

O otpornosti furnirske ploče prema tlaku i stlačenju okomito na ravninu lista u lijepljenim građevinskim konstrukcijama

M. M. Guskov, kand. teh. nauka, docent
Moskovski inženjersko-građevinski institut
V. V. Kujbiševa

UDK 634.0.832.28

Primljeno: 4. siječnja 1981.

Izvorni znanstveni rad

Prihvaćeno: 5. lipnja 1981.

Sažetak

Težište rada stavljeno je na ispitivanje otpornosti brezovih furnirskih ploča na tlak i stlačenje okomito na ravninu lista. Na taj su način dopunjeni neophodno potrebni podaci za projektiranje i proračun lijepljenih građevinskih konstrukcija koje su u nekim elementima izložene tlaku i stlačenju.

Rad se sastoji od teoretskog i praktičnog dijela. U teoretskom razmatranju tlaka i stlačenju građevinske furnirske ploče opterećenjem okomitim na ravninu lista kao nelinearnog elastičnog sloja konačne debljine, upotrijebljeni su rezultati istraživanja drugih autora o deformiranju linearno-elastičnog sloja i primijenjeni na uvjete ispitivanja furnirskih ploča.

Rezultati eksperimentalnog rada pokazali su dovoljnu podudarnost s teoretski izračunatim vrijednostima. Odstupanja se kreću u granicama 0 — 10%, što svjedoči o prikladnosti teorije za ocjenu deformiranja građevinske furnirske ploče pri lokalnom tlaku i stlačenju kvadratičnim pritisknim tijelom.

Ključne riječi: otpornost prema tlaku i stlačenju — lijepljene građevinske konstrukcije — deformacija linearno-elastičnog sloja — hrapavost površine — modul deformacije površine

RESISTANCE OF PLYWOOD TO PRESSURE AND COMPRESSION PERPENDICULAR TO SHEET SURFACE IN LAMINATED CONSTRUCTIONS

Summary

The stress in this work has been put on testing resistance of birch plywood on pressure and compression perpendicular to sheet surface. In this way, indispensable data for making projects and calculations of laminated building constructions, exposed in some elements to pressure and compression, have been supplemented.

The study comprises theoretic and practical part. In the theoretic considerations of pressure and compression of building plywood by a load perpendicular to sheet surface as non-linear elastic layer of final thickness, the results of researches of the other authors about deformation of linear-elastic layer have been employed and applied to testing conditions of plywood.

Results of experimental work show sufficient consistency with the theoretically calculated values. Deviations range within the limits 0 — 10% proving applicability of theory for evaluation of deformation of building plywood at local pressure and compression by square pressing body.

Key words: resistance to pressure and compression — laminated building constructions — deformation of linear-elastic layer — surface roughness module of surface deformation (A. M.)

1. UVOD

Sveukupna pozitivna svojstva brezove furnirske ploče omogućuju njenu upotrebu kao konstrukcijskog materijala u građevinarstvu.

Ipak, danas još nema iscrpnih podataka potrebnih za projektiranje i proračun lijepljenih građevinskih konstrukcija iz furnirskih ploča, jer fizikalna i mehanička svojstva nisu dovoljno izučena. Tako npr. u literaturi nema podataka o otpornosti brezovih furnirskih ploča prema tlaku i stlačenju okomito na ravninu lista, iako je furnirska ploča u nekim elementima građevinskih konstrukcija izložena tlaku i stlačenju.

Iz navedenog proizlazi da je zadatak teoretskog i eksperimentalnog istraživanja otpornosti građevinske furnirske ploče prema tlaku i stlačenju okomito na ravninu lista aktualan i ima praktično značenje za projektiranje i proračun slijepjenih građevinskih konstrukcija.

Za istraživanje je odabrana brezova furnirska ploča marke RSR (GOST 3916—69), proizvedena u Ust-Ižovskoj tvornici, i finska konstrukcijska furnirska ploča sličnih svojstava marke EXTERIOR (SFOS. IV. 1:R) koja se proizvodi u tri različite tvornice.

Bila je ispitivana brušena i nebrušena furnirska ploča čistoće površine $\Delta \delta 6$ po GOST 7016-75. Furnirska je ploča bila proizvedena vrućim prešanjem. Svi slojevi pojedinih furnirskih listova imali su jednaku debljinu. Furnirska ploča proizvedena u Sovjetskom Savezu bila je slijepljena krezolformaldehidnom smolom S-35.

Ispitivala su se slijedeća svojstva građevinske furnirske ploče pri tlaku i stlačenju opterećenjem okomito na ravninu lista:

- deformativnost građevinske furnirske ploče pri tlaku i stlačenju po čitavoj površini;
- deformativnost građevinske furnirske ploče pri lokalnom tlaku i stlačenju;
- čvrstoća građevinske furnirske ploče pri tlaku i stlačenju po čitavoj površini;
- čvrstoća građevinske furnirske ploče pri lokalnom tlaku i stlačenju.

Zadatak istraživanja bio je i iznalaženje utjecaja nekih faktora na čvrstoću i elastična svojstva furnirske ploče kako slijedi:

- intenzivnost tlačnog i stlačujućeg opterećenja,
- vrsta tlaka i stlačenja (lokalno — čitava površina),
- dimenzije uzoraka,
- čistoća površine i drugo.

