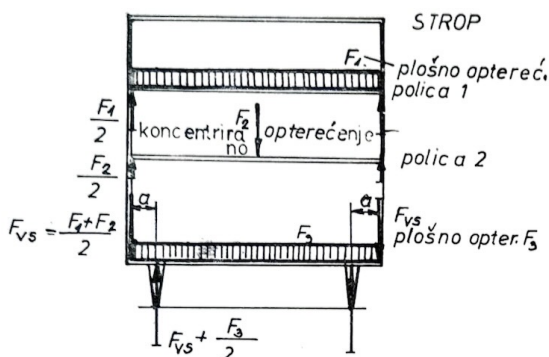


## Proračun čvrstoće namještaja (II dio)

(Nastavak iz br. 1—2/1979)

### 4. PRIKAZ PRORAČUNA PRITISKA NOGU O PODLOGU

Sile opterećenja prenose se s ploče dna elementa namještaja ili njena okvira na noge, a preko nogu na podlogu (slika 12).



Slika 12. Prijenos sile na podlogu. Dužine odgovaraju veličinama sila ( $F_{vs}$  su sile u točki prenijete na podlogu preko vanjskih sila)

O obliku nogu ili, točnije, površini tih nogu koje naliježu na podlogu, i, naravno, težini elementa namještaja zajedno s predmetima u njemu, ovisit će i specifični pritisak na podlogu. Kod manjih presjeka nogu teže opterećenih elemenata namještaja (npr. ormar za knjige), nastaje specifični pritisak koji može biti jednak maksimalnom trajno dopuštenom opterećenju za dotičnu vrstu podloge (poda) ili čak veći od nje. Tada treba predvidjeti noge veće površine nalijeganja (većih dimenzija) radi smanjenja specifičnog pritiska.

Upravo navedeni specifični pritisak na podlogu s obzirom na vrstu i kvalitetu podloge, tj. dopušteni trajni specifični pritisak na nju, odlučni su faktori za dimenzioniranje i konstrukciju nogu namještaja. Naime, čvrstoća na pritisak drva paralelno s vlakancima znatno je veća od napona pritiska koji nastaje u nozi opterećenog elementa namještaja, imajući u vidu i relativno tanke noge kod velikih dimenzija elemenata modernog namještaja. Izvijanje nogu (postrano savijanje zbog djelovanja okomitih sila) isto je tako nevjerojatno, budući da je odnos visine i pre-

#### Primjedba

U prvom dijelu ovog rada čvrstoća definiranih spojeva izražena je momentom sile ili silom kod loma, zbog nepoznate distribucije naprezanja u spoju.

sjeka takve noge još daleko premalen za ovakav slučaj opterećenja. Očito se pri djelovanju postranih sila na element namještaja (najčešće prilikom guranja) problem svodi na konstrukciju spoja nogu i dna, odnosno okvira dna tog elementa.

Institut za drvenu tehnologiju DR Njemačke vršio je pokuse i preporuča ispitivanje elemenata namještaja uz djelovanje promjenjivih postranih posmičnih sila. Veličina posmične sile, kojom se djeluje ispod samog stropa elementa namještaja, određuje se prema vlastitoj masi i upotrebnom opterećenju tog elementa. Smatra se da bi ovakva ispitivanja trebala u budućnosti provoditi za sav korpusni namještaj prema propisanim uvjetima.

Kod pravilnog učvršćenja poleđine i brižljive izvedbe kutnih spojeva trebala bi se funkcionalnost korpusnog namještaja, zbog djelovanja ovakvih postranih sila, tek neznatno sniziti. Ispitivanja su ipak kod nekih modela pokazala nedovoljnu čvrstoću spojeva nogu.

Kod guranja korpusnog namještaja i stolova nastupa između nogu i plohe poda sila trenja, čija veličina ovisi o normalnoj sili i koeficijentu trenja. Općenita formula:

$$F_R = F_N \cdot \mu$$

( $F_R$  — sila trenja u N,  $F_N$  — normalna sila u N,  $\mu$  — koeficijent trenja).  
može se primijeniti za ovaj specijalan slučaj.

Okomito na silu trenja djeluje sila opterećenja  $F$ , koja se treba izvesti iz vlastite mase namještaja i mase sadržaja (vidi sliku 12). Ona se približno podjednako raspodjeljuje na sve noge namještaja, kada je namještaj ravnomjerno opterećen. Za koeficijent trenja može se uzeti 0,3—0,6, već prema hrapavosti poda. On se utvrđuje za veličinu sile trenja kod svih vrsta površina:

$$F_R = \frac{F}{n_F} \cdot \mu$$

( $F_R$  — sila trenja,  $F$  — ukupno opterećenje u N,  $n_F$  — broj nogu).

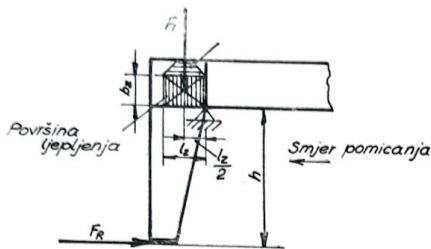
Krak sile trenja  $F_R$  je svijetla visina podnožja (slika 13).

