

Edo Wallner, Lara Slivnik, Eva Križaj

REZULTATI PREISKAV FIZIKALNIH LASTNOSTI VZORCEV IZ LESA

Results of testing physical properties of wood samples

2006 / 1 **AR**

UDK 691.11 : 620.1
COBISS 1.04 strokovni znanstveni članek
prejeto 20.04.2006

izvleček

Članek je nastal kot del raziskave z naslovom *Izvajanje eksperimentov na preizkušancih iz lesa pri predmetu Konstruiranje in dimenzioniranje na Fakulteti za arhitekturo*, v kateri so obravnavani preizkusi, ki so jih opravili študenti drugega letnika na eksperimentalnih vajah pri omenjenem predmetu. Predstavljena je analiza rezultatov na eksperimentalnih vajah dobljenih meritev preizkušancev iz lesa. Pri vajah so študenti z upogibnim preizkusom določali elastične module za še ne vgrajen hrastov in smrekov les ter za smrekov star, v konstrukcijo že vgrajen les. Dobljeni rezultati so bili podlaga za nadaljnjo analizo, s katero smo preverili verodostojnost meritev študentskih eksperimentov. Odstopanja z meritvami pridobljenih elastičnih modulov za posamezne vrste lesa so bila zelo velika, hkrati pa sta bili njuni povprečji praktično enaki. Rezultati preiskave potrjujejo dejstvo, da je potrebno računati na precejšnja odstopanja fizikalnih lastnosti lesa.

abstract

The article summarises the research, titled *Conducting experiments on wooden samples at the Faculty of architecture during the coursework of the subject Construction and dimensioning, which dealt with tests conducted by second year students during experimental tutorials of the mentioned subject*. The article presents an analysis of results obtained from testing wood samples during the experimental tutorials. By applying the bending test students determined the elasticity module of unused spruce and oak wood and old spruce wood that had already been used in a structure. The obtained results were used as the basis for further analysis, by which we tested the authenticity of the measurements obtained experimentally by the student's. Deviations in measurements of the elasticity modules for various types of wood were very large, but simultaneously their mean values were practically equal. The results of the research prove that it is necessary to count on considerable deviations in physical properties of wood.

ključne besede:

lesena konstrukcija, elastični modul, upogibni preizkus

key words:

wooden structure, elasticity module, bending test

V članku so predstavljeni rezultati opravljenih eksperimentalnih preiskav vzorcev iz lesa na Fakulteti za arhitekturo Univerze v Ljubljani, ki so se izvajali več let v okviru vaj predmeta Konstruiranje in dimenzioniranje. Eksperimentalno delo: meritve in preizkusi so potekali praktično enako z vsemi podrobnostmi, ki jih predpisujejo standardi. Študenti so spoznali metodo dela in njene postopke ter možnosti, ki jih prinaša eksperimentalno delo. Eksperimentalnih preizkusov seveda nismo mogli v popolnosti izpeljati, predvsem zaradi pomanjkljive strojne opreme in drugih vzrokov, ki so vezani na razpoložljive finančne vire. Zato je potrebno temu primerno vrednotiti tudi rezultate analize, napravljene na osnovi rezultatov eksperimentalnih preiskav.

Opravljenе preiskave in meritve

Za ustrezno analizo rezultatov eksperimentalnih meritev je med izvajanjem preizkusov poleg samih eksperimentalnih preizkusov potrebno beležiti še dodatne meritve oziroma podatke, ki bi utegnili bistveno vplivati na potek in s tem na rezultate preizkusa. Tako smo poleg samega upogibnega preizkusa in kontrolnega merjenja dimenzij vzorcev pri eksperimentalnem delu opravili tudi še meritve vlage posameznega vzorca in tehtanje, evidentirali njihov izvor, starost in uvedli še obvezno risbo prereza, ki prikazuje strukturo lesa: gostoto in smer branik. To slednje je še posebej pomembno pri razlagi posameznih ekstremnih rezultatov upogibnih meritev. Dejstvo je, da so bili naši vzorci manjši od tistih, ki se uporabljajo pri lesenih konstrukcijah v gradbeništvu, zato so posamezni rezultati naših preizkušancev bistveno bolj odstopali od povprečja, kot pa bi v primeru preizkusov na večjih vzorcih.

Natančen postopek določanja elastičnega modula lesa pri upogibnem preizkusu je določen z evropskim standardom EN

408:1995. Standard predvideva, da se pri upogibnem preizkusu preizkušanec obremeni z dvema koncentriranima silama na medsebojni oddaljenosti, ki predstavlja približno eno tretjino razpona prostoležečega nosilca. Ta standard predpisuje tudi velikost statične razpetine l , ki mora biti približno enaka osemnajstkratni višini h t.j. višini prereza nosilca (Slika 1).