Pri provođenju istraživanja otpornosti građevinske furnirske ploče prema tlaku i stlačenju okomito na ravninu lista bili su ispunjeni uvjeti odgovarajućih standarda (GOST) koji su se odnosili na furnirsku ploču ili na drvo. Za ispitiva-

nje su izrađeni uzorci u obliku provokutnog paralelopipeda, čija je visina bila debljina furnirske ploče koja se ispitivala (δ), a stranica kvadratične baze paralelopipeda iznosila je:

$$a + 2l$$

gdje je:

- a — dimenzija stranice pritisnog tijela,
- l — dimenzija dijela uzorka koji ostaje izvan pritisnog tijela.

Pri izradi uzoraka, lice i naličje furnirske ploče nije se obrađivalo da se izbjegne narušavanje strukture furnirske ploče.

Debljina furnirske ploče δ iznosila je 10, 12, 18, 24 i 30 mm, uz broj slojeva furnira u paketu od 7, 9, 13, 17 i 21 sloj.

Dužine nadmjera l, za koje uzorak izlazi izvan pritisnog tijela, varirale su od 0 do 120 mm.

Vlažnost uzoraka u času ispitivanja iznosila je 7—8 %.

Ispitivanje građevinske furnirske ploče na tlak i stlačenje opterećenjem okomitim na ravninu lista provodilo se uz brzinu opterećivanja od 2,0 MPa/min.

Tlak i stlačenje uzoraka postavljenih na krutu podlogu ostvarivao se krutim kvadratnim pritisnim tijelom dimenzija baze $a \times a$; 30 x 30, 60 x 60, 90 x 90 i 120 x 120 mm.

Podloga i pritisna tijela bili su od čelika s poliranim radnim površinama. Okomitost opterećivanja na ravninu lista postizavala se uz pomoć dvostrukog zgloba. Mjerenje deformacija vršilo se satnim indikatorima (komparatorima). U nekim slučajevima primjenjivale su se otporne mjerne trake (tenzorezistori) s odgovarajućim automatskim mjeracima deformacija. Istraživanje hrapavosti vršilo se pomoću mikroskopa TSP-4 UKR-NIMODA.

2. TEORIJA LOKALNOG TLAKA I STLAČENJA GRAĐEVINSKE FURNIRSKE PLOČE OPTEREĆENJEM OKOMITIM NA RAVNINU LISTA KAO NELINEARNO ELASTIČNOG SLOJA KONAČNE DEBLJINE POSTAVLJENOG NA KRUTOJ PODLOZI I TLAČENOG KRUTIM PRITISNIM TIJELOM

U osnovu teoretskog rješenja zadatka o deformaciji građevinske furnirske ploče pri tlaku i stlačenju okomito na ravninu lista postavljene su slijedeće pretpostavke:

1. Uzorak furnirske ploče predstavlja nelinearno elastični sloj debljine δ koji je postavljen na krutu podlogu i tlačen je kvadratičnim krutim pritisnim tijelom čija je dimenzija stranice a . U ovisnostima o odnosima dimenzija površine pri-

tisnog tijela i furnirske ploče razlikuju se dvije vrste tlaka i stlačenja furnirske ploče kod djelovanja opterećenja okomito na ravninu lista:

- a) lokalni tlak i stlačenje,
- b) tlak i stlačenje po čitavoj površini.

2. Između nelinearno elastičnog sloja i krutog pritisnog tijela postoji trenje, jednako kao i između tog sloja i krute podloge.

3. Vertikalno premještanje pritisnog tijela w (w_l pri lokalnom tlaku i stlačenju; w_n pri tlaku i stlačenju po čitavoj površini) sastoji se od vertikalnog premještanja w_{st} izazvanog stlačenjem furnirske ploče po površinama i vertikalnog premještanja w_{ut} , tlačenja furnirske ploče po svim površinama ili w_{ut} utiskivanja tijela pri lokalnom tlaku i stlačenju:

$$w_n(\sigma_n, a, \delta) = w_{st}(\sigma_n) + w_{tl}(\sigma_n, a, \delta) \quad (1)$$

$$w_l(\sigma_l, a, \delta) = w_{st}(\sigma_l) + w_{ut}(\sigma_l, a, \delta) \quad (2)$$

Još treba pripomenuti da je površinsko stlačenje deformacija do koje dolazi na mjestima kontakta tijela koja se međusobno tlače. Ove pretpostavke razotkrivaju bit teoretskog problema koji se sastoji od dvostrukog nelinearnog zadatka deformacije furnirske ploče pri tlaku i površinskom stlačenju opterećenjem okomitim na ravninu lista. Kod tog napregnutog stanja furnirska ploča ima:

— fizikalnu nelinearnost koja se karakterizira nelinearnom ovisnošću deformacija w_{tl} ili w_{ut} o naprezanju σ ,

— geometrijsku nelinearnost koja se karakterizira nelinearnom ovisnošću deformacije površinskog stlačenja hrapavih površina furnirske ploče o naprezanju σ .

