	0,67	25,72	57,00
26 (A ₃ B ₂ C ₁)	1,05	1,65	2,47	0,40	24,13	17,00
27 (A ₃ B ₂ C ₂)	1,07	2,07	2,92	0,58	27,95	26,00
28** (A ₃ B ₂ C ₃)	-	-	-	-	-	-
29** (A ₃ B ₂ C ₄)	-	-	-	-	-	-
30 (A ₃ B ₂ C ₅)	1,49	1,89	3,95	0,46	24,46	20,00

* σ - standardna devijacija (N/mm²)

V - varijacijski koeficijent (%)

** - isto kao u tablici III

— primijenjen je model s n = 20 ponavljanja pokusa za svako stanje pokusa (kombinaciju), što se može smatrati dovoljnim, s obzirom na relativno niske vrijednosti koeficijenta varijacije (u glavnim u granicama 5 — 20%).

Obrada podataka obuhvatila je slijedeće:

1. Provjeru normalnosti razdiobe podataka, primjenom testa Kolmogorov-Smirnov. Ovaj test primijenjen je radi toga što je riječ o n = 20 podataka u uzorcima, pa bi grupiranje u razdiobe i primjena testa χ^2 bila neadekvatna. Uz to, test Kolmogorov-Smirnov poznat je kao oštiji test, što je svakako značajno s obzirom na cilj i svrhu istraživanja.

2. Primjenu trofaktorskog modela analize varijance — s ponavljanjem izvođenja pokusa, uz

UVJETI TRETIRANJA TD 5-8
TREATMENT CONDITION TD 5-8

Tablica V
Table V

Broj i oznaka kombinacije	Čvrstoća na smicanje (N/mm ²)					Smicanje po drvu (%)
	min	\bar{x}	max	σ^a	V(%) ^b	
1 (A ₁ B ₁ C ₁)	3,41	4,34	4,75	0,37	8,53	75,00
2 (A ₁ B ₁ C ₂)	2,78	3,63	4,75	0,57	15,83	70,00
3 (A ₁ B ₁ C ₃)	2,79	3,39	4,14	0,37	10,79	66,50
4 (A ₁ B ₁ C ₄)	1,82	2,73	3,46	0,41	15,17	61,50
5 (A ₁ B ₁ C ₅)	2,53	3,05	3,72	0,27	8,76	66,50
6 (A ₁ B ₂ C ₁)	1,76	2,22	2,86	0,31	13,83	63,00
7 (A ₁ B ₂ C ₂)	1,33	1,77	2,28	0,27	15,44	54,00
8** (A ₁ B ₂ C ₃)	-	-	-	-	-	-
9** (A ₁ B ₂ C ₄)	-	-	-	-	-	-
10 (A ₁ B ₂ C ₅)	2,26	2,75	3,45	0,34	12,28	54,50
11 (A ₂ B ₁ C ₁)	3,06	3,61	4,25	0,41	11,02	69,00
12 (A ₂ B ₁ C ₂)	3,17	3,83	4,42	0,35	9,19	69,50
13 (A ₂ B ₁ C ₃)	2,68	3,04	3,45	0,31	10,27	65,00
14 (A ₂ B ₁ C ₄)	2,77	3,07	3,42	0,16	5,39	57,50
15 (A ₂ B ₁ C ₅)	2,60	3,27	4,12	0,37	11,42	39,00
16 (A ₂ B ₂ C ₁)	2,32	3,04	4,08	0,45	14,72	66,50
17** (A ₂ B ₂ C ₂)	-	-	-	-	-	-
18** (A ₂ B ₂ C ₃)	-	-	-	-	-	-
19 (A ₂ B ₂ C ₄)	2,33	2,65	3,07	0,19	7,20	55,00
20 (A ₂ B ₂ C ₅)	1,86	2,16	2,52	0,21	9,83	44,50
21 (A ₃ B ₁ C ₁)	3,46	4,21	4,87	0,37	8,76	75,00
22 (A ₃ B ₁ C ₂)	2,44	3,10	3,70	0,30	9,68	67,00
23 (A ₃ B ₁ C ₃)	2,65	3,07	3,66	0,25	8,24	58,00
24 (A ₃ B ₁ C ₄)	2,40	3,05	3,98	0,32	10,43	66,50
25 (A ₃ B ₁ C ₅)	2,74	3,43	4,16	0,31	9,16	68,00
26 (A ₃ B ₂ C ₁)	2,41	2,69	2,98	0,19	7,02	72,00
27 (A ₃ B ₂ C ₂)	2,43	3,02	3,71	0,39	11,37	64,50
28** (A ₃ B ₂ C ₃)	-	-	-	-	-	-
29** (A ₃ B ₂ C ₄)	-	-	-	-	-	-
30 (A ₃ B ₂ C ₅)	2,23	2,68	2,95	0,20	7,56	49,50