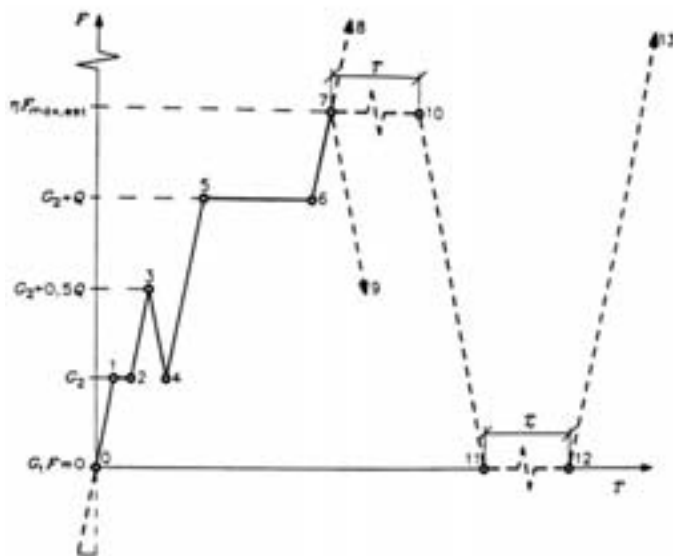
Slika 1: Določitev geometrije upogibnih preizkušancev po Eurocode standardu EN 408:1995

Determining the geometry of bending samples according to the Eurocode standard EN 408:1995.

Za pridobitev korektnih rezultatov preiskav so pomembni tudi drugi dejavniki, med njimi predvsem klimatski pogoji, ki določajo vlažnost ($65 \pm 5\%$) in temperaturo ($20 \pm 2^\circ \text{C}$) v prostoru, kjer se izvajajo meritve, ter stalna masa preizkušanca, ki se v šestih urah ne sme razlikovati za več kot 0.1% . Določena je tudi hitrost nalaganja obtežbe med samim preizkusom, saj je znano, da pri višjih nivojih obremenitev na rezultate eksperimentalnih meritev močno vpliva tudi pojav lezenja lesa. Hitrost je omejena s hitrostjo pomika točke vnašanja obtežbe na $0.003h$ (mm/s) t.j. odvisna od višine prereza preizkušanca. Največja obtežba pa naj ne bi preseгла mejo proporcionalnosti ali pa povzročila poškodbe.

Sama raziskava o izvajanju eksperimentov na preizkušancih iz lesa temelji na dejstvu, da se leseni preizkušanci pri nizkih stanjih obremenitve obnašajo zelo elastično. Zato smo pri analizi rezultatov meritev uporabljali teorijo 1. reda, ki upošteva linearno elastičnost materiala, saj je pojav lezenja lesa v večini primerov zaradi nizke stopnje obremenitve zanemarljiv pojav. Za linearno elastično območje je značilno, da so deformacije posameznega materiala sorazmerne z obremenitvami, ki na ta material delujejo. Tako smo na podlagi rezultatov upogibnega preizkusa določili modul elastičnosti lesa pri upogibu. Pri nekaterih vzorcih se je pojav lezenja lesa že bolj očitno izkazoval z naraščanjem povesa pri nespremenjeni obtežbi. Glavni vzroki, ki so pripeljali do tega, so predvsem v odstopanju od določenih zahtev standarda EN 408:1995 in od velikosti obtežbe v primerjavi z geometrijo posameznega preizkušanca.

Tako smo izvedli le del preizkusov, ki so bili neporušnega tipa. Kot konstruktorje pa nas poleg deformabilnosti zanima tudi še nosilnost posameznih preizkušanih materialov. Za tovrstne preizkuse, pri katerih s ciklično proceduro obremenjevanja in razbremenjevanja preizkušancev po standardu EN 380:1993 postopno povečujemo obtežbo vse do njihove porušitve (gl. Slika 2 in Tabela 1), govorimo, da so porušnega tipa. Glede na razpoložljivo opremo preizkusov porušnega tipa nismo mogli opraviti, zato ta del v analizi rezultatov ni obravnavan.



Slika 2: Predpisana procedura naraščanja in padanja obtežbe pri upogibnem preizkusu do porušitve po EN 380:1993
The proscribed procedure of increasing and decreasing loads in the bending test according to EN 380:1993.

