

Puzanje drva i drvnih ploča

CREEPING OF WOOD AND WOOD-BASED MATERIALS

Mr **Stjepan Petrović**, dipl. ing.
Tehnički centar za drvo (TCD) — Zagreb

UDK 630*812.7

Primljeno: 9. rujna 1987.
Prihvaćeno: 21. rujna 1987.

Izvorni znanstveni rad

Sažetak

U referatu su prikazani rezultati ispitivanja ponašanja drva bukve i jele, te iverica i furnirskih ploča pod trajnim statičkim opterećenjem. Ispitivanje je provedeno u skladu s postavljenim planom pokusa na epruvetama standardnih dimenzija, pri opterećenju na savijanje koncentriranom silom od 500 N i 1000 N. Za svaki od ispitanih materijala određeno je prosječno istežanje (ϵ) za period ispitivanja od oko 150 sati. Dobiveni rezultati prikazani su numerički i grafički, te aproksimirani funkcijom $\epsilon(t) = \epsilon_0 + \epsilon_k \cdot t^n$. Indeks determinacije (r^2) za ispitane materijale kreće se u granicama 0,979 ... 0,999.

Summary

Results of tests of beech and fir-wood, chip-board and plywood behaviour under permanent static loading are presented in the report. The test was affected in conformity with the established plan of experiments in testtubes of standard sizes at bending stress by concentrated force of 500 N and 1000 N. For each of the tested materials approximate elongation (ϵ) is determined for the period of testing of about 150 hours. The results obtained have been represented numerically and graphically and approximated by function $\epsilon(t) = \epsilon_0 + \epsilon_k \cdot t^n$. Determination index r^2 for the tested materials ranges within the limits from 0,979 to 0,999.

1. UVOD

Predmet izučavanja klasične mehanike bila su dugo vremena naprezanja i njihova djelovanja. Tek je Wöhler (1819—1914) među prvima pronašao da kod trajnog opterećenja deformacije postaju veće, a naprezanja manja. Ovo pitanje je kod drva i drvnih pločastih materijala bilo prilično vremena zanemareno. Drvo kao materijal u odnosu na čelik i neke druge konstruktivne materijale pokazuje veću ili manju sklonost puzanju. Pod puzanjem označava se lagana promjena oblika čvrstog tijela (sl. 1a) kao posljedica djelovanja trajnog statičkog opterećenja (Raczowski, 1969; Kolman, 1972; Perkitny, 1972; Indof, 1983).

Za slučaj konstantnog opterećenja ($F = \text{konst.}$), istežanje » ϵ « se mijenja s vremenom » t «, tj. postoji funkcionalna ovisnost $\epsilon = f(t)$.

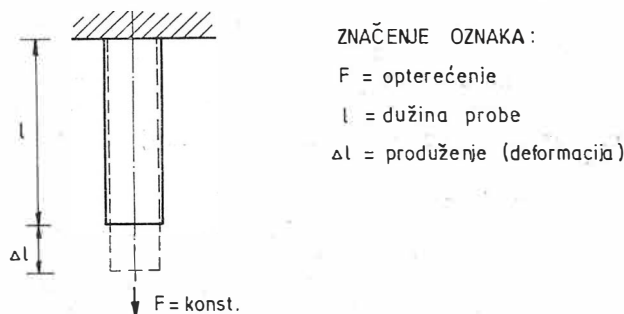
Većina autora u dosadašnjim radovima za početno analitičko opisivanje pojave puzanja dijeli u tri dijela (sl. 1b).

Prvi dio obuhvaća početne ili reverzibilne pojave puzanja, koje najčešće, nakon odterećenja, postepeno nestaju.

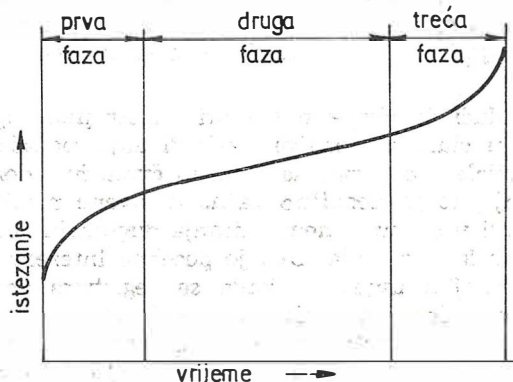
Drugi dio karakterizira stabiliziranje i dalje smanjenje brzine puzanja.