* σ - standardna devijacija (N/mm²)

V - varijacijski koeficijent (%)

** - isto kao u tablici III

ograničenu randomizaciju, radi provjere utjecaja dva ekstremna uvjeta impregnacije (C₄ i C₅), pri obje vrste ljepljenja (B₁ i B₂) i za sve tri vrste drva (A₁, A₂ i A₃).

3. Primjenu dvofaktorskog modela analize varijance s ponavljanjem, radi provjere utjecaja svih 5 uvjeta impregnacije za sva tri testa (TD).

3.2.2. Analiza rezultata

Primjenom testa Kolmogorov — Smirnov utvrđeno je da rezultati u svim kombinacijama pokazuju dobro slaganje s normalnom razdiobom, što je i osnovni preduvjet za dalju statističku obradu. Dalja obrada obuhvatila je provjeru utjecaja tehnoloških faktora primjenom trofaktorskog i dvofaktorskog modela analize varijance.

Na osnovi rezultata trofaktorske analize varijance i upotrijebljenog nivoa signifikantnosti od

$\alpha = 0,05$, u tablici VI navedeni su faktori i njihove interakcije za koje je utvrđen statistički značajan (signifikantan) utjecaj na kvalitetu lijepljenja.

SIGNIFIKANTNOST FAKTORA I NJIHOVA MEĐUOVISNOST
FACTOR SIGNIFICANCE AND THEIR INTERACTION

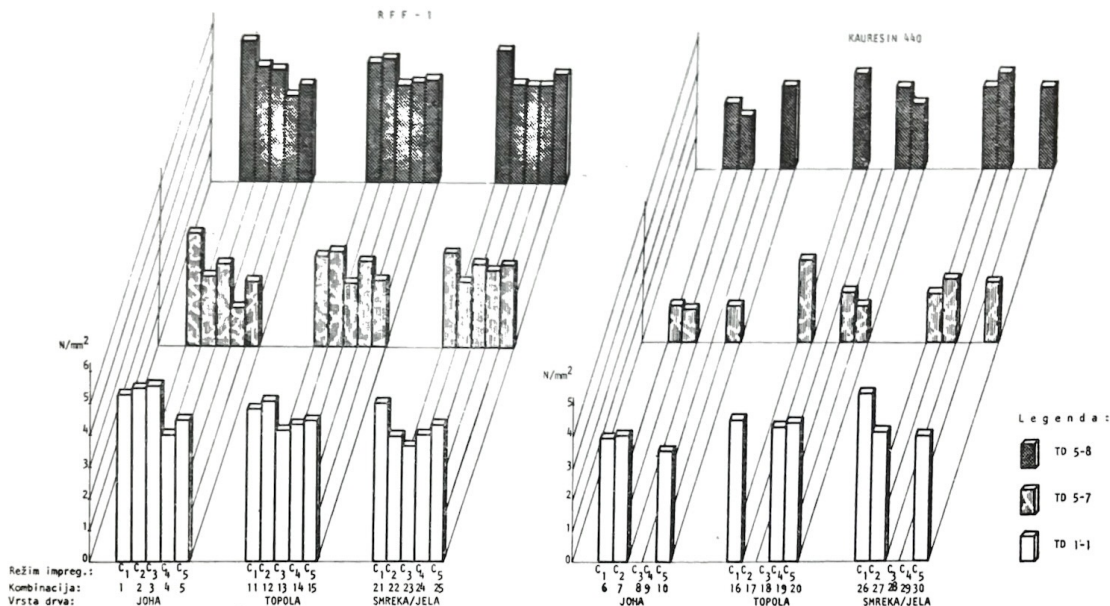
Tablica VI
Table VI

Oznaka faktora (varijacije)	Signifikantnost (*) nakon		
	TD 1-1	TD 5-7	TD 5-8
A	*		
B	*	*	*
AB	*	*	*
C	*	*	*
AC	*	*	*
BC		*	*
ABC	*	*	*