Korak	Obtežba	Čas (sec)
0	samo G_1 in $F = 0$	
0-1	naraščanje na $F = G_2$	
1-2	vzdrževanje $F = G_2$	≥ 120
2-3	naraščanje na $F = G_2 + 0.5 Q$	≥ 120
3-4	upadanje za $0.5 Q$	≥ 120
4-5	naraščanje na $F = G_2 + Q$	≥ 240
5-6	vzdrževanje $F = G_2 + Q$	≥ 1200
6-7*	povečevati F dokler ni ηF_{max} presežen	≥ 600

* Pri maksimalni obtežbi hitrost prirastka ne sme preseči vrednosti $0.25Q$ na 60 sec

Tabela 1: Predpisana procedura naraščanja in padanja obtežbe pri upogibnem preizkusu do porušitve po EN 380:1993
The proscribed procedure of increasing and decreasing loads in the bending test according to EN 380:1993.

Dejstvo je, da smo določeni niz preizkušancev različnih dimenzij preizkušali pri enaki obtežbi pri merljivih poveseh, zato je bila v nekaterih primerih presežena meja elastičnosti. Pri majhnih vzorcih je za zagotovitev ustrezne natančnosti meritev še posebej pomembna natančnost merilnih inštrumentov. Ker smo uporabljali merilne urice za merjenje povesev z natančnostjo $1/100\text{mm}$, ki imajo delovno območje od 0 do 10mm, smo tem karakteristikam primerno in znani obtežbi balastov določili geometrijsko obliko preizkušancev, ki pa v končni fazi ni popolnoma ustrezala standardu EN 408:1995, saj smo le na tak način t.j. z ustreznim drugačnim razmerjem med višino h in širino b prereza ter razponom l dosegli izvedljivost eksperimentov. Med drugim je bila širina preizkušancev b pogojena tudi s tem, da je istočasno zagotavljala ustrezno relativno stabilnost proti prevrnitvi naložene obtežbe, ki so jo predstavljali jekleni kotniki (Slika 3).

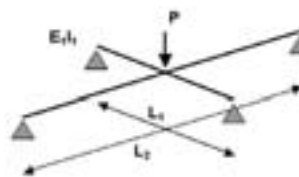


Slika 3: Upogibni preizkus preizkušanca iz lesa na FA.
Bending test of a wooden sample at the Faculty of architecture.

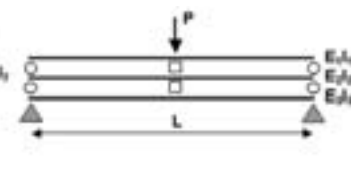
Nestabilnost preizkušancev nad vrtljivimi podporami smo pogosto odpravili že z dodatno obtežbo npr. z balastom iz ploščatega jekla še pred pričetkom procedure obremenjevanja. V primerih prehude torzijske zvitosti, ki je nastala predvsem kot posledica spremembe vlage v lesu, pa smo nestabilnost odpravljali s podlaganjem oz. z dodatnim prečnim nagibanjem podpor.

Pri večini preizkušancev iz še neuporabljenega lesa je bila natančnost izdelane geometrije na nivoju natančnosti skobelnika t.j. znotraj $\pm 0.5\text{mm}$. Daleč največ težav in odstopanj od želene prizmatične oblike pa je bilo zaslediti pri preizkušancih iz starega, že uporabljenega lesa konstrukcij, ki so bili izrezani iz obstoječih večjih kosov (npr. špirovcev, stropnikov, ...), katerih zunanje površine (tesan ali žagan les) nismo več naknadno obdelovali. Zato smo v vseh primerih izvajali še kontrolne preizkuse.

Kontrolni preizkusi so bili t.i. križnega (gl. Slika 4) ali paralelnega tipa (gl. Slika 5).



Slika 4: "Križni"
statični model kontrolnih preizkusov.
Cross test and a parallel technical mechanics model of control samples at the Faculty of architecture.



Slika 5: "Paralelni"
statični model kontrolnih preizkusov.
Cross test and a parallel technical mechanics model of control samples at the Faculty of architecture.

V obeh primerih smo na podlagi predhodnih meritev in s tem povezanimi eksperimentalno določenim elastičnim modulom lesa, na podlagi teorije elastičnosti določili računski povese in ga kasneje verificirali s t.i. kontrolnim preizkusom. Statični modeli kontrolnih preizkusov so bili sestavljeni iz vsaj dveh različnih materialov oz. preizkušancev, v primeru kontrolnega preizkusa na "paralelnem" statičnem modelu pa v večini iz treh različnih materialov.

Analiza rezultatov kontrolnih meritev

Kontrolne meritve za nov hrastov in smrekov les so bile opravljene na t.i. "križnem" statičnem modelu, v primeru meritev preizkušancev starega lesa pa je bil uporabljen "paralelni" statični model. Kot kažejo rezultati analize (gl. Tabela 2) se napake pojavljajo v povprečju med 1.6 do 4.1%.