Iz toga izlazi moment opterećenja:

$$M_B = F_R \cdot h$$

( $M_B$  — moment opterećenja u Nm,  $h$  — svijetla visina podnožja u m).

Nasuprot ovom vanjskom momentu opterećenja, djeluje unutrašnji okretni moment ovisan o vrsti i izvedbi spojeva. On se sastoji iz sile  $F_i$  i poluge  $l_z/2$ , kada  $l_z$  predstavlja dužinu čepa ili čepića. Sila  $F_i$  određuje se iz čvrstoće spajanja ljepila u  $N/cm^2$  lijepljene površine i čvrstoće loma u  $N/cm^2$  posmiku izložene površine drva. Čvrstoća spajanja ovisi o vrsti ljepila i dosjedu spojeva. Odgovarajuće vrijednosti iznose otprilike 400—600  $N/cm^2$  za uzdužno — poprečno lijepljenje drva, ako su spojevi izvedeni propisno.



Slika 13. Djelovanje sile na kutni spoj podnožja pri djelovanju sile sa strane

Ako je ljepilo nanošeno na obje strane, udvostručuje se površina lijepljenja nasuprot površini čepa. Površina pera ne uzima se u obzir, jer se tu ne primjenjuje lijepljenje radi omogućavanja bubrenja i utezanja šireg sarga. Pero ima samo zadaću da smanji iskrivljenje sarga.

Time se određuje unutarnji zakretni moment:

$$M_i \cong F_K \cdot \frac{l_z}{2}$$

$$(F_K = \tau \cdot A_K, A_K = 2 \cdot l_z \cdot b_z,$$

$$F_K = \tau \cdot 2 \cdot l_z \cdot b_z).$$

$$M_i = \frac{2 \cdot l_z \cdot b_z \cdot \tau \cdot l_z}{2}$$

$$M_i = l_z^2 \cdot b_z \cdot \tau$$

gdje je:

$$M_i = \text{unutarnji zakretni moment u N/cm}$$

$$F_K = \text{sila lijepljenja u N}$$

$$A_K = \text{površina lijepljenja u cm}^2$$

$$l_z = \text{dužina čepa u cm}$$

$$b_z = \text{širina čepa u cm}$$

$$\tau = \text{čvrstoća povezivanja u N/cm}^2$$

Spoj pokazuje dovoljnu čvrstoću kada je unutarnji zakretni moment  $M_i$  isti ili veći od momenta opterećenja, dakle

$$M_i = M_B \text{ ili } l_z^2 \cdot b_z \cdot \tau \cong F_K \cdot h.$$

## 4.1 DISKUSIJA

Kao zaključak ovoga kratkoga prikaza proračuna pritiska nogu o podlogu nameće se pitanje, kako se u Jugoslaviji pristupilo tom problemu.

Nažalost, mora se konstatirati da našim standardom nije predviđen niti proračun niti ispitivanje ovoga dosta važnoga faktora za konstrukciju elementa namještaja. JUS D.E2.077 obrađuje ispitivanje krutosti namještaja za odlaganje djelovanjem postranih sila na visini do najviše 1500 mm od podloge, tako što su noge elementa namještaja ukručene bočno s obje vanjske strane gredama fiksno učvršćene na podlogu.

Autori ovoga članka imaju namjeru predložiti način ispitivanja pritiska nogu o podlogu na sličan način, ali bez upotrebe greda na podlozi. Na takav bi element trebalo djelovati bočno, sa silom različitog intenziteta, a možda i na nekoliko različitih udaljenosti od podloge.

## 5. MOGUĆNOSTI ISPITIVANJA I PRORACUNA PLOČASTIH MATERIJALA ZA NAMJESTAJ

### 5.1. UVOD

Ispitivanja pločastih materijala namještaja, imajući u vidu njihovu praktičnu funkciju u elementu namještaja, svodi se na mehaničko ispitivanje, te ispitivanje kvalitete površine. Ovdje se obrađuje ispitivanje mehaničkih svojstava pločastih materijala.

S obzirom na ulogu pločastih materijala ugrađenih u namještaj (police, stropovi, dna, pregradne stijene, stranice itd.), izlazi da su takvi elementi kritično opterećeni silama koje deformiraju te ploče na progib.

### 5.2. ISPITIVANJE

Ispitivanje neke ploče na progib izvodi se u principu tako da se ploča na užim krajevima slobodno podupre (ovjesi — kao uložne police u namještaju) i optereti bilo kontinuiranim teretom, bilo teretom u točki (jednim utegom na jednakoj udaljenosti od obje potpore), kroz određeno vrijeme, a zatim rastereti. Mjeri se početni progib (u trenutku opterećenja), konačni progib (nakon zadanog vremena ili kada se on s vremenom prestane bitno povećavati), te progib nakon rasterećenja ploče nastao zbog plastične deformacije materijala ploče (puzanja materijala).

Kod ispitivanja namještaja predviđa se ispitivanje pločastih materijala kako su ugrađeni u namještaj, dakle u sklopu. Da to nije ni približno isto, pokazalo je i ispitivanje na progib istih pločastih materijala slobodno ovješanih na užim krajevima, zatim spojenih rastavljivim spojem na istim krajevima, te isto tako spojenih fiksnim (čvrstim) spojem (čepićima i lijepljenjem).