U trećem dijelu dolazi do kontinuiranog porasta brzine puzanja, što u konačnici rezultira lomom.

* Članak predstavlja proširenu verziju referata održanog na XVIII. Kongresu IUFRO, Ljubljana 1986.



Sl. 1 a. Shematski prikaz deformacije pri trajnom statičkom opterećenju.
 Fig. 1 a. A scheme of deformation at permanent static loading.



Sl. 1 b. Tipični diagram puzanja
 Fig. 1 b. A typical creeping diagram

Dosadašnji eksperimenti pokazuju da pri trajnom statičkom opterećenju, ovisno o sadržaju vode, temperaturi i fizikalno-kemijskim uvjetima okoline, dolazi do povećanja deformacije i pada opteretivosti materijala. Što je kraće djelovanje opterećenja, toliko manje dolazi do izražaja utjecaj vlage i temperature na deformaciju.

U tim ispitivanjima (Kollman, 1959; Perkitny, 1966) puzanje je promatrano kao zatvoreni proces, koji ne uključuje u sebi razaranje. Utjecaj popratnih pojava razaranja uzima se u obzir samo u posljednjoj fazi puzanja. Istraživanja na drugim materijalima, posebno na sintetskim polimerima, upućuju na to da se proces puzanja i razaranja međusobno preklapaju. Pritom se puzanje objašnjava kao povećanje deformacije uslijed nastalih pomaka segmenata, a ne pomaka cijelih molekula.

Razaranje strukture drva promatra se (Kollman 1963) kao neprekinuta kinetička pojava, koja se može podijeliti u tri dijela:

1. Nastanak oštećenja i submikroskopskih pukotina
2. Povećanje mikroskopskih pukotina
3. Pojava makroskopskih pukotina koje se povećavaju.

Karakteristično za mehanizam razaranja drva kao prirodnog kompleksnog polimera je mogućnost molekularne strukture polimera uslijed mehaničkih naprezanja, a s tim u vezi je onda njegovo jačanje ili slabljenje.

Utjecaj trajanja opterećenja na čvrstoću drva mora se promatrati u kauzalnoj vezi s mehanizmom razaranja drva. Naime, proces razaranja temelji se na stalnom povećanju oštećenja i pukotina, a njihova brzina nastanka ovisi o veličini opterećenja, temperaturi i fizikalno-kemijskoj aktivnosti okoline.

Iz toga bi se mogao izvesti zaključak da do razaranja također dolazi i kod dugotrajnog opterećenja ispod vrijednosti trajne čvrstoće, ali da ono teče vrlo polagano. Dakle, elasticitet i plasticitet djeluju zajedno i ne mogu se odijeliti, tj. ne postoji idealni elasticitet, nego je on uvijek povezan s plasticitetom (Kollman 1972). Prevladavanje elastičnog ili plastičnog stanja ovisno je o vrsti i trajanju opterećenja te vanjskim fizikalnim utjecajima. Osobito značajan utjecaj ima trajanje opterećenja koje se manifestira kao »puzanje« materijala.

Budući da eksperimenti pri dugotrajnom opterećenju služe u konačnici određivanju ponašanja materijala s obzirom na njihovu čvrstoću i deformiranje, to je neobično važno dobivene rezultate koristiti u svrhu dimenzioniranja dugotrajno opterećenih konstrukcija. Ovo je posebno interesantno u sadašnjim uvjetima, kada se registrira porast upotrebe drva za nosive konstruktivne elemente, koji moraju izdržati značajna opterećenja. Iz tih razloga ispitivanje puzanja drva i ploča na bazi drva dobiva sve više, ne samo znanstveno, nego i praktično značenje. Naime, materijali kod kojih