	Star Les	Nov Hrastov Les	Nov Smrekov Les
Standardna Deviacija	4.955	8.833	6.415
Povprečje	2.970	1.602	4.057
Minimum	-9.517	-35.975	-10.366
Maximum	11.298	30.890	35.545

Tabela 2: Statistične karakteristike kontrolnih preizkusov.
Statistical characteristics of control samples.

Največji raztros oziroma odstopanje je sledilo pri kontrolnih preizkusih na preizkušancih iz hrastovega novega lesa, kar dokazuje tudi največja vrednost standardne deviacije. Ekstremne vrednosti kontrolnih meritev, ki so zabeležene znotraj intervala napak t.j. med -35.975 in +35.545%, se zdijo zelo velike, toda povedati je potrebno, da so tu vštete tudi druge npr. numerične napake. Dejansko smo ob kasnejšem ponovnem analiziranju in odkrivanju vzrokov za tako velika odstopanja pripisali v večini t.j. v prek 90% numeričnem delu, in v manj kot 10% strogo eksperimentalnem delu, pa še takrat je običajno šlo za napačno odčitavanje vrednosti povesov. Rezultati kontrolnih preizkusov so prezentirani tako kot so predvsem zato, da prikazujejo dejanske sposobnosti študentov pri samostojnem delu, hkrati pa tudi animiranost za eksperimentalno delo. Če izključimo t.i. računske napake se izkaže, da so rezultati praktično vseh kontrolnih meritev ne glede na tip preizkusa vedno potrjevali korektnost prvotnih upogibnih preizkusov znotraj intervala odstopanja med -6 in +6 odstotkov.

Čeprav so vsi numerični postopki izjemno lahki, pa se t.i. študentska, popolnoma računska napaka, zelo očitno kaže tudi tedaj, ko primerjamo različne tipe kontrolnih preizkusov med seboj.

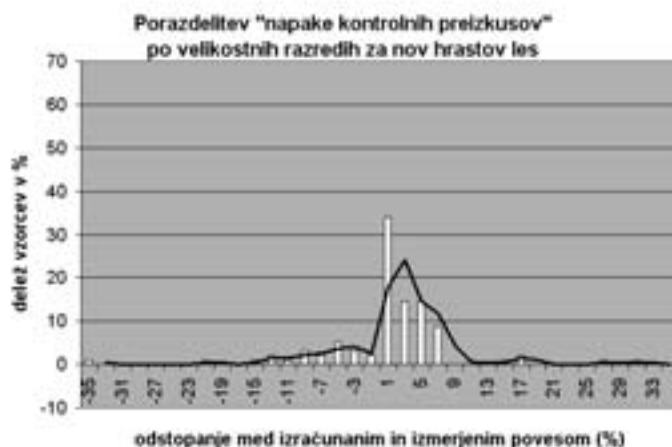
Opaziti je večjo razliko med kontrolnimi preizkusi na "paralelnem" statičnem modelu, kjer je znotraj intervala odstopanja dolžine le dveh odstotkov kar 65% kontrolnih preizkusov (gl. Slika 6), pri drugih dveh kontrolnih preizkusih temelječih na "križnem" statičnem modelu (gl. Slika 7 in 8) pa le 34 oziroma 39%. Pri "križnem" statičnem modelu je očitno enačba povesov za študente bistveno bolj zahtevna od enačbe "paralelnega" statičnega modela, ki smo ga uvedli v zadnjem letu.

Analiza rezultatov meritev potrebnih za določanje elastičnega modula lesa

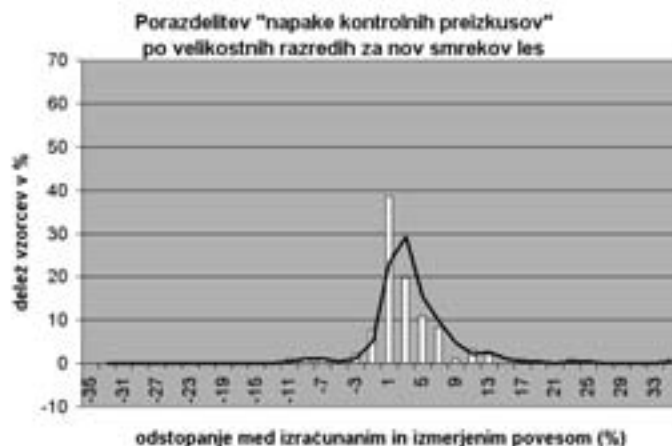
Pri projektiranju lesenih konstrukcij je največkrat merodajna prav kontrola deformacij oziroma povesov, manjkrat pa se zgodi, da je merodajna katera od napetostnih kontrol. Napetostne kontrole postanejo kritične običajno šele tedaj, ko obravnavana konstrukcija ni prosto ležeč nosilec ampak kontinuirni nosilec.