Pokazalo se da je kod rastavljivog spoja progib za 10—20% manji nego kod slobodnog ovješanja, a kod fiksnog spoja čak 30—40% manji

od onog kod slobodnog ovješnja (Roland — Siebert). Ovo je važno kao mogućnost utjecaja konstrukcije namještaja na ponašanje ugrađenih pločastih elemenata.

Tablica 2.

Sklop	Izvedba	Najveći progib	
Uložne police	nevidljive (iza vrata)	5 mm/m	
	vidljive (u otvorenim pretincima)	3 mm/m	
Stropovi i police	otvorenim pretincima	3 mm/m	
	zaokretna vrata	potpuno prekrivena	3 mm/m
	uska ploha dna	djelomično prekrivena	2 mm/m
	posmična vrata		2 mm/m

Standardi određuju maksimalni dozvoljeni progib za određene pločaste elemente ugrađene u namještaj te uvjete koji moraju biti zadovoljeni. Standard DDR TGL 23837 »Statika namještaja i propisi za ispitivanje funkcije korpusnog i okvirnog namještaja«, list 1, određuje maksimalni dopušteni progib za različite horizontalne plohe ugrađene u namještaj (tablica 2), a posebno propisuje opterećenja polica, koja treba uzeti u obzir kod dimenzioniranja namještaja raznih namjena (tablica 3).

Tablica 3.

Predmeti upotrebe	Opterećenje u kp m <sup>2</sup>		
Dekorativni predmeti (vinske čaše)	15		
Lagani predmeti (šeširi, ručne torbe)	20		
Posude	šalice, kantice, lonci	30	
	tanjuri	90	
Rublje	pri visini pretinca u mm	220	35
		240	42
		260	49
		280	56
		300	63
		320	70
Knjige	pri širini police u mm	do 300	17 000
		širina police	30 000
		preko 300	širina police
<b>POJEDINAČNI TERETI PREMA TGL 23837/1</b>			
Predmeti upotrebe	Opterećenje u kp		
pisaći stroj, gramofon, magnetofon	10		
radio aparat, šivaći stroj na podnožju	20		
televizor	35		

Istraživački odjel FIRA (A. J. Sparkes) preporuča određivanje maksimalnog dopuštenog progiba u vrijednosti  $\frac{1}{200}$  od dužine police, uz tra-

janje opterećenja 7 dana. Pri tome su tabelirana srednja i maksimalna opterećenja, svako u 3 gradacije zahtjeva (laki, srednji i teški), kojima moraju zadovoljiti slobodno ovješene police pojedinih vrsta namještaja (tablica 4). Također su navedene grupe namještaja podijeljene u 3 grupe prema spomenutim zahtjevima opterećenja (tablica 5).

Tablica 4.

TIP OPTEREĆENJA	1	2	3
prosječno (kg/dm <sup>2</sup> )	0,35	0,70	1,25
maksimalno (kg/dm <sup>2</sup> )	1,00	1,50	2,50

Tablica 5.

1 STUPANJ	LAKI ZAHTJEVI	kućne spavaće sobe dnevne sobe lako odlaganje
2 STUPANJ	SREDNJI ZAHTJEVI	kuhinje blagavaone kuć police za knjige bračne sobe
3 STUPANJ	TEŠKI ZAHTJEVI	police za knjige u knjižnicama uredi škole

Ovu problematiku obrađuje i JUS D.E2.059 i prijedlog JUS D.E2.068. »Namještaj za odlaganje — određivanje nosivosti polica i nosača polica«. Ovaj standard određuje statičko ispitivanje i dinamičko ispitivanje. Statičko ispitivanje je zapravo mjerenje progiba, nakon što je polica bila 28 dana pod opterećenjem. Mjeri se na tri mjesta: u sredini i na istim razmacima od kraja polica. Polica se opterećuje čeličnim pločama, mase od 1 kg i od 2 kg, točno propisanih dimenzija. Opterećenje ovisi o dubini i slobodnoj visini između polica (tablica 6). Progib se računa u postotku od dužine police i maksimalne dopuštene vrijednosti, prikazane u tablici 7.

Tablica 6.

Dubina police u mm	slobodna visina između polica mm			
	do 210	210 do 250	250 do 300	preko 300
	opterećenje u kg/100 mm dužine			
150	2	2	2	2
150 do 180	2	2	3	3
180 do 210	2	2	3	4
210	2	3	4	5

Tablica 7.

	Osnovni uslovi	Visoki uslovi	Posebno visoki uslovi
<i>Nosivost</i>			
c) Otpornost polica inosača polica pri ispitivanju udarom	Bez 4) oštećenja	Bez 4) oštećenja	Bez 4) oštećenja
d) ugib polica 5) pri ispitivanju statičkim opterećenjem u % dužine polica.			
Otvorene police	0,6 %	0,45 %	0,3 %
Police iza vrata	1,0 %	0,5 %	0,5 %
(Police pliće od 17 cm, ili police od stakla nemaju uslova)			

U tablici 4. navedeni su i uvjeti kojima mora udovoljiti polica kod dinamičkog ispitivanja na udar, također propisanog JUS-om D.E2.059. Pločasti su materijali često i dinamički opterećeni; npr. kada se na policu stavlja neki teži predmet (televizor), ne može se idealno lagano spustiti, a slično je i kod premještanja teških predmeta po policama prilikom čišćenja i dr.