U formulama (1) i (2) jedan od članova je $w_{st}(\sigma)$, čiji maksimalni iznos može biti određen teoretski ako se pretpostavi da deformacija površinskog stlačenja ovisi o hrapavosti površine.

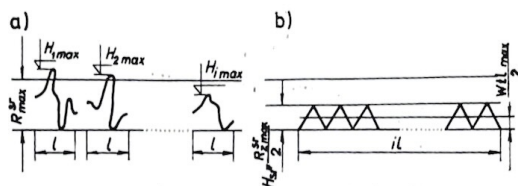
U skladu s GOST 7016—75, karakteristika za određivanje razreda hrapavosti furnirske ploče jest veličina:

$$Rz_{max} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 Hi_{max} \quad (3)$$

gdje je: Hi_{max} — maksimalna visina neravnina (μm) na segmentu koji se istražuje u granicama duljine osnove uređaja. $i = 5$ (sl. 1).

Uz pretpostavku da je visina neravnina profila Hi slučajna veličina koja se potčinjava zakonu normalne distribucije, onda srednja visina neravnina profila furnirske ploče može biti izražena formulom:

$$Hsr = \frac{Rz^{sr}_{max}}{2} \quad (4)$$



Slika 1 — Hrapavost površine furnirske ploče
a) stvarni rough profiles on worn out places, duljina osnove I b) model profila površine

Fig. 1 — Rough plywood surface
a) actual rough profiles on worn out places, base length I b) model of surface profile

Model profila hrapave površine građevinske furnirske ploče može biti predočen u vidu sistema zubaca koji imaju oblik istokračnih trokuta jednake visine Hsr i proizvoljne osnove.

Ako se prihvati takav model profila hrapave površine, može se računati da maksimalna veličina deformacije površinskog stlačenja na obje površine furnirske ploče može iznositi veličinu srednje visine neravnina:

$$w_{st\ max}^t = \frac{2\ Hsr}{2} = \frac{Rz^{sr}_{max}}{2} \quad (5)$$

Kod teoretskog rješenja zadatka o lokalnom tlaku građevinske furnirske ploče, tj. o utiskivanju pritisnog tijela, koristilo se istraživanjem Milovića, D. M. i Tourniera, J. P. [1] o deformiranju linearno-elastičnog sloja konačne debljine koji se nalazi na krutoj podlozi. U skladu s tim istraživanjem, premještanje elastičnog sloja pod ravnim pritisnim tijelom pravokutnog presjeka pri izostanku premještanja na granici elastični sloj — podloga u smjeru glavnih osi koordinata (sl. 2) izražava se jednadžbama sastavljenim iz trigonometrijskih redova Furiea.

$$u = \sum_m \sum_n U_{mn}(z) \sin \alpha x \cos \beta y \quad (6)$$

$$v = \sum_m \sum_n V_{mn}(z) \cos \alpha x \sin \beta y \quad (7)$$

$$w_{ut} = \sum_m \sum_n W_{mn}(z) \cos \alpha x \cos \beta y \quad (8)$$

gdje je:

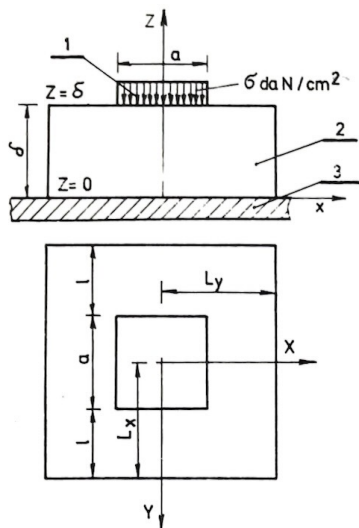
$$\alpha = \frac{m \pi}{Lx} \quad (8a)$$

$$\beta = \frac{n \pi}{Ly} \quad (8b)$$

Lx i Ly — dimenzije elastičnog sloja u smjeru osi x i y na granici elastični sloj — podloga.

Računalo se na slijedeće granične uvjete:

$$\begin{aligned} \text{kod } z = 0 \quad u = 0, \quad v = 0, \quad w_{ut} = 0 \\ \text{kod } z = \delta \quad \tau_{xz} = 0, \quad \tau_{yz} = 0, \quad W_{mn} = 10^{-3} a_{mn} \end{aligned}$$



Slika 2 — Shema lokalnog tlaka i površinskog stlačenja uzorka furnirske ploče

Fig. 2 — SHEME of local pressure and surface compression on plywood sample

Kod danih graničnih uvjeta, vertikalno pre-mještanje W_{ut} pritisknog tijela izražava se formulom:

$$w_{ut} = 10^{-3} \sum a_{mn} \cos \alpha_{m x} \cos \beta_{n y} \quad (9)$$

gdje je:

$$a_{mn} = \frac{4}{L_x L_y} \int_{-\frac{L_y}{2}}^{\frac{L_y}{2}} \int_{-\frac{L_x}{2}}^{\frac{L_x}{2}} f(xy) \cos \frac{m \pi x}{L_x} \cos \frac{n \pi y}{L_y} dx dy \quad (10)$$