Slika 6: Porazdelitev odstopanja za star smrekov les na t.i. "paralelnem" statičnem modelu.
Distribution of deviations for old spruce wood in the so called parallel technical mechanics model.



Slika 7: Porazdelitev odstopanja za nov hrastov les na t.i. "križnem" statičnem modelu.
Distribution of deviations in new oak wood in the so called cross technical mechanics model.



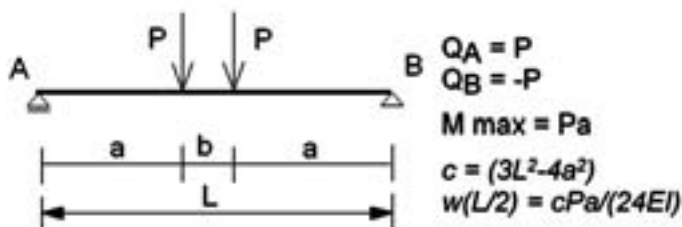
Slika 8: Porazdelitev odstopanja za nov smrekov les na t.i. "križnem" statičnem modelu.
Distribution of deviations for new spruce wood in the so called cross technical mechanics model.

Analize lesenih stropnih konstrukcij kažejo tudi na to, da je pri projektiranju zelo pomembna dinamična odzivnost konstrukcije in z njo povezana togost. Zato lahko trdimo, da je elastični modul lesa zelo pomembna mehanska karakteristika.

Z upogibnimi preizkusi, ki potekajo v elastičnem območju materiala, lahko preizkušamo tako odvzete vzorce preiskovane

populacije gradiva za katerega želimo dati oceno pričakovanih vrednosti, lahko pa izvajamo tovrstne preizkuse tudi na realnih že obstoječih konstrukcijah brez škodljivih vplivov za konstrukcijo. Ta tip preizkusov je zlasti primeren v primerih sanacij oz. rekonstrukcij starih objektov. Za lesene konstrukcije velja običajno pravilo, da je konstrukcija na sami meji porušitve tedaj, ko povesi na prostoležečih nosilcih dosežejo petdesetinko razpona. Pri konstrukcijah iz masivnega lesa je opaziti linearni odnos med prirastkom obtežbe in prirastkom deformacij praktično vse do točke porušitve, zato je na podlagi elastičnega modula E mogoče oceniti velikost porušne obtežbe.

Določitev vrednosti elastičnega modula E temelji na statičnem modelu prostoležečega nosilca, obremenjenega z dvema koncentriranimi silama (Slika 9). Iz znanih enačb povesa w za ta statični model lahko vrednost neznanke E (elastični modul) določimo na podlagi preostalih z meritvami določenih količin (obtežba P , statični razpon L , mesto obtežbe a , dimenzije prereza - vztrajnostni moment prereza I , dejanski povos w).



Slika 9: Statični model upogibnega preizkusa.
Technical mechanical model for a bending test

Pred samo predstavitvijo analize rezultatov je potrebno omeniti, da je v primerih preizkusov iz novega lesa šlo v večini primerov za t.i. "mizarsko" torej izbrano boljše kvaliteto lesa v primerjavi z t.i. "tesarsko" kvaliteto lesa obstoječih starih konstrukcij. V tej analizi so v okviru rezultatov vezanih na stari les izbrani le rezultati preizkusov iz starega smrekovega lesa (80 vzorcev), rezultate meritev preizkušancev drugih vrst lesa (hrast, macesen, ...) pa so namenoma zaradi premajhnega števila vzorcev izpuščeni. Zato v nadaljevanju sledijo tudi ločene primerjave bodisi po starosti ali pa po vrsti lesa, kjer so iz istega razloga kombinacije povezane s starim hrastovim lesom prav tako izpuščene.

Pri preizkusih na novem lesu smo uporabili 139 vzorcev slovenskega smrekovega lesa in 147 vzorcev slovenskega hrastovega lesa z izjemo le nekaj preizkušancev, ki so iz slavonskega hrastovega lesa. Prerezi preizkušancev iz smrekovega lesa so bili široki med 6 in 12 cm (povprečje širin 8.88 cm) ter visoki med 1.3 do 1.7 cm (povprečje višin 1.52 cm). Prerezi preizkušancev iz hrastovega lesa so bili določeni z enakimi mejami intervalov, le povprečja so bila drugačna (povprečje širin 9.18 cm in povprečje višin 1.54 cm).

Zaradi velikih razlik v dimenzijah prereza smo pri preizkušancih iz smrekovega lesa dosegali zelo različne vrednosti povosov od najmanjšega $w_{\min} = L/1038.737$ do največjega $w_{\max} = L/175.0882$ s povprečnim povosom $L/417.6263$. Pri preizkušancih iz hrastovega lesa pa so vrednosti povosov znašale od najmanjšega povosa $w_{\min} = L/1365.406$ pa vse do največjega $w_{\max} = L/153.434$ s povprečno vrednostjo povosa $L/448.7147$.