Dinamičko ispitivanje polica vrši se pomoću 3 vrste čeličnih ploča, mase 0,6; 1,25 i 1,5 kg. Kod ispitivanja se upotrebljavaju ploče prema tablici 8 (tabela 1 JUS D.E2.059).

Tablica 8.

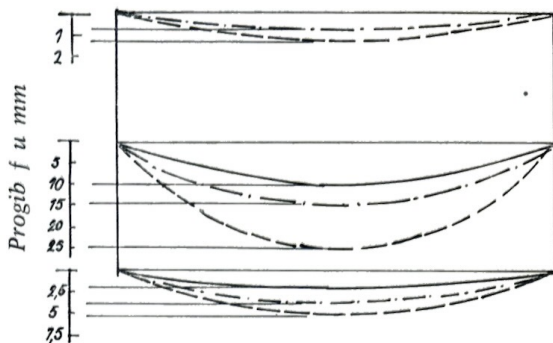
Dubina police mm	slobodna visina između polica u mm		
	250	250 do 300	300
	Masa čelične ploče, kg		
180	0,60	0,60	0,60
180 do 210	0,60	1,25	1,25
210	0,60	1,25	1,50

### 5.3. PRORACUN PROGIBA PLOČASTIH MATERIJALA

#### A) Prema Roland-Siebertu:

Kod konstrukcije namještaja potrebno je ispravno dimenzionirati pločaste elemente u skladu s propisanim vrijednostima za maksimalno dopušten progib. Da bi se to postiglo, potrebno je razmotriti što se sve dešava s pločastim materijalima kod kojih se, zbog djelovanja sila opterećenja, pojavljuje progib. Na slici 14. prikazan je progib police na visećem ormaru pod upotrebnim opterećenjem.

Iz slike 14. vidi se da se progib police zbog djelovanja težine tereta postepeno povećava u odnosu na početni progib, a nakon rasterećenja ne vraća se ponovno potpuno u prvobitno stanje. Očito se, osim elastičnog rastezanja koje nastupa na donjoj strani police i vraća se nakon rasterećenja u prvobitni položaj, pojavljuje i trajno i vremenski ovisno rastezanje, što dovodi do trajne deformacije police. Ovakvo ponašanje materijala naziva se puzanje. Tok puzanja počinje



Slika 14. Progib vodoravnih elemenata visećeg ormara pod upotrebnim opterećenjem:

- neposredno po početku djelovanja opterećenja
- - - nakon 9 tjedana djelovanja trajnog opterećenja
- · - · 1 tjedan po rasterećenju

stavljanjem tereta, a završava tek poslije duljeg vremena. Vrijednost maksimalne trajne (plastične) deformacije označava se koeficijentom puzanja  $\varphi$ . To je odnos plastičnog i elastičnog rastezanja određenog materijala. Ovdje je kod drvnih materijala važna relativna vlažnost zraka, koja direktno utječe na sadržaj vlage u drvu. Povećanjem vlažnosti smanjuju se čvrstoća i elastičnost drvnih materijala, a to pri većem opterećenju, odnosno progibu, drvene ploče utječe na porast plastične deformacije (povećano puzanje materijala). Zato i standardi određuju klimatske uvjete kojima mora biti izložen namještaj određeno vrijeme prije ispitivanja.

Jasno je da se zbog puzanja promijenio i modul elastičnosti, što kod računanja progiba treba uzeti u obzir. Računanje modula elastičnosti po završenom puzanju materijala ( $E_t$ ) iz početnog modula elastičnosti materijala ( $E_0$ ) vrši se po formuli:

$$E_t = \frac{E_0}{1 + \varphi} \quad (I)$$

gdje je koeficijent puzanja = odnos trajnog i elastičnog rastezanja.

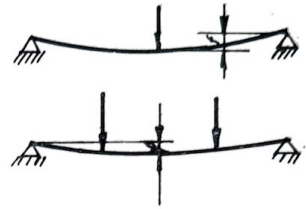
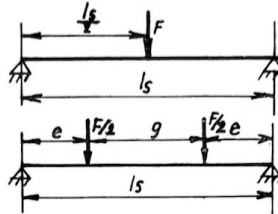
U tablici 9. navedene su orijentacijske vrijednosti  $E_0$ ,  $\varphi$  i  $E_t$  za razne pločaste materijale. Te vrijednosti ovise o kvaliteti materijala, a naročito o kvaliteti donjeg sloja, koji je najviše opterećen na rastezanje, kao i srednjeg sloja. Zbog nehomogenosti drvnih pločastih materijala (npr. ploče iverice), moduli elastičnosti i koeficijent puzanja variraju 10—20%. Da bi se izbjegle greške, tabelirane vrijednosti uzete su tako da će najmanje 90% svih materijala ispuniti navedene vrijednosti.