Računanje integrala (10) vršeno je na električnom računalo. Na temelju istraživanja bila je predložena formula za izračunavanje dubine utiskivanja krutog pritisknog tijela u linearno-elastični sloj koji se nalazi na krutoj podlozi:

$$w_{ut}(\sigma_1, a, \delta) = \frac{\sigma_1 \cdot a}{E} \cdot J_w \quad (11)$$

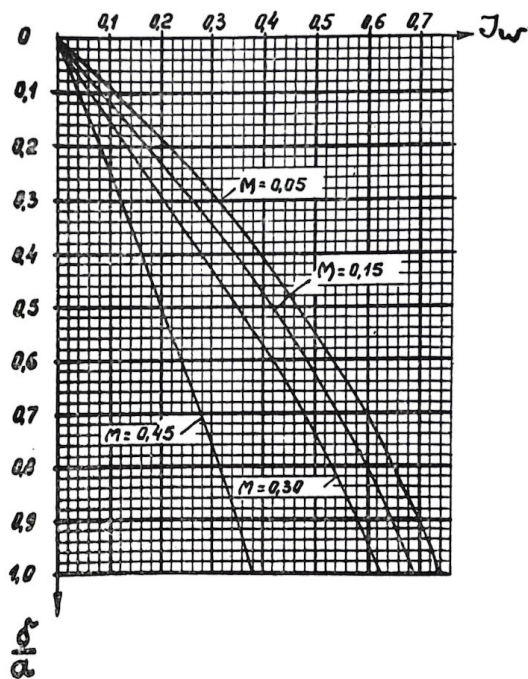
gdje je: a u mm, σ_1 i E u MPa.

Za brzo određivanje bezdimenzionalnog koeficijenta I_w , koji ovisi o koeficijentu poprečne deformacije μ i kod kvadratičnog pritisknog tijela o odnosu δ/a , bili su izrađeni grafovi za materijale s koeficijentima poprečne deformacije μ ; 0,15; 0,30 i 0,45 (sl. 3).

Mada je furnirska ploča nelinearno elastični materijal, mjerni koeficijent poprečne deformacije može se uzeti kao konstantna veličina $\mu = 0,05$.

Uz pretpostavku da je modul tlaka furnirske ploče promjenjiva veličina koja ovisi o napreza-

nju σ_1 , onda uvodeći u istraživanje pojam sekantni modul tlaka $E_S(\sigma_1)$, poznat u nelinearnoj građev-



Slika 3 — Ovisnost koeficijenta I_w o odnosu δ/a (δ — debljina elastičnog sloja, a — dimenzije stranice pritisknog tijela) i koeficijenta poprečne deformacije μ materijala elastičnog sloja.
Fig. 3 — Dependence of coefficient I_w on relation δ/a (δ — thickness of elastic layer, a — dimensions of pressing body side) and coefficient of transverse deformation μ of elastic layer material

noj mehanici, može se za određene stupnjeve intenzivnosti naprezanja lokalnog tlaka upotrijebiti formula (11) za izračunavanje dubine utiskivanja krutog kvadratičnog pritisknog tijela u šperploču. Kod toga se formula (11) pretvara u formulu:

$$w_{ut}(\sigma_1, a, \delta) = \frac{\sigma_1 \cdot a}{E_S(\sigma_1)} \cdot J_w^{(\delta/a)} \quad (12)$$

Supstituirajući (12) u formulu (2) dobiva se:

$$w_l(\sigma_1, a, \delta) = w_{st}(\sigma_1) + \frac{\sigma_1 \cdot a}{E_S(\sigma_1)} \cdot J_w^{(\delta/a)} \quad (13)$$

Veličine

$$w_{st}(\sigma_1), E_S(\sigma_1) \text{ i } J_w^{(\delta/a)} \quad (13 a)$$

za određene stupnjeve intenzivnosti naprezanja lokalnog tlaka i površinskog stlačenja bile su određene pomoću eksperimentalnih istraživanja.

Dobivena je krivulja ovisnosti koeficijenta

$$J_w^{\mu=0,05} \quad (13 b)$$

o odnosu δ/a , koja je prikazana na sl. 3.

Teoretsko rješenje zadatka o deformaciji prizme od elastičnog materijala pri tlaku i površinskom stlačenju po čitavoj površini do danas nije nađeno.

3. ČVRSTOĆA GRAĐEVINSKE FURNIRSKE PLOČE NA TLAK I POVRŠINSKO STLAČENJE OKOMITO NA RAVNINU LISTA

Kao ishodišna karakteristika čvrstoće furnirske ploče na tlak i površinsko stlačenje pod utjecajem opterećenja okomito na ravninu lista uzeta je uvjetna granica čvrstoće R_{uv} , koja se određuje strojevima za ispitivanje uzoraka furnirske ploče, kako na tlak i stlačenje po čitavoj površini tako i kod lokalnih deformacija. Obje vrste ispitivanja provodile su se analogno s ispitivanjima za određivanje uvjetne granice čvrstoće pri lokalnom stlačenju poprečno na vlakanca po GOST 16484.2—70.