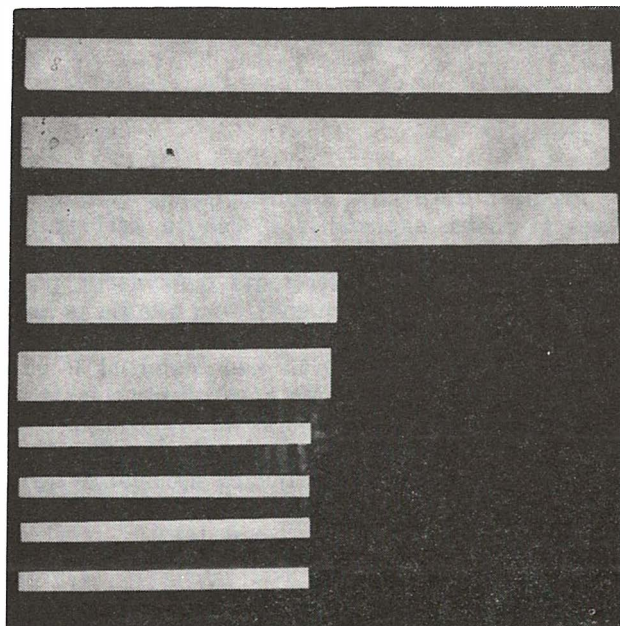
pod dugotrajnim opterećenjem dolazi do porasta deformacije mogu se upotrijebiti za nosive konstrukcije samo onda ako je moguće procijeniti utjecaj puzanja na nosivost konstrukcije.

Rukovodeći se potrebom boljeg sagledavanja ponašanja drva pod trajnim statičkim opterećenjem, poduzeto je, iako sa značajnim zakašnjenjem u odnosu na neke druge razvijene zemlje, ovo istraživanje s ciljem da dade nove informacije o karakteristikama nekih domaćih vrsta drva i materijala na bazi drva. Te informacije odnose se na određivanje dozvoljenih naprezanja i deformacija, a mogu poslužiti kao podloga za proračun vijeka trajanja određene konstrukcije.

2.0. EKSPERIMENTALNI RAD

2.1. Materijal za ispitivanje

Za predviđeno ispitivanje izabrana su četiri materijala: bukva, jela, iverica i furnirske ploče. Epruvete za ispitivanje (sl. 2) pripremljene su u dimenzijama ($a \times b \times l$) prema zahtjevima jugoslavenskih standarda (JUS) kako slijedi: bukovina i jelovina $20 \times 20 \times 320$ (mm), $L_s = 280$ mm (po 8 proba); iverica $18 \times 50 \times 320$ (mm), $L_s = 280$



Sl. 2. Epruvete za ispitivanje
Fig. 2. Testtubes

VOLUMNA MASA I SADRŽAJ VLAGE
MATERIJALA

Tablica I.

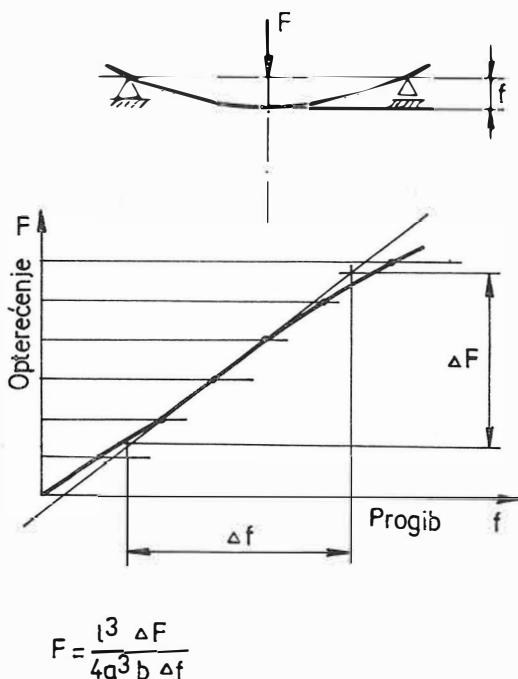
Vrsta materijala	Sadržaj vlage (%)	Volumna masa (g/cm ³)
jela	10,7	0,412
bukva	10,3	0,667
furn.ploča	8,9	0,691
iverica	10,2	0,831

mm (7 proba); i furnirska ploča $19 \times 50 \times 620$ (mm), $L_s = 570$ mm (7 proba). Sadržaj vode i volumna masa upotrijebljenog materijala prikazani su u tabeli I.

Iz tabele je vidljivo da se vlažnost ispitanih materijala kreće u relativno uskim granicama, pa se navedena odstupanja mogu praktično zanemariti. Nasuprot vlazi, volumna masa ispitanih materijala je značajno različita, što će imati utjecaja i na mehanička svojstva.

2.2. Metodologija ispitivanja

Za navedene materijale, na standardom propisani način utvrđen je modul elastičnosti (sl. 3). Ispitivanje je provedeno opterećenjem epruveta standardnih dimenzija na savijanje u jednoj točki.