Već je spomenuto da se, uz iste uvjete opterećenja, najveći progib javlja kod slobodno ovješnih polica. Progib se, kod raznih djelovanja tereta, prema Rolandu i Siebertu (sl. 15), izračunava kako slijedi:

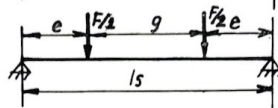
Tablica 9.

MATERIJAL	modul elastičn. $E_t$ na početku opterećenja $kp\ cm^2$	vrijeme puzanja $t$ u tjednima	koeficijent puzanja $f$	modul elastičn. $E_t$ nakon isteka puznog vremena $t$ u $kp\ cm^2$
puno drvo (četinjače)	95000	4...6	0,45	65500
panel ploča (furnirana)	50000	6...8	0,50	33000
iverica (furnirana)	45000	11...13	0,53	29000
iverica (sa slojevima folija)	28000	11...13	0,55	18000
iverica (sirova)	24000	11...13	0,64	14500
polutvrda vlaknatica (sa furnirom)	36000	13...16	0,53	23500
polutvrda vlaknatica (sa folijom)	23000	13...16	0,58	14500
polutvrda vlaknatica (sirova)	20000	13...16	0,67	12000

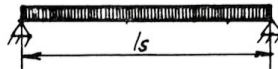
a) pojedinačni teret  $F$  djeluje u točki sredine:



b) pojedinačni teret djeluje u sredini kao par sila  $F/2 + F/2$ :



c) djeluje kontinuirano opterećenje:



Slika 15. Nekoliko slučajeva opterećenja horizontalnih pločastih elemenata namještaja

a) Ako pojedinačni teret  $F$  djeluje u točki sredine (slika 15. a):

$$f = \frac{F \cdot l_s^3}{4 E_t \cdot b \cdot a^3} \quad (II)$$

b) Ako pojedinačni teret djeluje u sredini kao par sila  $\frac{F}{2} + \frac{F}{2}$  (npr. podnožje televizora)

(slika 15. b):

$$f = \frac{F(l_s - g)(2l_s^2 + 2gl_s - g^2)}{8 \cdot E_t \cdot b \cdot a^3} \quad (III)$$

c) ako djeluje kontinuirano opterećenje  $q$  (slika 15. c):

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot l_s^4}{32.100 E_t \cdot b \cdot a^3} \quad (IV)$$

gdje je:

$f$  = progib u cm

$F$  = pojedinačni teret u kp (vrijednosti u tabl. 3.)

$l_s$  = udaljenost potpora = duljina police = širina pretinca u cm

$b$  = širina police u cm

$a$  = debljina police u cm

$E_t$  = modul elastičnosti nakon isteka vremena puzanja u  $kpcm^{-2}$  (vrijednosti tablice 9)

$g$  = udaljenost zahvatnih točaka para sila u cm

$q$  = kontinuirano opterećenje u  $kp\ m^{-1}$ .

Ukoliko se primijene nove jedinice (SI. list 13/76):  $MN/m^2$  za modul elastičnosti i  $kg$  za masu (opterećenje), svaka od formula (II do IV) mora se pomnožiti s  $9,81 \cdot 10^{-2}$ .

Vrijednost  $q$  iz formule (IV) navedena je u  $kp/m$  duljine police. Budući da se kontinuirano opterećenje i kontinuirana težina materijala police odnose u pravilu na 1 kvadratni metar, moraju se oba podatka pomnožiti širinom police:

$$q = (G_A + F_A) \cdot b \quad (V)$$

$q$  = kontinuirano opterećenje

$G_A$  = plošna težina materijala police u  $kp\ m^{-2}$

$F_A$  = orijentacijska vrijednost plošnog opterećenja prema tabl. 6 u  $kp\ m^{-2}$

$b$  = širina police u m.

B) Prema prijedlogu FIRA:

A. J. Sparkes iz Istraživačkog odjela FIRA navodi u svom članku slijedeću formulu za izračunavanje progiba slobodno ovješanih pločastih materijala:

$$D = \frac{5 w L^4}{32 E_t^3} \cdot 9,81 \cdot 10^{-4} \quad (\text{VI})$$

gdje je:

- $D$  = centralno uvijanje (progib) (mm)  
 $L$  = razmak između nosača (mm)  
 $t$  = debljina ploče (mm)  
 $w$  = kontinuirano opterećenje ( $\text{kg}/\text{dm}^2$ )  
 $E$  = modul elastičnosti materijala ploče ( $\text{MN}/\text{m}^2$ )

U ovoj formuli nije uzeta u obzir promjena modula elastičnosti nakon završetka puzanja materijala. Module elastičnosti nekih osnovnih drvnih pločastih materijala, debljine 16 mm, daje A. J. Sparkes, kako je navedeno u tablici 10.

Usporedi li se proračun progiba prema Roland-Siebertu i FIRA, uočava se nekoliko činjenica:

- FIRA predlaže proračun samo uz djelovanje kontinuiranog opterećenja na policama, a Roland i Siebert obrađuju i slučajeve djelovanja sile u točki ili dviju sila na sredinu police.
- FIRA ne uzima u obzir promjenu modula elastičnosti zbog puzanja materijala.
- Budući da se progib uz djelovanje iste vrste opterećenja mora računati prema zakonima statike, to su i formule identične, ali uz različito upotrijebljene jedinice.