Na temelju statističke obrade rezultata istraživanja, ustanovljeno je da uvjetna granica čvrstoće R_{uv} , normativna R_n i proračunska R ovise o debljini furnirske ploče δ (mm), ali ne ovise o dimenziji pritisnog tijela, a i dimenziji nadmjere l . Za građevinsku furnirsku ploču debljine 10 do 30 mm, uvjetna granica čvrstoće, te normativna i proračunska, mogu se odrediti u skladu s formulama:

$$R_{uv}(\delta) = (9,35 - 0,085 \delta) \text{ MPa} \quad (14)$$

$$R_n(\delta) = (7,50 - 0,075 \delta) \text{ MPa} \quad (15)$$

$$R(\delta) = (5,00 - 0,050 \delta) \text{ MPa} \quad (16)$$

gdje je: δ debljina furnirske ploče u mm.

4. ISTRAŽIVANJE DEFORMATIVNOSTI FURNIRSKE PLOČE ZA GRAĐEVINARSTVO ZBOG DJELOVANJA OPTEREĆENJA OKOMITO NA RAVNINU LISTA

Usporedba dijagrama tlačenja furnirske ploče opterećenjem okomitim na ravninu lista i dijagrama tlačenja drva daje mogućnost pretpostavci da u osnovu proračuna konstruktivnih elemenata od furnirskih ploča izloženih tlaku i površinskom stlačenju, pod utjecajem opterećenja okomito na ravninu lista, može biti uzeta uvjetna granica čvrstoće čija je maksimalna veličina blizu ali ne prelazi 10 MPa.

Kod intenzivnosti naprezanja iznad 10 MPa, u slučaju lokalnog tlaka i površinskog stlačenja zapažalo se presjecanje vlakancu vanjskog furnira pritisnim tijelom. Na temelju navedenog, istraživanje deformacije furnirske ploče zbog tlaka i tlačenja okomito na površinu lista bilo je ograničeno na područje intenzivnosti naprezanja od 0 — 10 MPa.

Eksperimentalne veličine deformacija W furnirske ploče za građevinarstvo određene su pri prvom kontinuiranom opterećivanju uzoraka tlačnim opterećenjem koje je povećavano jednoličnom brzinom. Opterećivanje se vršilo bez prethodnog pretprešanja.

U procesu istraživanja bio je postavljen zadatak da se na temelju eksperimentalnih podataka

nađe matematička jednadžba ovisnosti među veličinama deformacije W građevinske furnirske ploče i intenzivnosti tlačnog naprezanja σ okomito na ravninu lista.

Komparativnom analizom, pomoću metode najmanjih kvadrata, ustanovljeno je da je najveće približenje eksperimentalnih i proračunatih podataka bilo kod primjene jednadžbe koja povezuje veličine deformacije i intenzivnost naprezanja kako slijedi:

$$W^T(\sigma, a = \text{const}, \sigma = \text{const}) = A\sigma^2 + B\sigma + C \quad (17)$$

Član jednadžbe C uključuje u sebi nepovratne deformacije početnog perioda opterećivanja uzoraka i praktički ne ovisi o stupnju opterećenja. Ustanovljeno je da su te deformacije uglavnom povezane s odstranjenjem koritavljenja uzoraka i djelomično neravnina na njihovoj površini. Poslije opterećenja uzorci se često deformiraju zbog oslobađanja unutrašnjih naprezanja, uvjetovanih različitim temperaturno-higroskopskim faktorima u vrijeme izrade furnirske ploče i uzoraka za ispitivanje.

U istraživanjima deformativnosti primjenjiva na je slijedeća metoda obrade rezultata ispitivanja: za izmjerene deformacije u jednakim intervalima opterećivanja, uz brzinu povećanja opterećenja 2,0 MPa/min, zasebno za svaki uzorak obračunati su parametri A , B i C iz jednadžbe [17]. Da bi se isključile deformacije početnog perioda i da se dobiju rezultati prikladni za usporedbu s rezultatima ispitivanja drugih uzoraka iz eksperimentalnih podataka, isključeni su koeficijenti C , te su na taj način svi podaci uvjetno svedeni na nultu točku koordinatnog sistema. Tako je dobivena deformacija koja ovisi o opterećenju i potčinjava se zakonima deformiranja.

$$W^T(\sigma, a = \text{const}, \delta = \text{const}) = A\sigma^2 + B\sigma \quad (18)$$

Polazeći od pretpostavke da deformacija površinskog stlačenja ovisi o hrapavosti površine i pri tome predstavlja znatan dio sumarne deformacije tlaka i površinskog stlačenja, uz suradnju s CNIIF provedena su istraživanja hrapavosti površine uzoraka furnirske ploče koji su upotrijebljeni u ovim istraživanjima.

Klasa hrapavosti brušene i nebrušene furnirske ploče određivala se u skladu s GOST 7016—75 (DRVO, HRAPAVOST POVRŠINE, PARAMETRI I KARAKTERISTIKE), uz pomoć mikroskopa TSP—4. Karakteristika za određivanje klase hrapavosti površine uzoraka bila je aritmetička sredina $R_z \text{ max}$, prema formuli (3). Bila je istražena hrapavost lica i naličja. Rezultati tih istraživanja prikazani su u tablici I.