Iz signifikantnosti utjecaja vrste drva (A), vrste ljepljenja (B) i njihove interakcije (AB) za rezultate nakon testa TD 1-1, proizlazi da razlike zbog upotrebe različitih vrsta ljepljenja nisu linearne na svim vrstama drva. Pokazalo se, za iste rezultate, da uvjeti impregnacije (C) djeluju vrlo značajno, a također i u interakciji s vrstom drva (AC). Između vrste ljepljenja (B) i uvjeta impregnacije (C), nakon tretiranja po TD 1-1, nema interakcije, ali je ona značajna nakon TD 5-7 i TD 5-8. Sumarno, rezultati analize varijance upozoruju na postojanje vrlo značajnih interakcija između promatranih faktora. Na sličan način provjera djelovanja 5 uvjeta impregnacije (C₁ ... C₅) za sva tri testa TD, primjenom dvofaktorskog modela analize varijance, pokazala je, također, da uvjeti impregnacije (C) vrlo značajno djeluju na čvrstoću spoja, a značajno djeluje i interakcija s vrstom drva (AC). Vrsta drva pokazuje značajan utjecaj nakon testa TD 1-1, ali ne i nakon TD 5-7 i TD 5-8. S obzirom na izneseno, može se konstatirati da je time hipoteza o signifikantnom djelovanju promatranih faktora dokazana.

Iz grupe signifikantnih faktora treba posebno analizirati vrstu ljepljenja (B) i režim impregnacije (C), jer su se njihovi utjecaji na čvrstoću lijepljenja pokazali izrazito signifikantni kod sva tri uvjeta tretiranja. Postignute vrijednosti čvrstoća, osobito onih koje su dobivene ispitivanjem uzoraka s neimpregniranim lamelama (C₁), nalaze se u okvirima podataka iz stručne literature za čvrstoću na smicanje odgovarajućih vrsta drva.

Uz pretpostavku kvalitetnog lijepljenja, čvrstoća na smicanje ovisna je o čvrstoći drva. Međusobna ovisnost kvalitete lijepljenja o vrsti drva, ljepljenja i uvjetima impregnacije prikazana je na slikama 3. i 4. Iz podataka je evidentno da se čvrstoća na smicanje kod impregniranih lamela u odnosu na uzorke iz neimpregniranih lamela smanjuje kod svih vrsta drva i uvjeta tretiranja. Sredstvo za impregnaciju smanjuje površinu lijepljenja



Slika 3. i 4. — Čvrstoća na smicanje u ovisnosti o uvjetima impregnacije, vrsti drva i vrsti ljepljiva na laboratorijskim uzorcima.

Fig. 3 and 4 — Dependence of shear strength on preserving process conditions, species of wood and sort of glue on laboratory samples.

u sistemu ljepilo-drvo, otežava kvašenje i ima kao posljedicu pojavu deblje sljubnice, što sve zajedno smanjuje čvrstoću lijepljenog spoja.

To smanjenje je naročito došlo do izražaja u kombinacijama kod kojih je upotrijebljeno ljepilo Kauresin 440 i test TD 5-7. Na temelju ovog stječe se utisak da upotrijebljeno sredstvo za impregnaciju djeluje nedovoljno hidrofobno. To kao posljedicu ima veće navlaživanje drva, pojavu unutarnjih naprezanja u drvu, a time i u lijepljenom spoju, što neminovno dovodi do smanjenja čvrstoće spoja. Također se ne smije zanemariti međusobno djelovanje ljepljiva Kauresin i sredstva za impregnaciju. Pretpostavljamo da dva upotrijebljena ljepljiva, zbog njihovih specifičnih karakteristika, različito reagiraju u kontaktu s konzervansom i vodom. Ove hipoteze bi bilo neophodno provjeriti u daljim istraživanjima.

Dobiveni rezultati također upućuju na potrebu da se u daljem istraživanju modificira upotrijebljeno sredstvo za impregnaciju ili pripremi novo koje će imati veću hidrofobnost. Pritom treba imati na umu da ovaj proces ima suprotno djelovanje u odnosu na proces lijepljenja. U nastavku rada morat će se pronaći optimalna kombinacija koja će osigurati dovoljno dobru zaštitu drva i zadovoljavajuću kvalitetu lijepljenja.