Na podlagi podatkov mase vzorcev in njihovih dimenzij smo izračunali tudi specifične teže preizkušancev. Po starih jugoslovanskih predpisih smo običajno pri izračunu lastne teže

upoštevali specifično težo 6 kN/m^3 za smrekov in 8 kN/m^3 za hrastov les. Novi standard SIST EN 1991-1-1: 2004 in EN 338 pa specifično težo opredelujeta veliko bolj natančno in sicer za trdnostni razred C14 od 3.5 kN/m^3 pa do 5.0 kN/m^3 pri C40 za najvišji trdnostni razred iglavcev. Pri lesu listavcev se za trdnostni razred D30 ocenjuje specifično težo 6.4 kN/m^3 , pri najtršem razredu D70 celo 10.85 kN/m^3 .

Rezultati preiskav kažejo na to (gl. Slika 10), da je bila pri starih jugoslovanskih standardih specifična teža smrekovega lesa precenjena, hrastovega lesa pa podcenjena. Glede na povprečje specifičnih tež s 4.65 kN/m^3 za smrekov les bi lahko trdili, da je vsaj polovico vzorcev dosegla trdnostni razred C30 in boljšega, kar je povsem verjetno, saj so bili preizkušanci v večini primerov iz tako imenovanega "mizarskega lesa", ki je praktično brez grč. Podobno razlago lahko privzamemo tudi za primer preizkušanih vzorcev iz hrastovega lesa, za katere bi lahko trdili, da so pri povprečju specifičnih tež s 7.14 kN/m^3 , v večini dosegali trdnostni razred D40.



Slika 10: Specifična teža preizkušancev iz različnega lesa.
Specific weight of different wood samples.

Da so preizkušanci verjetno dosegali predpostavljene trdnosti, lahko sklepamo tudi iz doseženih vrednosti elastičnih modulov E . Kar 50% vzorcev obeh vrst lesa je dosegalo razred 1200 kN/cm^2 .

Povprečje elastičnega modula 139-tih preizkušancev iz novega, še nevgrajenega smrekovega lesa $E_{\text{smreka}} = 1249.3 \text{ kN/cm}^2$ je relativno blizu povprečju elastičnega modula 147-tih preizkušancev iz hrastovega lesa z vrednostjo $E_{\text{hrast}} = 1311.9 \text{ kN/cm}^2$. Minimalni in maksimalni elastični modul upogibnega preizkusa pri preizkušancih iz smrekovega lesa sta znašala 655.7 in 1906.7 kN/cm^2 , za preizkušance iz hrastovega lesa pa 472.9 in 2611.6 kN/cm^2 . Standardna deviacija za hrastov les je kar 381.7 kN/cm^2 , medtem ko je za smrekov les nekoliko manjša in znaša 266.4 kN/cm^2 .

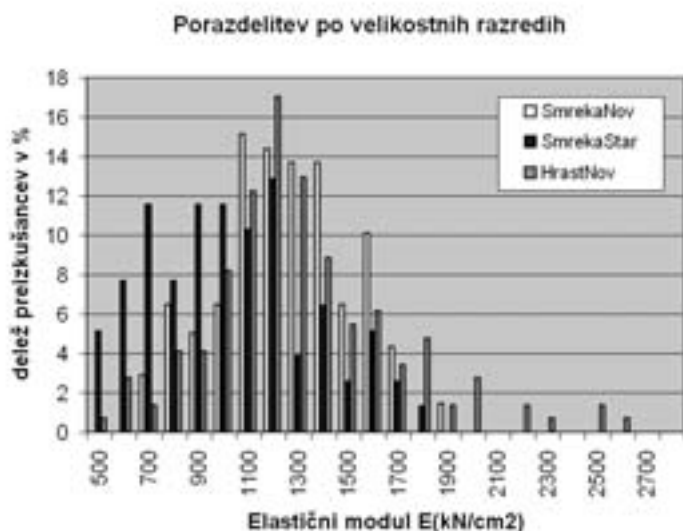
V okviru eksperimentalni raziskav na preizkušancih iz starega smrekovega lesa smo izvajali praktično enake preizkuse kot na še nevgrajenem novem lesu, le da so bili vzorci nekoliko večjih dimenzij. Pri novem lesu smo upogibne preizkuse vršili na statičnem razponu 100 cm , pri starem lesu pa smo statični razpon povečali na 115 cm . Povprečna širina prereza preizkušanca je bila 11.8 cm (od 8 cm do 19.5 cm), povprečna višina pa 2.01 cm (od 1.75 cm do 2.5 cm). Ker so bile upogibne togosti na starem lesu zaradi po večini večjih prerezov očitno večje (gl. Slika 11), smo pri enakih obtežbah dosegali temu primerno manjše povose npr. $w_{\max} = L/270$.