REZULTATI ISPITIVANJA ZA ODREĐIVANJE KLASJE HRAPAVOSTI UZORAKA FURNIRSKE PLOČE

TESTING RESULTS FOR DETERMINATION OF ROUGHNESS DEGREE OF PLYWOOD SAMPLES

Tablica I

Table I

| Debljina furnirske ploče mm | Način obrade površine | Broj uzoraka | Strana furnirske ploče | | | | $R_{z \max}$ Srednja vrijednost za obje strane furnirske ploče m |
|--------------------------------|-----------------------|--------------|------------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|--|
| | | | lice | | naličje | | |
| | | | R_z^1 max m | klasa hrpavosti površine | R_z^n max m | klasa hrpavosti površine | |
| 30 | nebrušeno | 1 | 113,5 | 6 | 127,4 | 6 | 109,8 |
| | | 2 | 101,3 | 6 | 142,8 | 6 | |
| | | 3 | 79,7 | 7 | 93,8 | 7 | |
| 24 | nebrušeno | 1 | 123,8 | 6 | 102,0 | 6 | 116,2 |
| | | 2 | 107,5 | 6 | 98,4 | 7 | |
| | | 3 | 134,0 | 6 | 130,1 | 6 | |
| 18 | nebrušeno | 1 | 96,0 | 7 | 116,6 | 6 | 115,6 |
| | | 2 | 114,5 | 6 | 137,5 | 6 | |
| | | 3 | 123,8 | 6 | 105,4 | 6 | |
| 12 | nebrušeno | 1 | 136,2 | 6 | 141,6 | 6 | 122,8 |
| | | 2 | 123,4 | 6 | 116,6 | 6 | |
| | | 3 | 93,6 | 7 | 92,2 | 7 | |
| 10 | brušeno | 1 | 134,6 | 6 | 105,8 | 6 | 120,2 |

Srednja vrijednost za $R_{z \max}$ bila je $116 \mu\text{m}$, što odgovara klasi hrpavosti $\nabla \delta 6$. Za iznalaženje utjecaja vlažnosti na hrpavost površine bila su provedena ispitivanja dva uzorka koji su izrađeni iz jedne ploče. Određivanje klase hrpavosti provodilo se mjerenjem na 10 mjesta na površini uzoraka pomoću mikroskopa TSP-4.

Početna vlažnost furnirske ploče iznosila je 5,3%, čemu odgovara relativna vlaga zraka od 15% kod temperature od 20°C. Dobivena karakteristika $R_{z \max}^{\text{sr}} = 107 \mu\text{m}$ pokazala je da hrpavost površine u prosjeku odgovara klasi $\nabla \delta 6$. Mjesta na površini uzoraka gdje se mjerila hrpavost točno su bila označena. Mjerenje i određivanje klase hrpavosti na označenim mjestima vršilo se poslije klimatizacije uzoraka u eksikatorima nad površinom vode u toku 5 dana. Vlažnost uzoraka pri tome je porasla od 17,8% (odgovarajuća vlaga zraka $\phi = 90\%$). Pokazalo se da se kod promjene vlažnosti furnirske ploče od 5 do 18% hrpavost površine praktički

ne mijenja, jer je $R_{z \max}^{\text{sr}}$ bio $111 \mu\text{m}$. Ipak treba reći da promjene od 18% do 21%, kao i od 5% do 0% dovode do znatnih promjena hrpavosti, ali ipak unutar klase $\nabla \delta 6$. Tako se zaključno može reći da se kod promjene vlažnosti zraka u intervalu od 5% do 90% hrpavost ne mijenja.

Zasebno se istraživalo pitanje ovisnosti veličine deformacije površinskog stlačenja po čitavoj površini furnirske ploče o intenzivnosti naprežanja koja djeluju okomito na ravninu. Na osnovi eksperimentalnih podataka za svaki stupanj naprežanja, bila je izvršena podjela sumarnih defor-

macija »w« svedenih na uvjetnu nulu na deformaciju površinskog stlačenja »Wst« na boje površine i deformaciju tlaka »Wtl«.

Bilo je pretpostavljeno da su deformacije stlačenja na obje površine jednake. Treba navesti da deformacija površinskog stlačenja ne ovisi o dimenziji pritisnog tijela »a« niti o debljini šperploče δ . Za određivanje eksperimentalnih veličina sumarnih deformacija tlaka i stlačenja »W« koje nisu vezane za uvjetnu nulu, upotrijebljeni su satni indikatori, a za određivanje veličina deformacije tlaka »Wtl« specijalni tenzorezistori kojima je moguće mjeriti velike deformacije. Pretpostavljalo se i da je stlačenje uzorka po čitavoj debljini jednako i proporcionalno srednjoj vrijednosti deformacije tlaka 1 mm osnovice tenzorezistora koji su bili vertikalno nalijepljeni po jedan komad na sredini bočne površine uzorka. Ukupno je s tenzorezistorima ispitano 16 uzoraka brušene sedmeroslojne furnirske ploče marke FSF, vrste V/VV. Hrapavost furnirske ploče bila je u okviru klase $\nabla \delta 6$. Dimenzije uzoraka bile su $10 \times 40 \times 40$ mm. Brzina opterećivanja iznosila je 2,5 MPa/min. Mjerenja i obračun vršeni su u intervalima opterećivanja 1,0 MPa. Uzorci su se ispitivali u značajno suhom stanju.