3.0. INDUSTRIJSKO ISPITIVANJE

3.1. Plan pokusa

Na temelju rezultata postignutih u okviru laboratorijskog ispitivanja, dobivena je informacija o

kvaliteti lijepljenih spojeva u ovisnosti o vrsti drva, ljepljiva i uvjetima impregnacije. Za industrijski pokus kao varijabilni faktori izabrani su vrsta drva (A) i uvjeti impregnacije (C). Utjecajni faktori i nivoi njihova djelovanja prikazani su u osnovnom planu pokusa (tablica VII).

UTJECAJNI FAKTORI I NIVOI DJELOVANJA
INFLUENCING FACTORS AND ACTION LEVELS

Tablica VII

Table V

Oznaka faktora	Utjecajni faktor	Nivo djelovanja faktora		
		1	2	3
A	vrsta drva	A ₁	A ₂	A ₃
C	uvjeti impregnacije	C ₁	C ₅	—

A₁ — jela/smreka; A₂ — topola; A₃ — joha; C₁ — neimpregnirano; C₅ — impregnirano pod uvjetima: vakuum 95%/45 min, pritisak 8 bara/180 min

Kao konstantni tehnološki faktori u toku ispitivanja uzeti su: vrsta ljepljiva, vrsta konzervansa, receptura za pripremu ljepljiva, tehnologija nanošenja ljepljiva, jedinični nanos ljepljiva, temperatura i relativna vlaga, te kvaliteta upotrijebljenog drva.

3.2. Metodologija rada

Za industrijski pokus, lamele duljine 2 m, širine 24 cm i debljine 29 mm pripremljene su na

isti način kao i u toku laboratorijskog ispitivanja. Impregnacija lamela provedena je na poluindustrijskom uređaju pod uvjetima C_5 (vakuum 95%/45 min i pritisak 8 bara/180 min). Sadržaj vlage lamela prije lijepljenja iznosio je 12-13% (el. vlažomjer). Nakon kondicioniranja lamele su oblanjane, a potom je obostrano nanoseno ljepilo pripremljeno na četverovaljčanom nanosaču lepila u količini od 530 g/m².

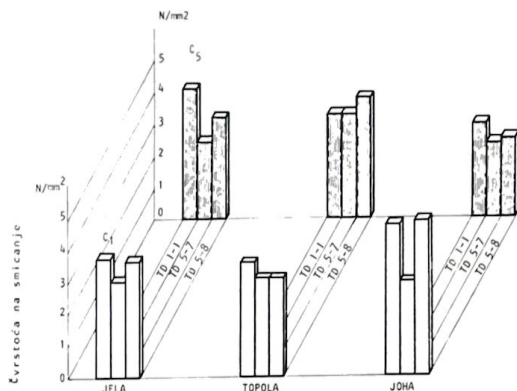
Slaganje lamela s nanesenim ljepilom u stupove dužine 2 m standardnog presjeka provedeno je na uobičajeni način, vodeći pritom računa o položaju godova susjednih lamela.

Prešanje lamela provedeno je pneumatskim uređajem odjednom za sve pripremljene stupove. Provjera tlaka vršena je pomoću moment-ključa. Nakon postizanja potrebnog tlaka (oko 7 daN/cm²), stupovi su 24 sata ostavljeni pod pritiskom radi potpunog otvrdnjavanja (vezanja) ljepila. Nakon kondicioniranja u pogonskim uvjetima, u trajanju od 7 dana, izabrani su uzorci za ispitivanje kvalitete lijepljenja.

Priprema epruveta i ispitivanje provedeno je na isti način kao i u toku laboratorijskog ispitivanja.

3.3. Rezultati ispitivanja

Dobiveni rezultati prikazani su u tablici VIII i na sl. 5. Iz rezultata u tablici VIII proizlazi da stupovi izrađeni od tri upotrijebljene vrste drva u neimpregniranom stanju pokazuju zadovoljavajuću čvrstoću lijepljenog spoja.