Uzme li se za primjer 16 mm debela, furnirana iverica, dimenzija  $800 \times 400$  mm, koju upotrebljavamo kao policu kuhinjskoga namještaja opterećenu na maksimalno predviđeno opterećenje (tanjuri), iz navedenih tablica izlazi:

*Roland-Sieber*

$$\begin{aligned}
 E_0 &= 45\,000 \text{ kp}/\text{cm}^2 \quad (4.410 \text{ MN}/\text{m}^2) \\
 E_t &= 29\,000 \text{ kp}/\text{cm}^2 \quad (2.844 \text{ MN}/\text{m}^2) \\
 F_A &= 90 \text{ kp}/\text{m}^2 = 0,9 \text{ kp}/\text{dm}^2 \\
 G_A &= 12 \text{ kp}/\text{m}^2 \text{ (težina ploče)} = \\
 &0,12 \text{ kp}/\text{dm}^2 \quad F_A + G_A = 1,02 \text{ kp}/\text{dm}^2
 \end{aligned}$$

Prema formulama (IV) i (V) izlazi:

$$f = \frac{5 \cdot 40,8 \cdot 80^4}{32 \cdot 100 \cdot 29000 \cdot 40 \cdot 1,6^3} = 0,55 \text{ cm} = 5,50 \text{ mm}$$

Ako se uzme da se radi o prikrivenim policama:

Za progib računat prema Roland-Siebertu:

(tablica 5) maksimalno dozvoljen progib je od 5 mm/m, tj.  $f_{\text{dozv.}} = 4$  mm za naš slučaj, što je za čitavih 1,5 mm manje od našega rezultata.

PLOČASTI MATERIJAL	Modul elastičnosti $\text{MN}/\text{m}^2$
iverica	3000
furnirana iverica	6000
oplemenjena iverica melam.folijom	3000
brezova šperploča	6000
šperploča izrađena od brezovog slijepljenog furnira	10000
lesonit sred. gustoće	1800
dvostrano obrađeni lesonit	4000
tvrdi lesonit	3000

Izračunajmo još koja bi debljina ploče dala, uz iste uvjete, traženi progib od 4 mm, prema TGL 23837:

$$a = \frac{5 \cdot q \cdot l_s^4}{32 \cdot 100 \cdot E_t \cdot b \cdot f} = \frac{5 \cdot 40,8 \cdot 80^4}{32 \cdot 100 \cdot 29000 \cdot 40 \cdot 0,4}$$

$$a = 1,8 \text{ cm} = 18 \text{ mm}$$

Prema ovom rezultatu, polica bi trebala biti izrađena od 2 mm deblje ploče iverice (furnirane) nego prema predlošku FIRA, a to znači da je potrebno 12,5% više materijala za isti proizvod.

Ako se promotri proračun, postaje jasno zbog čega je došlo do razlike u rezultatu. FIRA predlaže veća opterećenja, ali je i modul elastičnosti znatno iznad vrijednosti iz tablice Roland-Siebert, čak i ne uzimajući u obzir smanjeni modul elastičnosti.

*FIRA*

$$\begin{aligned}
 E &= 6000 \text{ MN}/\text{m}^2 \\
 w &= 1,5 \text{ kg}/\text{dm}^2
 \end{aligned}$$

Prema formuli (VI) izlazi:

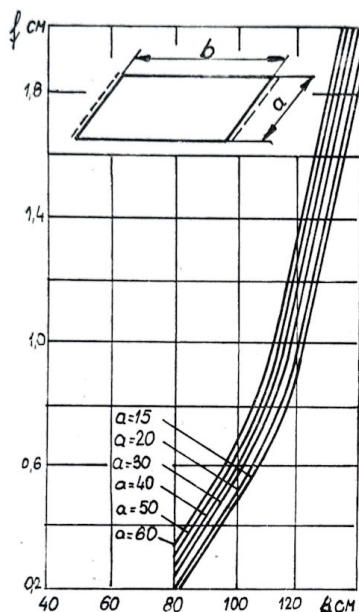
$$D = \frac{5 \cdot 1,5 \cdot 800^4}{32 \cdot 6000 \cdot 16^3} \cdot 9,81 \cdot 10^4 = 3,88 \text{ mm}$$

Za progib prema FIRA:

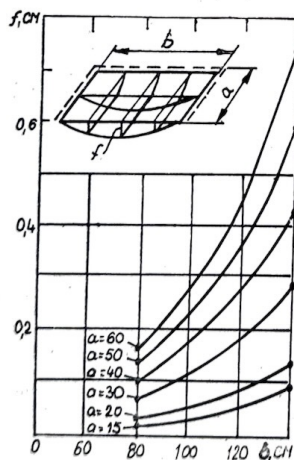
$$\text{uzima se } D_{\text{dozv.}} = \frac{1}{200} \cdot 800 = 4 \text{ mm, a to bi zadovoljavalo uvjete.}$$

stičnosti nakon puzanja opterećenog materijala. Usporedi li se još maksimalno dopušteni progib prema JUS-u D.E2.068 od 0,5‰ dužine police, za visoke uvjete, tj. ponovno 4 mm, dobiva se potpunija slika.