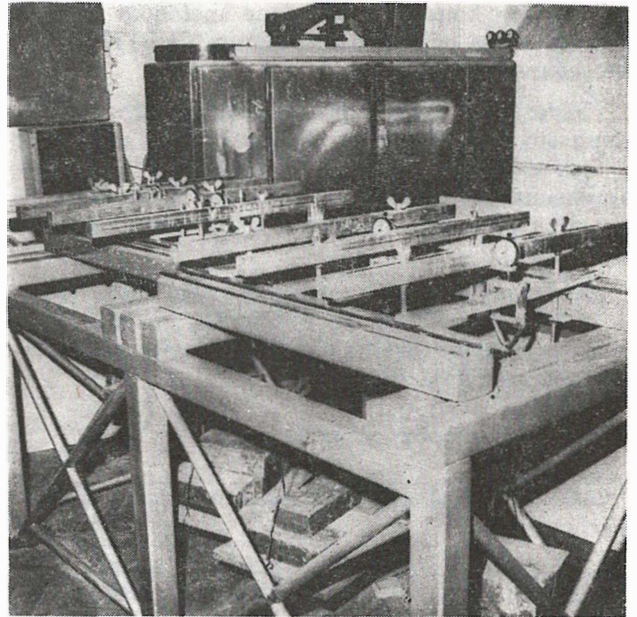


Sl. 3. Shematski prikaz određivanja modula elastičnosti pri opterećenju na savijanje.

Fig. 3. A scheme for determination of modulus of elasticity at bending stress.

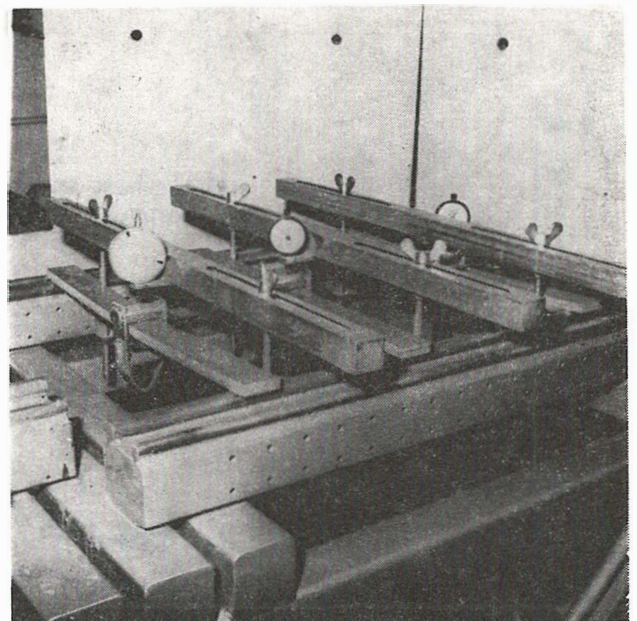
Ponašanje materijala pod dugotrajnim statičkim opterećenjem ispitano je na odgovarajućem laboratorijskom uređaju (sl. 4). Postupak ispitivanja obuhvatio je nanošenje određenog opterećenja (500 N i 1000 N) i registraciju progiba u određenim vremenskim intervalima. Za prikazivanje rezultata korišteni su dijagrami istezanje — trajanje opterećenja ($\epsilon - t$) tj. krivulja puzanja. Uobičajeno je međutim ove dijagrame prikazivati na drugi način. Posljednjih godina naročito se primjenjuju izokroni dijagrami naprezanje — istezanje ($\sigma - \epsilon$).

Unatoč širokoj rasprostranjenosti, grafičko prikazivanje ponašanja materijala ima nekoliko principijelnih nedostataka. Radi preciznijeg opisi-



Sl. 4 a. Uređaj za ispitivanje ponašanja materijala pod dugotrajnim statičkim opterećenjem

Fig. 4 a. Device for testing behaviour of material under permanent static loading



Sl. 4 b. Detalj uređaja za ispitivanje

Fig. 4 b. A detail of testing device

vanja materijala posebno u linearnom području deformiranja u svrhu obrade dobivenih rezultata predviđene su dvije matematičke metode (Burgerov model i funkcija aproksimacije). Obzirom na relativno kratko vrijeme praćenja ponašanja materijala (prosječno 155 sati) prilagođivanje po Burgerovu modelu odnosno modelu četiri parametra nije zadovoljilo, pa je primijenjena funkcija aproksimacije oblika $\epsilon(t) = \epsilon_0 + \epsilon_k \cdot t^n$, pri čemu ϵ_0 predstavlja ukupnu deformaciju $\epsilon_0 =$ elastični udio deformacije, $t =$ trajanje opterećenja, a ϵ_k i

n su dvije konstante određene metodom najmanjih kvadrata odstupanja (Program CURFIT I, mikroručunalo APPLE 11e).