Slika 5. — Čvrstoća na smicanje u ovisnosti o uvjetima impregnacije i vrsti drva na industrijskim uzorcima.
Fig. 5 — Dependence of shear strength on preserving process conditions and species of wood on industrial samples

REZULTATI ISPITIVANJA ČVRSTOĆE NA SMICANJE
RESULTS OF SHEAR STRENGTH TESTING

Tablica VIII
Table VIII

Oznaka stupa	Vrsta drva	Uvjeti impregnacije	Tretiranje prema JUS H.K8.024	Čvrstoća na smicanje			Smicanje po drvu %
				\bar{x}	σ^*	V^*	
				N/mm ²	N/mm ²	%	
4	jela/smreka	C_1	TD 1-1	3,75	0,52	13,84	86
			TD 5-7	3,03	0,27	8,89	59
			TD 5-8	3,68	0,78	21,25	95
8,10	jela/smreka	C_5	TD 1-1	4,16	0,72	17,37	69
			TD 5-7	2,46	0,35	14,21	25
			TD 5-8	3,22	0,75	23,26	76
1	topola	C_1	TD 1-1	3,63	0,99	27,46	86
			TD 5-7	3,13	0,56	18,04	59
			TD 5-8	3,12	0,74	23,75	100
2,3	topola	C_5	TD 1-1	3,29	0,55	16,59	19
			TD 5-7	3,29	0,40	12,10	11
			TD 5-8	3,85	0,94	24,44	54
5,6	joha	C_1	TD 1-1	4,82	1,28	23,68	92
			TD 5-7	3,02	0,42	13,84	63
			TD 5-8	4,93	0,81	15,51	94
7,9	joha	C_5	TD 1-1	3,00	0,31	10,47	34
			TD 5-7	2,36	0,56	23,80	13
			TD 5-8	2,49	0,25	9,93	33

* σ - standardna devijacija

* V - varijacijski koeficijent

Kod stupova s impregniranim lamelama dobiti su kod sve tri vrste drva slabiji rezultati. To smanjenje čvrstoće spoja, kao posljedica impregnacije lamela, više je izraženo kod stupova izrađenih od topole i johe, osobito ako se kao mjerilo uzme u obzir udjel smicanja po drvu. Iz tih razloga nameće se zaključak da su joha i topola u slučaju impregnacije lamela na granici moguće upotrebljivosti za proizvodnju elektrovodnih stupova. Međutim, konačne mogućnosti primjene analiziranih vrsta moći će se ocijeniti nakon izlaganja uzoraka lameliranih stupova stvarnim klimatskim uvjetima na pokusnom polju. U tim uvjetima doći će do izražaja interakcijske veze između vrste drva, kvalitete lijepljenja i stupnja insekticidno-fungicidne zaštite drva. Proizvedeni uzorci stupova ugrađeni su u pokusno polje trafostanice Oštarije — ELDIS — Ogulin, u skladu s propisima. Tokom izlaganja stupova u stvarnim klimatskim uvjetima vizuelno će se pratiti sve promjene na stupovima. U određenim vremenskim intervalima uzimat će se uzorci radi ispitivanja čvrstoće spojeva lamela.

4.0. ZAKLJUČAK

Na temelju provedenog ispitivanja u laboratorijskim i pogonskim uvjetima, proizlazi da se primjenom tehnologije podužnog spajanja i lameliranja mogu, bez većih teškoća i investicijskih ulaganja, proizvoditi i lamelirani elektrovodni stupovi. Ta konstrukcija, međutim, pretpostavlja poznavanje veličine utjecaja osnovnih tehnoloških faktora i njihovih interakcija, radi izbora optimalne kombinacije. Iako su u okviru laboratorijskog ispitivanja gotovo svi faktori i glavne interakcije

pokazali signifikantan utjecaj na kvalitetu lijepljenja ($\alpha = 0,05$), ipak, zbog veličine utjecaja, posebno treba izdvojiti uvjete impregnacije (C) i vrstu ljepila (B). Imajući na umu dobivene rezultate (točka 2.3), posebno ističemo kombinacije 5, 15 i 25, kod kojih su upotrijebljene potpuno impregnirane lamele johe, topole i smreke, te ljepilo RFF-1. Rezultati dobiveni u okviru industrijskog pokusa pokazuju, međutim, da se za sada, na temelju postignute kvalitete lijepljenja, zadovoljavajuća ocjena može dati samo za stupove proizvedene od drva jele/smreke. Konačna ocjena o upotrebljivosti ispitanih vrsta drva za proizvodnju lameliranih elektrovodnih stupova dat će se nakon završetka testiranja na pokusnom polju.