Slika 11: Velika odstopanja upogibne togosti preizkušancev.
Large deviations in bending resilience of samples.

Najstarejši preizkušanci iz smrekovega lesa, so bili ocenjeni na starost okrog 200 let, najmlajši pa na le 20 let. Več kot 95 % vzorcev je bilo dobljenih iz starih objektov katerih starost se je gibala med 45 in 120 let.

Potrebno je tudi poudariti, da je verjetno dejansko povprečje mehanskih karakteristik lesa, vgrajenega v obstoječih objektih v Sloveniji nekoliko višja, saj je bilo med preizkušanci pogosto najti črviv ali kako drugače poškodovan les (npr. zaradi zamakanja) kar je povsem logično, saj so bili ti vzorci pretežno odvzeti iz lesa strešnih konstrukcij, ki so bile odstranjene iz objektov zaradi dotrajanosti ali pa zaradi rušenja objekta. Povprečje elastičnega modula 80-tih preizkušancev iz starega, že uporabljenega smrekovega lesa je $E_{\text{smreka}} = 1007.95 \text{ kN/cm}^2$ in je pričakovana vrednost. Minimalna vrednost elastičnega modula je znašala 369.9, maksimalna pa 1775.9 kN/cm^2 (gl. Slika 12).



Slika 12: Razpored elastičnega modula po razredih.
Distribution of elasticity modules by classes.

Analiza dobljenih vrednosti pokaže, da razmerje povprečnih vrednosti elastičnega modula starega proti novemu lesu znaša 0.807:1, kar kaže na 19-odstotno zmanjšanje elastičnega modula. Pričakovati je, da pri le 50 % preizkušancev iz starega smrekovega lesa elastični modul presega vrednost cca. 1000 kN/cm^2 , medtem ko se pri preizkušancih iz novega lesa to zgodi to v 80% (gl. Slika 13).

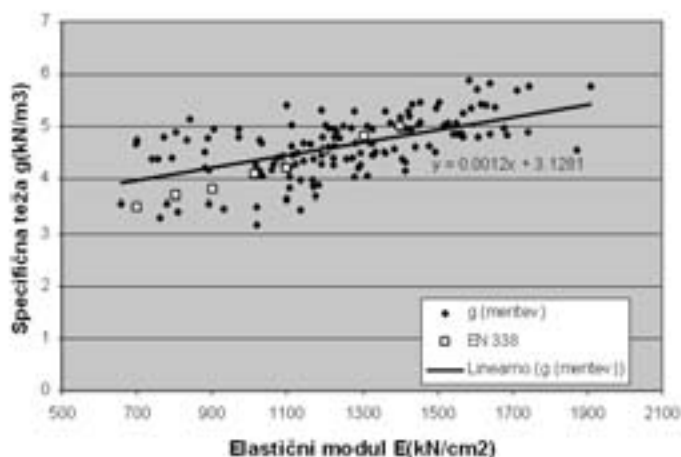


Slika 13: Kumulativni pregled elastičnega modula lesa.
Cumulative overview of the elasticity module of wood.

Sklep

Pri analizi rezultatov smo primerjali soodvisnost gostote materiala, ki se kaže skozi specifično težo materiala in elastični modul. Razpored vrednosti elastičnega modula je v vseh treh primerih preizkušancev, tako za nov smrekov les, za star smrekov les in tudi nov hrastov les logičen, kar pomeni, da pri gostejši strukturi prereza običajno lahko pričakujemo večjo vrednost elastičnega modula (gl. Slika 14).

Soodvisnost specifične teže in elastičnega modula



Slika 14: Specifična teža in elastični modul - nov smrekov les.
Specific weight and elasticity module – new spruce wood.

Zaradi specifične narave lesa seveda obstaja določeno odstopanje preizkušancev, vendar se izkaže, da je podani trend smiseln in skladen z določili standarda EN 338. Pri preizkušancih iz hrastovega lesa se pojavljajo večja odstopanja kot pri preizkušancih iz novega smrekovega lesa. Del odstopanja lahko pripišemo tudi neenakomerni vlažnosti preizkušancev. Dobljene vrednosti elastičnih modulov so korektne, različnost le teh pa je očitno rezultat raznih vplivov kot so: struktura materiala, različna vlažnost, majhnost dimenzij in oblika prereza s strukturo branik v prerezu preizkušancev ter možne nenatančnosti meritev. Rezultati eksperimentov so sicer poučni, toda zaradi že opisanih pomanjkljivosti (neprimerni klimatski pogoji, majhnost prerezov, "mizarski" les, ...) niso v celoti primerni za uporabo pri analizah gradbenih konstrukcij.