Poseban interes može predstavljati i projekt novog sovjetskog standarda »PLOČE IVERICE«, iz kojeg su uzete slike 16 i 17. Slika 16. je nomogram za određivanje progiba police oslonjenih na dvije nasuprotne sponne kod debljine furnirane iverice od 16 mm. Slika 17. je nomogram za određivanje progiba police oslonjenih na tri strane kod debljine furnirane iverice od 16 mm.



Slika 16. Nomogrami progiba police od furniranih iverica (deblj. 16 mm) oslonjenih na 2 strane



Slika 17. Nomogrami progiba police od furniranih iverica (deblj. 16 mm) oslonjenih na 3 strane

Sva tri razmotrena slučaja predlažu iste ili približno iste maksimalno dopuštene progibe, ali ne barataju istim podacima za modul elastičnosti i predlažu različita maksimalna opterećenja. Očito je da se polazi od vizuelnih efekata koji ne smiju biti narušeni progibom police, a putovi kako to postići ovise o tradicionalnim veličinama koje su uobičajene ili se postižu u pojedinim državama, kako kod primijenjenih materijala, tako kod uvjeta kojima ti materijali moraju odgovarati.

Nažalost, ne raspoložemo podacima o karakteristikama pločastih materijala koji se upotrebljavaju u proizvodnji namještaja kod nas. Koliko je poznato, nitko dosad nije izvršio ispitivanja modula elastičnosti, koeficijent puzanja itd. ploča iverica neoplemenjenih, furniranih ili obloženih folijom, oplemenjenih, zatim šperploča, panel-ploča, ploča vlaknatica i ploča od ostalih materijala ili kombinacija tih materijala i sastavio tablicu poput tablice br. 9, prenjete iz knjige Roland-Siebert.

Kod nas se računa s podacima iz strane literature, i ne zna se koliko se griješi primjenjujući ih kod proračunavanja konstrukcija izrađenih od domaćih materijala.

#### PRIMJER

A. Uredski ormar JADRAN OU-26

1. Proračun prema standardima DR Njemačke (TGL)

Ako se uzme da je namještaj namijenjen za odlaganje knjiga, onda za police širine preko 300 mm kontinuirano opterećenje iznosi

$$\frac{30000}{385} = 77,92 \text{ kp/m}^2$$

Služimo se formulom za računanje progiba

$$f = \frac{5q \cdot l_s^4}{32 \cdot 100 E_t \cdot b \cdot a^3}$$

gdje je:

$$q = 77,92 \cdot 0,385 = 30,00 \text{ kp m}^{-1}$$

$$l_s = 74,6 \text{ cm}$$

$$b = 38,5 \text{ cm}$$

$$a = 1,8 \text{ cm}$$

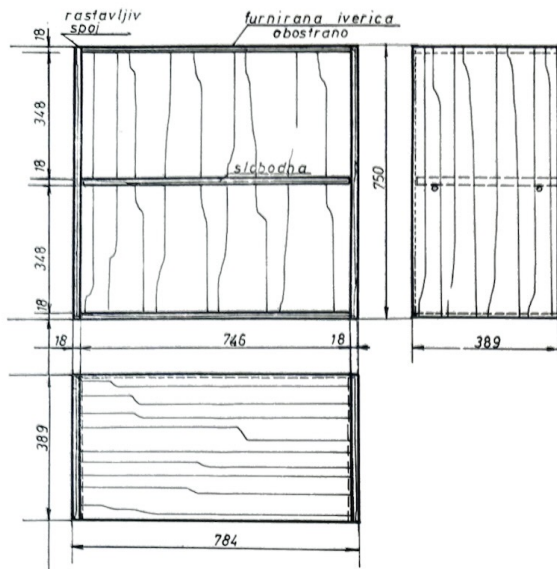
$$E_t = \text{za furniranu ivericu} = 45.000 \text{ kp cm}^{-2}$$

$$f = \frac{32 \cdot 100 \cdot 4500 \cdot 38,5 \cdot 1,8^3}{5 \cdot 30 \cdot 74,6^4} = 0,144 \text{ cm} = 1,44 \text{ mm}$$

Prema tablici 2, za vidljive police dozvoljen je maksimalan progib 3 mm/m, a to za naš slučaj iznosi  $3 \cdot 0,746 = 2,24 \text{ mm} > 1,44 \text{ mm}$ , pa prema tome zadovoljava.

2. JUS ne predviđa računanje progiba, već određuje:

Prema tablici 6. (Tab. 2 JUS D.E2.059) kontinuirano opterećenje  $5 \text{ kg/dm}^2 = 50 \text{ kg/m}^2$ .



Slika 18. Primjer iz prakse: ormarić uredski OU-26

Prema tablici 7. (Tab. 3 JUS D.E2.068), za otvorene police i visoke uslove dozvoljen je progib 0,45 ‰, odnosno 4,5 mm/m', što za naš slučaj iznosi  $4,5 \cdot 0,746 = 3,36$  mm.

Prema proračunu po TGL normama uzeto je, dakle, veće opterećenje i dobiven je progib od 1,44 mm, što je daleko manje od dozvoljenog progiba po JUS D.E2.068, koji za naš slučaj iznosi 3,36 mm.