LITERATURA

- [1] Göldi, M.; Sell, J., Strössler, H.: Scherfestigkeit der Klebverbindung von vorimprimiertem Holz — Beitrag zur Entwicklung wetterbeständigen Brettschichtholzes. Holz als Roh — und Werkstoff 37 (1979), 7, s. 241—250.
- [2] Kovačević, S., Hlevnjak, M.: Istraživanje mogućnosti supstitucije drva četinjača listacima u proizvodnji stupova za vodove. Drvna industrija 33 (1982), 3/4, s. 83—89.
- [3] Kück, W.: Über die Wechselwirkung zwischen Holzschutzbehandlung und Verleimung. Forschungsbericht Nr. 231 Westentscher Verlag Köln und Opladen 1956.
- [4] Linder, A.: Planen und Auswerten von Versuchen. Verlag Birkhäuser, Basel/Stuttgart 1953.
- [5] Meierhofer, U.; Sell, J.: Zur Wetterbeanspruchung tragender Holzbauteile. »Ingenieurholzbau in Forschung und Praxis«, s. 67 ... 74, Bruderverlag Karlsruhe 1982.
- [6] Meierhofer, U.; Sell, J.: Physikalische Vorgänge in wetterbeanspruchten Holzbauteilen. Holz als Roh — und Werkstoff 37 (1979), 12 s. 447—454.
- [7] Pantelić, I.: Uvod u teoriju inženjerskog eksperimenta. Novi Sad, 1976.
- [8] Lamelirane lijepljene konstrukcije. Sumarska enciklopedija, Svezak 2. JLZ, Zagreb 1984.
- [9] Sell, J.: Oberflächenbehandlung und Impregnierung von Brettschichtträgern. Holz-Zentralblatt, Stuttgart, 106 J. (1990), Nr. 40/4, s. 629—630.

Recenzent: prof. dr B. Ljuljka

UPUTE AUTORIMA

Prilikom pripreme rukopisa za tisak molimo autore da se pridržavaju slijedećeg:

— Rad treba biti napisan u trećem licu, koncizan i jasan, te metrološki i terminološki usklađen.

— Radove treba pisati uz pretpostavku da čitaoci poznaju područje o kojem se govori. U uvodu treba iznijeti samo što je prijeko potrebno za razumijevanje onoga što se opisuje, a u zaključku ono što proizlazi ili se predlaže.

— Tekst rada treba pisati strojem, samo s jedne strane papira formata A4 (ostaviti lijevi slobodni rub od najmanje 3 cm), s proredom (redak oko 60 slovnih mjesta, a stranica oko 30 redaka), i s povećanim razmakom između odlomaka.

— Opseg teksta može biti najviše do 10 tipkanih stranica.

U iznimnim slučajevima može Urednički odbor časopisa prihvatiti radove i nešto većeg opsega, samo ukoliko sadržaj i kvaliteta tu opsežnost zahtijevaju.

— Naslov rada treba biti kratak i da dovoljno jasno izražava sadržaj rada. Uz naslov treba navesti i broj UDK (Univerzalna decimalna klasifikacija), odnosno ODK (Oxfordska decimalna klasifikacija). U koliko je članak već tiskan ili se radi o prijevodu, treba u fusnosti (podnožnoj bilješci) naslova navesti kada je i gdje tiskan, odnosno s kojeg jezika je prevedena i tko ga je preveo i eventualno obradio.

— Fusnote glavnog naslova označavaju se npr. zvjezdicom, dok se fusnote u tekstu označavaju redoslijedom arapskim brojem kako se pojavljuju, a navode se na dnu stranice gdje se spominju. Fusnote u tabelama označavaju se malim slovima i navode se odmah iza tabele.

— Jednadžbe treba pisati jasno, kompaktno i bez mogućih dvosmislenosti. Za sve upotrijebljene oznake treba navesti nazive fizikalnih veličina, dok manje poznate fizikalne veličine treba i pojmovno posebno objasniti.