Pri eksperimentih iz starega smrekovega lesa smo ugotovili, da je opazen trend primanjkljaja lesne mase v povezavi s starostjo lesa. Seveda pri dobrih pogojih okolja temu ni tako, vendar se izkaže da je na mestih, kjer je les izpostavljen gnilobi, črvom in ostalim škodljivim vplivom, pričakovati v povprečju do 9 odstotno zmanjšanje lesne mase oziroma v povprečju do 19 odstotno zmanjšanje elastičnega modula. Posamezne zelo redke in zelo nizke vrednosti elastičnih modulov ponavadi zasledimo na poškodovanih elementih, ki so bili močno izpostavljeni spremembi vlage npr. na mestih zamakanja. Pri meritvah na starem lesu smo odkrili nekaj takih primerov, ki so dosegali maksimalno možno vlažnost lesa (gl. Slika 15).



Slika 15: Vlaga v lesu preizkušancev.
Moisture in the wood samples.

Vse kaže, da je najti le redke predvsem lokalno razporejene elemente lesenih konstrukcij, ki so resnično dotrajani in jih je nujno potrebno zamenjati ali kako drugače sanirati. V večini primerov pa je pričakovati, da obstoječe lesene konstrukcije pri nas lahko še dolgo dobro služijo svojemu namenu, saj odstotek izgube lesne mase oz. zmanjšanja povprečne vrednosti elastičnega modula zaradi starosti v primerjavi s faktorji varnosti ni zaskrbljujoč.

Zahvala

Eksperimentalne meritve objavljene raziskave so bile izvedene pri predmetu Konstruiranje in dimenzioniranje na Fakulteti za arhitekturo Univerze v Ljubljani. Avtorji raziskave se za pomoč zahvaljujemo študentom 2. letnika v šolskih letih 2003/04, 2004/05 in 2005/06, ki so sodelovali pri meritvah, mizarju Jožetu Šimencu, ki je meril vlago v preizkušancih, višjemu strokovnemu sodelavcu mag. Mladenu Bratoviću, ki je natančno nadzoroval potek opravljanja meritev, in prof. dr. Jožetu Kušarju, ki je nosilec predmeta Konstruiranje in dimenzioniranje.

Viri in literatura

- Bezjak, J., 1993: Preiskava materiala. Tehniška založba Slovenije, Ljubljana.
- Bodig, J., Jayne, B.A., 1982: Mechanics of wood and wood composites. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Lopatič, J., 2000: Fizikalne, mehanske in reološke lastnosti lesa. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana.
- Salvadori, M., Heller, R., 1979: Konstrukcije v arhitekturi. Državna založba Slovenije, Ljubljana.
- Turk, G., 2005: Verjetnostni račun in statistika. <http://www.km.fgg.uni-lj.si/predmeti/sei/vrs1.pdf>
- Wallner, E., Slivnik, L., Križaj, E., Bratović, M., Kušar, J., 2004: Konstruiranje in dimenzioniranje na Fakulteti za arhitekturo. V: Zbornik 26. zborovanja gradbenih konstruktorjev Slovenije, Bled, 28.-29. oktober 2004 / ur. Saje, F., Lopatič, J., Slovensko društvo gradbenih konstruktorjev, Ljubljana.
- Wallner, E., Slivnik, L., Križaj, E., Bratović, M., Kušar, J., 2005: Eksperimentalne vaje pri predmetu Konstruiranje in dimenzioniranje na Fakulteti za arhitekturo. V: Zbornik 27. zborovanja gradbenih konstruktorjev Slovenije, Bled, 27.-28. oktober 2005 / ur. Saje, F., Lopatič, J., Slovensko društvo gradbenih konstruktorjev, Ljubljana.
- Wallner, E., Slivnik, L., Križaj, E., 2006: Izvajanje eksperimentov na preizkušancih in lesa (pri predmetu Konstruiranje in dimenzioniranje na Fakulteti za arhitekturo). Univerza v Ljubljani Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana.
- EN 380: Timber structures – Test methods – General principles for static load testing. 1993/7.
- EN 408: Timber structures –Structural timber and glued laminated timber – Determination of some physical and mechanical properties. 1995/1.
- SIST EN 1991-1-1: Vplivi na konstrukcije: Splošni vplivi, Prostorninske teže, lastna teža, koristne obtežbe stavb (istoveten z EN 1991-1-1:2000) 2004/9

mag Edo Wallner
Lara Slivnik
Eva Križaj
Fakulteta za arhitekturo
Univerza v Ljubljani
edo.wallner@fa.uni-lj.si