Nedostatak takvog prilagođavanja se sastoji u tome što nije učinjena razlika između viskoznog i viskoelastičnog udjela deformacije, ali je ipak aproksimacija dobra, i u najvećem broju slučajeva bolja nego kod modela s 4 parametra (Burgero model).

Neovisno o načinu prilagođavanja treba uzeti u obzir da je određivanje krivulja puzanja podložno određenim greškama i da redovito dolazi do znatnog rasipanja rezultata.

NAPREZANJE I MODUL ELASTIČNOSTI

Tablica II.

Vrsta materijala	Opterećenje	Naprezanje	Modul elastičnosti E_{0*}
	F	σ_{0*}	
	N	N/mm ²	N/mm ²
jelovina	500	23,8	12429
bukovina	500	25,2	12641
	1000	50,0	-
iverica	500	11,0	2840
furn.ploča	500	24,6	6475

* Navedeni podaci su aritmetičke sredine od 8 određivanja.

3.0. REZULTATI

3.1. Naprezanje i modul elastičnosti

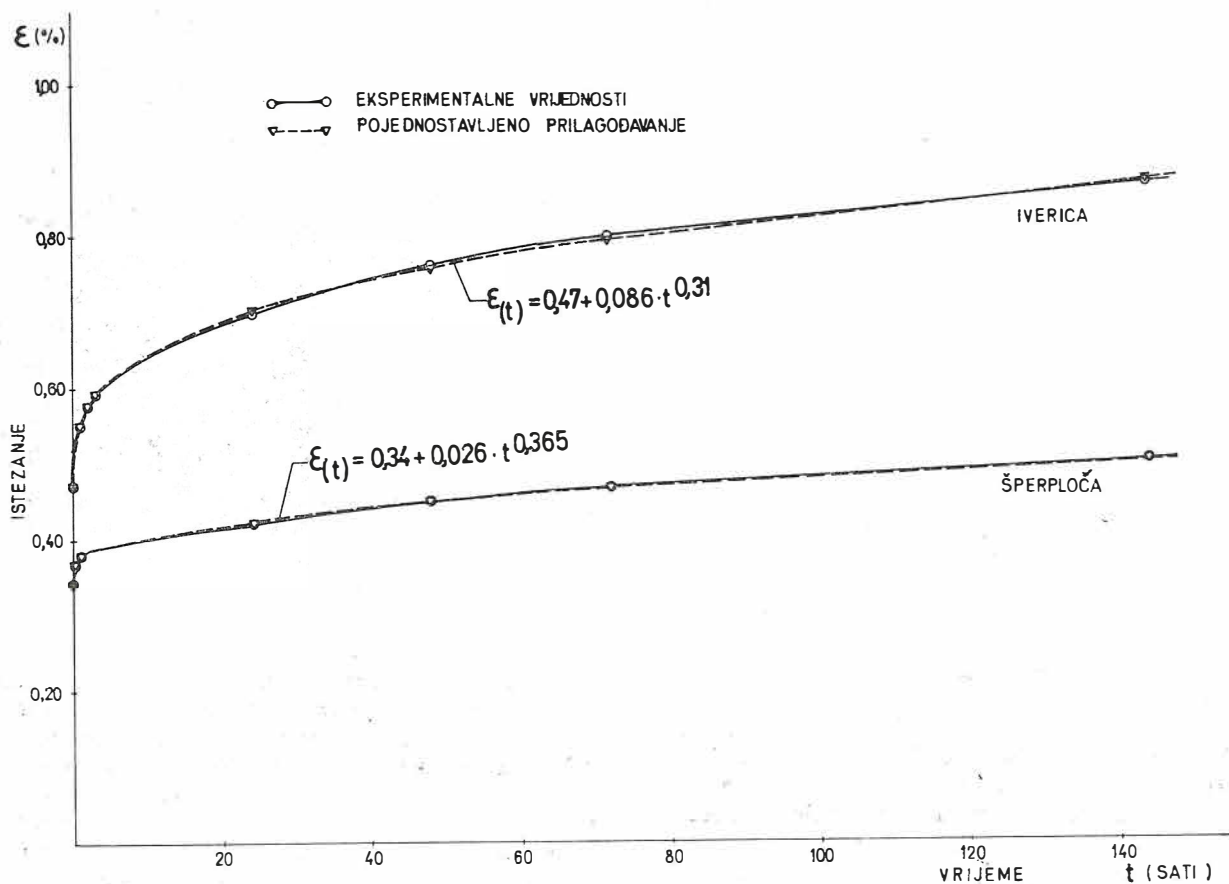
Za potrebe ispitivanja puzanja prethodno je utvrđeno naprezanje (σ_0) i modul elastičnosti (E_0). Prosječne vrijednosti prikazane su u tablici II.