Kao rezultat ispitivanja 16 uzoraka dobivene su veličine deformacije stlačenja uzoraka po čitavoj površini w_{st} , kao razlika između veličina sumarnih deformacija tlaka izjednačenih k uvjetnoj nuli, stlačenja w i deformacija tlaka w_{tl} , tj.:

$$w_{st}(\sigma) = w(\sigma) - w_{tl}(\sigma) \quad (19)$$

Izračunate vrijednosti deformacija prikazane su u tablici II.

DEFORMACIJE GRAĐEVINSKE FURNIRSKE PLOČE SVEDENE NA UVJETNU NULU KOD OKOMITIH OPTEREĆENJA PO ČITAVOJ POVRŠINI

Tablica II

DEFORMATION OF CONSTRUCTION PLYWOOD REDUCED TO CONDITION ZERO AT PERPENDICULAR LOADING ON COMPLETE SURFACE

Table II

| Naprežanje | Sumarna deformacija tlaka i stlačenja | Deformacija tlaka | Deformacija stlačenja (na dvije površine) |
|------------|---------------------------------------|--------------------|---|
| σ_n | $w(\sigma_n)$ | $w_{tl}(\sigma_n)$ | $w_{st}(\sigma_n)$ |
| MPa | mm | mm | mm |
| 1,0 | 0,023 | 0,011 | 0,012 |
| 2,0 | 0,053 | 0,031 | 0,022 |
| 3,0 | 0,078 | 0,047 | 0,031 |
| 4,0 | 0,099 | 0,063 | 0,036 |
| 5,0 | 0,119 | 0,077 | 0,042 |
| 6,0 | 0,143 | 0,092 | 0,051 |
| 7,0 | 0,162 | 0,109 | 0,053 |
| 8,0 | 0,183 | 0,127 | 0,056 |
| 9,0 | 0,203 | 0,147 | 0,056 |
| 10,0 | 0,224 | 0,168 | 0,056 |

Iz podataka tablice II slijedi da do deformacije stlačenja dolazi uglavnom u početnom periodu opterećivanja furnirske ploče, a brzina povećavanja deformacije smanjuje se s porastom opterećenja. Počevši od naprezanja 6,0 MPa, porast deformacija se praktički prekida, pri čemu je maksimalna veličina

$$w_{st \max}(\sigma) = 56 \mu\text{m}$$

Ako se uspoređi maksimalna veličina deformacije stlačenja furnirske ploče na obje površine (56 μm) sa srednjom veličinom maksimalnih visina neravnina $R_{z \max}^{ds} = 120,2 \text{ mm}$ (vidi tablicu I za debljinu furnirske ploče 10 mm), naći će se da je

$$w_{st \max}(\sigma_n) \approx \frac{1}{2} R_{z \max}^{ds} \approx 60,1 \mu\text{m} \quad (13 \text{ c})$$

Eksperimentalno istraživanje deformativnosti građevinske furnirske ploče počelo je s iznalaženjem utjecaja nadmjere »l« na deformativnost.

Uz ostale konstantne uvjete (jednaka debljina »δ«, jednaka dimenzija »a«) varirana je dimenzija nadmjere »l«.

Da bi se moglo izvršiti izjednačavanje (usporedba) s rezultatima ispitivanja na tlak i stlačenje po čitavoj površini, kod ispitivanja na lokalni tlak i stlačenje upotrijebilo se isto pritisno tijelo.

Analiza dobivenih rezultata pokazala je da se utjecaj nadmjere »l« očituje na veličinu deformacije furnirske ploče, koje su pri lokalnom tlaku i stlačenju uvijek manje od deformacije tlaka i stlačenja po čitavoj površini. Međutim, ovaj utjecaj dolazi u punoj mjeri do izražaja pri neznatnoj veličini nadmjere »l« (npr. za furnirsku ploču debljine 12 mm, $l = 2 \text{ mm}$) i kod daljeg povećanja nadmjere »l« utjecaj ostaje jednak. Ovo je omogućilo uočavanje rezultata ispitivanja na lokalni tlak i stlačenje kod uzoraka jednake debljine »δ« tlačenim prisilnim tijelom istih dimenzija »a«, koji imaju različite dimenzije nadmjere »l«.

Koristeći se podacima iz ispitivanja uzoraka s jednakim odnosom δ/a i formulom (13), bili su određeni bezdimenzionalni koeficijenti $I_w \mu = 0,05$ (δ/a) za različite odnose debljinske furnirske ploče »δ« i stranice pritisnog tijela »a«, a također za svaki stupanj intenzivnosti naprezanja σ , bile su izračunate vrijednosti sekantnog modula tlaka $E_s(\sigma_1)$ i deformacije stlačenja po dvjema površinama w_{st}^t koje su navedene u tablici III.