3. Računanje prema preporukama FIRA u ovom slučaju ne bi bilo usporedivo, jer su u njihovoj tablici (naša tablica 10) navedeni moduli elastičnosti za pločaste materijale debljine 16 mm.

#### B. Kontrola na primjeru kuhinjskog namještaja koji je u upotrebi cca 1 godinu

Mjerenje je vršeno na slobodno ovješenoj polici od iverice obložene folijom, na visećem elementu opterećenom tanjurima.

Dimenzije police:  $762 \times 200 \times 12$  mm

Izmjereno opterećenje: 10,01 kg = 65,68 kg/m<sup>2</sup>

Progib u opterećenom stanju iznosio je na sredini 6 mm

Progib odmah nakon rasterećenja iznosio je na sredini 3 mm

Za zatvorene police dozvoljeni progib iznosi:

- Prema JUS D.E2.068: za visoke uslove 5 ‰, odnosno 3,81 mm za naš slučaj:  
— za osnovne uslove 10 ‰, odnosno 7,62 mm za naš slučaj
- Prema TGL 23837, tab. 19:  
— za nevidljive police 5 mm/m, odnosno za naš slučaj 3,81 mm.

Budući da je izmjereni progib bio 6 mm, on ne zadovoljava visoke uslove po JUS-u niti uslove po TGL. Zadovoljeni su samo osnovni uslovi po JUS-u.

Izračunajmo još teoretski promijenjeni modul elastičnosti naše police djelovanja opterećenja kroz godinu dana:

Iz formule (IV), poglavlje (5), izlazi:

$$E_t = \frac{5 \cdot q \cdot l_n^4}{32 \cdot 100 \cdot f \cdot b \cdot a^3} = \frac{5 \cdot 13,14 \cdot 76,2^4}{32 \cdot 100 \cdot 0,6 \cdot 20 \cdot 1,3^3} \text{ a}$$

$$E_t = 26 \cdot 255,72 \text{ kp/cm}^2 = 2 \cdot 575,69 \text{ MN/m}^2$$

Prema tablici 9, koeficijent puzanja  $\phi$  za ivericu obloženu folijom iznosi 0,55 za 11—13 tjedana, pa ako se pretpostavi da se nije bitnije mijenjao kroz godinu dana, dobije se iz formule I poglavlje 5:

$$E_0 = E_t (1 + \phi)$$

$$E_0 = 26 \cdot 255,72 (1 + 0,55)$$

$$E_0 = 40696,37 \text{ kp/cm}^2 = 3 \cdot 992,31 \text{ MN/m}^2$$

Kako je već napisano u zaključku 5. poglavlja, konkretni podaci za module elastičnosti i koeficijente puzanja za drvene ploče domaćih proizvođača ne postoje. Kod nas se vrše atestiranja i ispitivanja drvnih ploča, i postoje podaci o njihovoj čvrstoći na savijanje, ali se ta ispitivanja vrše za neoplemenjene i nefurnirane drvene ploče, i to samo za neke, a prema navedenim podacima iz stranih izvora vide se znatne razlike između modula elastičnosti npr. neobrađenih i furniranih ploča iverica. S obzirom na ove razlike, ne može se iz podataka o neoplemenjenoj ploči izvesti zadovoljavajući podatak o modulu elastičnosti za oplemenjenu ploču, a upravo ti podaci su za nas važni, budući da se namještaj izrađuje iz oplemenjenih ploča.

Podaci o koeficijentu puzanja materijala iz kojih su izrađene drvene ploče domaće proizvodnje uopće ne postoje, i nije poznato da je itko do danas vršio takva ispitivanja. Ipak, nadajući se da podaci domaćih materijala znatnije ne odstupaju od stranih, moglo bi se, za primjer A, zadovoljiti rezultatom.

Kod primjera B, koji je tek zadovoljio osnovne uvjete JUS-a a sve ostale nije, bez točnih podataka o modulima elastičnosti i koeficijentima puzanja ne mogu se izraditi zaključci. Ako se i uzme da se teoretskim računom došlo do približno točnog modula elastičnosti, veliko je pitanje koliko je točno izračunat  $E_0$ .

Očito je da bez pouzdanih podataka za domaće materijale svi pokušaji ovakvih proračuna dolaze u pitanje.

#### LITERATURA

- BAHTEJAROV, V., D., i dr.: Spravočnik po derevoobrabotke, Moskva 1975.
- ROLAND, K., i SIEBERT, W.: Möbelbau, Leipzig 1975.
- SPARKES, A., J.: Tops, bottoms and shelves. Fira Bulletin 14 (1974) 48. 8—10.
- ECKELMAN, C., A. i HINCZ, T., W.: Strength and stiffness of dowel joints in flatwise bending, Part I, II. Furniture, methods & materials, oct. 1977; dec. 1977.
- DZIUBA, T., i KWIATKOWSKI, K.: Überprüfung des Berechnungsverfahrens für die Konstruktion von Stühlen. Holztechnologie 17 (1976).
- \*\*\* JUS standardi.

Recenzent:

Doc. dr Boris Ljuljka, dipl. ing.  
Stjepan Storga, dipl. ing.