Istezanje

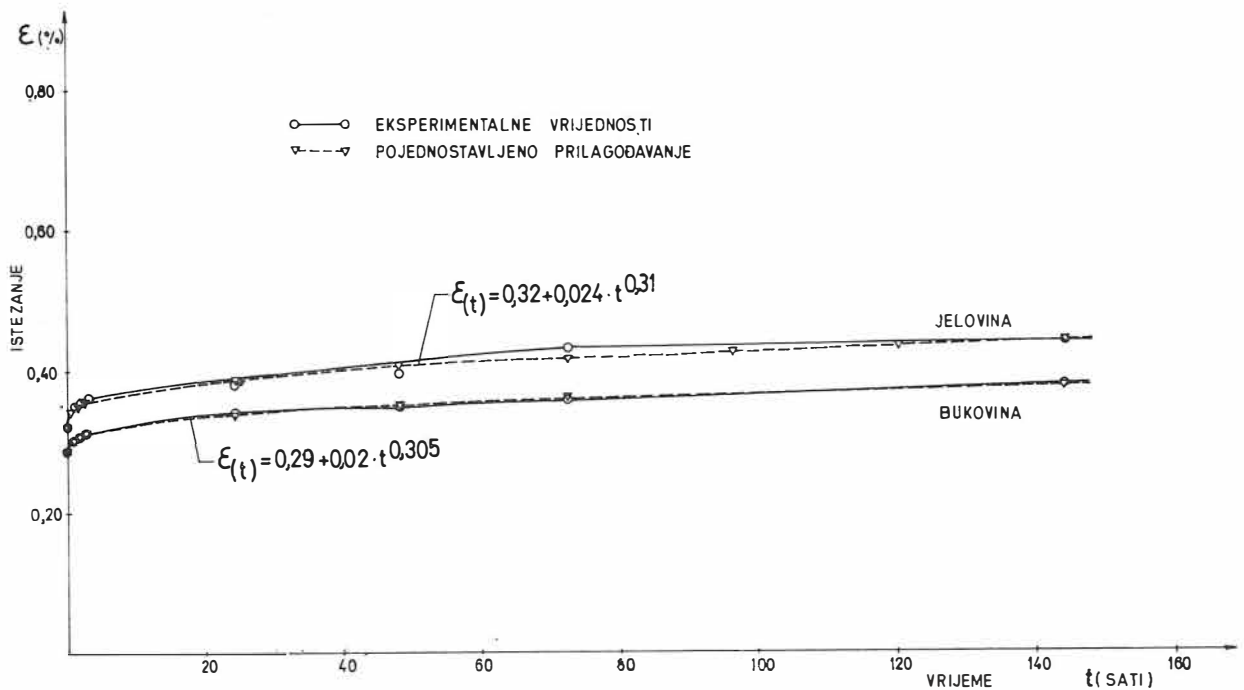
Dobiveni rezultati (\bar{x}) za istezanje (ϵ) kod određenog osnovnog naprezanja (σ_0) prikazani su u tablici III.

ISTEZANJE (ϵ) U OVISNOSTI O VRSTI MATERIJALA I TRAJANJU OPTEREĆENJA Tablica III.