U tablici III se vidi da je maksimalna deformacija $w_{st}^t(\sigma_1)$ lokalnog stlačenja izračunata analitički približno jednaka deformaciji stlačenja $w_{st}(\sigma_n)$ kod djelovanja opterećenja po čitavoj površini furnirske ploče. Ova se pojava objašnjava

OVISNOST VELIČINE DEFORMACIJE STLAČENJA $w_{st}^t(\sigma_1)$ I SEKANTNOG MODULA TLAKA $E_s(\sigma_1)$ O INTENZIVNOSTI NAPREZANJA σ_1 KOD LOKALNOG TLAKA I STLAČENJA

Tablica III

DEPENDENCE OF COMPRESSION DEFORMATION $w_{st}^t(\sigma_1)$ AND SECANT PRESSURE MODULE $E_s(\sigma_1)$ ON INTENSITY OF TRAIN σ_1 AT LOCAL PRESSURE AND COMPRESSION

Table III

| Naprezanje, MPa | Deformacija lokalnog stlačenja w_{st}^t (), mm | Sekantni modul tlaka E_s (), MPa |
|-----------------|---|-------------------------------------|
| 2,0 | 0,033 | 3250 |
| 3,0 | 0,045 | 2450 |
| 4,0 | 0,051 | 1980 |
| 5,0 | 0,052 | 1650 |
| 6,0 | 0,052 | 1420 |
| 7,0 | 0,052 | 1245 |
| 8,0 | 0,052 | 1110 |
| 9,0 | 0,052 | 1010 |
| 10,0 | 0,052 | 910 |

time što se pri lokalnom tlaku i stlačenju zbog natezanja vlakanca dijelovi uzorka izvan pritisnog tijela podižu.

Potpuno dobra usklađenost eksperimentalnih i teoretskih podataka bila je dobivena u slučaju ako se uzme u obzir da se sekantni modul tlaka mijenja po zakonu:

$$E_s(\sigma_1) = \frac{9100,0}{0,9\sigma_1 + 1,0} \text{ MPa} \quad (20)$$

Formula 12, uz pomoć formule (20), može se transformirati u izraz:

$$w_{st}^t(\sigma_1, a, \delta) = \frac{\sigma_1 \cdot a (0,9\sigma_1 + 1,0)}{9100,0} \cdot J_w^{a=0,05}(a/\delta) \quad (21),$$

gdje je sekantni modul lokalnog tlaka:

$$E_s^l(\sigma_1, a, \delta) = \frac{9100,0 \delta}{a \cdot (0,9\sigma_1 + 1,0) \cdot J_w^{a=0,05}(\delta/a)} \quad (22)$$

Dobivena je dobra usklađenost izračunatih i eksperimentalnih podataka. Odstupanja se nalaze uglavnom u granicama 0 do 10% i tek su u nekim slučajevima veća od 10%. To svjedoči o prikladnosti izložene teorije za ocjenu deformiranja građevinske furnirske ploče pri lokalnom tlaku i stlačenju kvadratičnim pritisnim tijelom.

Formula (22) omogućuje prijelaz k proračunu lijepljenih konstrukcija iz furnirske ploče na lokalni tlak i stlačenje uz pomoć elektroničkih računala, ako se takva konstrukcija razmatra kao slojevita osnovica [2]. Za takav proračun ranije je nedostajalo poznavanje veličine modula deformacije pri tlačenju furnirske ploče.

Kao rezultat provedenih istraživanja ustanovljena je ovisnost između naprezanja tlaka i stla-

čenja po čitavoj površini σ_n (a, δ) i punog naprezanja lokalnog stlačenja σ_l (σ_n, a, δ) koji izazivaju pri istim parametrima »a« i » δ « jednaku deformaciju uzoraka.

Jednadžba veze ima oblik:

$$\sigma_l(\sigma_n, a, \delta) = \frac{\sigma_n(a, \delta) - 2}{k(a, \delta)} \quad \text{MPa} \quad (23),$$

gdje je:

$$k(a, \delta) = 0,2069 + 0,4186 \lg a - 0,4666 \lg \delta - 0,0417 \lg \delta \lg a \quad (24)$$

Ustanovljena ovisnost (23) dozvoljava primjenu teoretskog rješenja zadatka o deformaciji furnirske ploče pri lokalnom tlaku i stlačenju i rješenju zadatka o tlaku i stlačenju po čitavoj površini.

Na temelju provedenih istraživanja čvrstoće i deformativnosti građevinske furnirske ploče pri tlaku i stlačenju okomito na ploču, dopunjenih istraživanjima utjecaja trajnog opterećenja i vlažnosti, napravljen je zaključak da naprezanje od $\sigma = 4$ MPa može biti preporučeno za uključivanje u SP i P u svojstvu proračunskog otpora za brezovu furnirsku ploču marke FSF za dani slučaj napretnutog stanja.

LITERATURA

- [1] MILOVIC, D. M. i Tournier, J. P.: Bauingenieur, 1974, 2. str. 63 — 66.
- [2] GRICUK, M.S.: Izvestije vuzov. Stroiteljstvo i arhitektura, Novosibirsk 1976, 8. str. 50 — 53.

Preveo: prof dr B. Ljuljka

Recenzent: mr S. Petrović