— Obvezna je primjena SI (Međunarodnih mjernih jedinica), kao i međunarodno preporučenih oznaka češće upotrebljivanih fizikalnih veličina. Dopusća se još jedino primjena Zakonom dopuštenih starih mjernih jedinica. Ako se u potpunosti ne primjenjuju veličinske jednadžbe, s koherentnim mjernim jedinicama, prijeko je potrebno navesti mjerne jedinice fizikalnih veličina.

— Tabele treba redoslijedno obilježiti brojevima. Tabele i dijagrame treba sastaviti i opisati tako da budu razumljivi i bez čitanja teksta.

— Sve slike (crteže i fotografije) treba priložiti odvojeno od teksta, a na potedni — kod neprozirnih slika (ili sa strane kod prozirnih) olovkom napisati broj slike, ime autora i skraćeni naslov članka. U tekstu, na mjestu gdje bi autor želio da se slika uvrsti u slog, treba navesti samo redni broj slike (arapskim brojem). Slike trebaju biti veće nego što će biti na klišejima (najpogodniji je omjer 2:1).

— Crteže i dijagrame treba uredno nacrtati i izvući tušem na bijelom crtaćem papiru ili pauspapiru (širina

najdeblje crte, za spomenuti najpogodniji omjer, treba biti 0,5 mm, a ostale širine crta 0,3 mm za crtkane i 0,2 mm za pomoćne crte). Najveći format crteža može biti 34 × 50 cm. Sav tekst i brojke (kote) trebaju biti upisani s uspravnim slovima, a oznake fizikalnih veličina kosim, vodeći računa o smanjenju slike (za navedeni najpovoljniji omjer 2:1 to su slova od 3 mm). Ukoliko autor nema mogućnosti za takav opis, neka upiše sve mekom olovkom, a Uredništvo će to učiniti tušem. Fotografije treba da su jasne i kontrastne.

— Odvojeno treba priložiti i kratak sadržaj članka (sažetak) na hrvatskom i engleskom (ili njemačkom) jeziku, iz kojeg se razabire svrha rada, važniji podaci i zaključak. Sažetak može imati najviše 500 slovnih mjesta (do 10 redova sa 50 slovnih mjesta) i ne treba sadržavati jednadžbe ni bibliografiju.

— Radi kategorizacije članaka po kvaliteti, treba priložiti kratak opis »u čemu se sastoji originalnost članka« s kojim će se trebati suglasiti i recenzent.

— Obvezno je navesti literaturu, koja treba da je selektivna, osim ako se radi o pregledu literature. Literaturu treba svrstati abecednim redom. Kao primjer navođenja literature za knjige i časopise bio bi:

[1] KRPAJ, J.: Sušenje i parenje drva. Sumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 1965.

[2] ČIŽMESIJA, I.: Taljiva ljepila u drvnoj industriji. DRVNA INDUSTRIJA, 28 (1977) 5-6, 145-147.

(Redoslijedni broj literature u uglatoj zagradi, prezime autora i inicijali imena, naziv članka, naziv časopisa, godina izlaženja (godište izdanja), broj časopisa, te stranice od ... do ...).

— Treba navesti podatke o autoru (autorima): pored punog imena i prezimena navesti zvanje i akademske titule (npr. prof., dr, mr, dipl. inž., dipl. tehn., itd.), osnovne elemente za bibliografsku karticu (ključne riječi iz rada, službenu adresu), broj žiro-računa autora s adresom i općinom stanovanja.

— Samo potpuno završene i kompletne radove (tekst u dva primjerka) slati na adresu Uredništva.

— Primljeni rad Uredništvo dostavlja recenzentu odgovarajućeg područja na mišljenje. Nekompletni radovi, te radovi koji zahtijevaju veće preinake (skraćenje ili nadopune), vraćat će se autorima.

— Ukoliko primljeni rad nije usklađen s ovim Uputama, svi troškovi usklađivanja ići će na trošak autora.

— Prihvaćeni i objavljeni radovi se honoriraju. Ukoliko autor želi separate, može ih naručiti prilikom dostave rukopisa uz posebnu naplatu.

— Molimo autore (kao i urednike rubrika) da u roku od dva tjedna po izlasku časopisa iz tiska dostave Uredništvu bitnije tiskarske pogreške koje su se potkrale, kako bi se objavili ispravci u slijedećem broju.

UREDNIŠTVO