Trajanje opterećenja sati	Prosječno istezanje (%)				
	jela	bukva	iverica	furn.ploča	
	$\sigma_0=23,8$ N/mm ²	$\sigma_0=25,2$ N/mm ²	$\sigma_0=11,0$ N/mm ²	$\sigma_0=24,6$ N/mm ²	
0	0,322	0,285	0,400	0,473	0,344
1	0,350	0,305	0,512	0,550	0,373
2	0,356	0,305	0,575	0,574	0,380
3	0,362	0,312	-	0,590	-
24	0,380	0,342	0,952	0,698	0,424
48	0,394	0,345	1,127	0,757	0,451
72	0,431	0,357	1,295	0,798	0,468
144	0,436	0,377	1,692	0,863	0,504



Sl. 5. Grafički prikaz krivulja puzanja, iverice i furnirske ploče pri trajnom statičkom opterećenju od 500 N.
Fig. 5. Graphic representation of creeping curves for chipboard and plywood at permanent static loading of 500 N.



Sl. 6. Grafički prikaz krivulja puzanja za jelovinu i bukovinu pri trajnom statičkom opterećenju od 500 N
Fig. 6. Graphic representation of creeping curves for firwood and beech-wood at permanent static loading of 500 N.

Kako je navedeno u opisu metodologije ispitivanja, za definiranje funkcije aproksimacije potrebno je bilo odrediti koeficijente ε_k i n . Tabela IV sadrži odgovarajuće podatke.

Tablica IV.

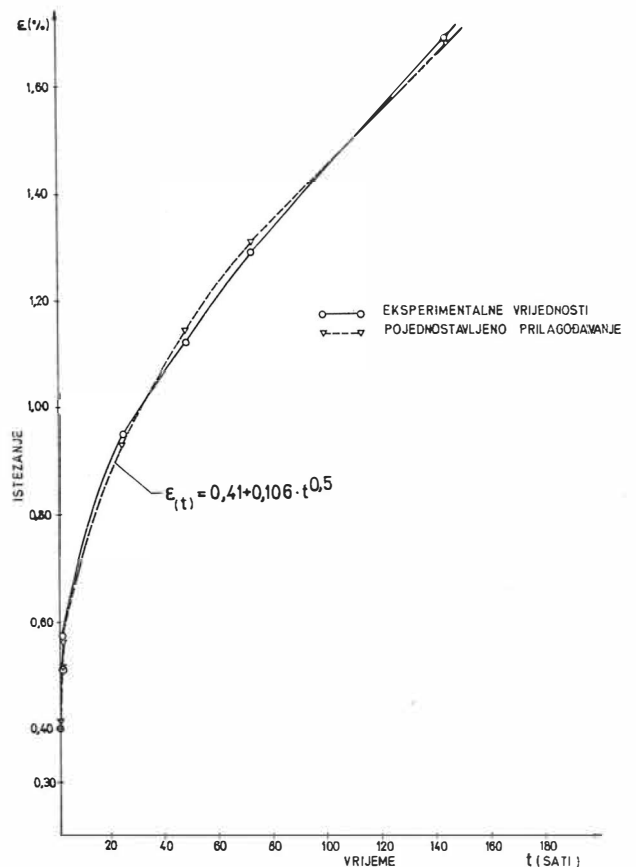
Parametri	Vrsta materijala				
	Jelovina	Bukovina	Iverica	furnir. ploče	
σ_0 (N/mm ²)	23,8	25,2	50,0	11,0	24,6
E_0 (N/mm ²)	12429	12461	—	2840	6457
ε_0	0,38	0,29	0,41	0,47	0,34
r^2	0,979	0,999	0,996	0,999	0,999
ε_k	0,024	0,020	0,106	0,086	0,026
n	0,310	0,305	0,500	0,310	0,365

Veličina r^2 predstavlja indeks deformacije tj. ona predstavlja informaciju o tome koliko se dobro izračunata funkcija aproksimacije približava eksperimentalnim vrijednostima.

Grafički prikaz eksperimentalnih podataka (pojedinačne točke) i funkcije aproksimacije za svaki ispitani materijal dat je na slikama 5, 6 i 7.

4.0. ZAKLJUČAK

Na osnovi provedenog ispitivanja zaključujemo sljedeće:



Sl. 7. Grafički prikaz krivulja puzanja za bukovinu pri trajnom statičkom opterećenju od 1000 N.

Fig. 7. Graphic representation of creeping curves for beech-wood at permanent static loading of 1000 N.

Krivulje puzanja izračunate na osnovu funkcije $\varepsilon(t) = \varepsilon_0 + \varepsilon_k \cdot t^n$ vrlo dobro se slažu s eksperimentalnim vrijednostima u području promatranog trajanja opterećenja. Ovi podaci su u skladu s rezultatima drugih autora, po kojima je Burgerov model aproksimacije prikladniji kod dužeg trajanja opterećenja, a navedena potencijnska krivulja kod kraćeg. Treba međutim istaknuti da je relativno najveće odstupanje eksperimentalnih podataka od funkcije aproksimacije utvrđeno kod jelovine, a najmanje kod furnirske ploče, što se može objasniti razlikama u građi materijala odnosno konstrukciji ploče.

LITERATURA

- [1] Beth e, E. 1969: Festigkeitseigenschaften von Bauholz bei Lagerung in Wechselklima unter gleichzeitiger mechanischer Belastung. Holz als Roh- und Werkstoff 27 (8): 291—301.
- [2] Družina, N. 1981: Metode obrade podataka o ispitivanju poliesterskih laminata u uvjetima trajnog statičkog opterećenja. Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb.
- [3] Ehrenstein, G. W. 1975: Elastisches, viskoelastisches und viskoses Verformungsverhalten, Belastungsgrenzen von Kunststoff — Bauteilen. VDI-Verl. GmbH, Düsseldorf, s. 59—81.
- [4] Indof, J. 1983: Ispitivanje mehaničkih svojstava polimernih materijala. Seminar, Društvo plastičara i gumaraca, Zagreb.
- [5] Kollmann, F. 1952: Ueber die Abhängigkeit einiger mechanischer Eigenschaften, 10 (5): 187—197. — 1959. Zeit und Festigkeit, Holz-Zentralblatt 85: 1867.
- [6] Perkitny T. u. Perkitny J. 1966: Vergleichende Untersuchungen über die Verformungen von Holz, Span und Faserplatten bei langdauernder konstanter Biegebelastung. Holztechnologie 7, 265.
- [7] Perkitny T, i Štelj er, S. 1972: Vergleichende Untersuchungen über die Verformungen von Sperr- und Schichtholz bei konstanter und variabler Dauerbiegebelastung. Holztechnologie 13 (1): 43—49.
- [8] Požgaj, A. 1982: Verformung von Holz bei Dauerstand-Biegebelastung in Aussenklima. Holztechnologie 23 (1): 36—40.
- [9] Raczhowski, J. 1969: Der Einfluss von Feuchtigkeitsänderungen auf das Kriechverhalten des Holzes. Holz als Roh- und Werkstoff 27 (6): 232—237.

STRUČNJACI U DRVNOJ INDUSTRIJI, PILANARSTVU, ŠUMARSTVU, POLJOPRIVREDI I GRAĐEVINARSTVU:

ČUVAJTE DRVO JER JE ONO NAŠE NACIONALNO BOGATSTVO!

Sve vrste drva nakon sječe u raznim oblicima (trupci, piljena građa, građevna stolarija, krovne konstrukcije, drvene oplata, drvo u poljoprivredi itd.) izložene su stalnom propadanju zbog razornog djelovanja uzročnika truleži i insekata.

ZATO DRVO TREBA ZAŠTITITI jer mu se time vijek trajanja nekoliko puta produljuje u odnosu na nezaštićeno drvo.

ZAŠTITOM povećavamo ili čuvamo naš šumski fond, jer se produljenom trajnošću smanjuje sječa. Većom trajnošću ugrađenog drva smanjujemo troškove održavanja.

TEHNIČKI CENTAR U SVOJIM LABORATORIJIMA OBAVLJA ATESTIRANJE I ISPITIVANJE SVIH SREDSTAVA ZA KONZERVIRANJE DRVA, POVRŠINSKU OBRADU, PROTUPOŽARNU ZAŠTITU DRVA I LJPILA.

Zaštitom drva smanjuje se količina otpadaka. Zaštitom drva postiže se bolja kvaliteta, a time i povoljnija cijena.

U pogledu provođenja zaštite svih vrsta drva obratite se na Tehnički centar za drvo u Zagrebu.

Centar raspolaže uvježbanim ekipama i pomagalicama, te može brzo i stručno izvesti sve vrste zaštite drva, tj. trupaca (bukva, hrast, topola, četinjače, sve vrste piljene građe, parena bukovina, krovne konstrukcije, ugrađeno drvo, oplata, lampe-rije, umjetnine itd.)