

STRUČNI ČLANAK: SVOJSTVA DRVA

Autor: Ivan Volarić, struč. spec. ing. aedif.

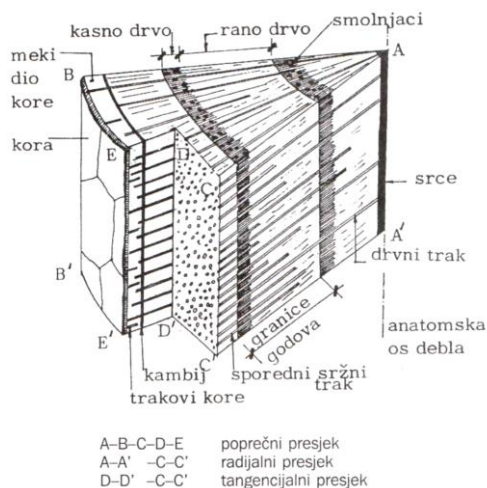
Zagreb, Siječanj 2017.

SVOJSTVA DRVA

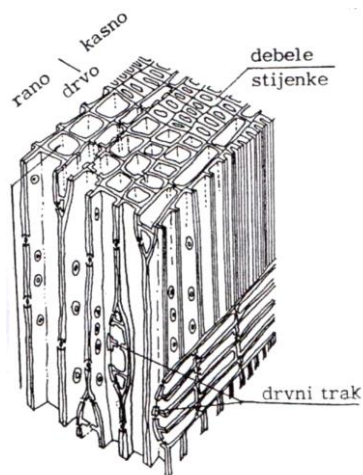
Drvo je materijal koji nalazimo u prirodi te se njegova svojstva uvelike razlikuju od umjetno proizvedenih materijala. Drvene elemente karakterizira nehomogenost, anizotropija, ovisnost svojstava o stupnju vlažnosti, te zapaljivost. Spoznajom da su to osnovne karakteristike i upoznavanjem ih možemo prevenirati mnogo neugodnih učinka.

Građa drva

Tijekom rasta drvo se formira u obliku koncentričnih krugova oko sredine osi stabla. Svake godine formira se po jedan prsten koji se naziva god drva. Već na poprečnom presjeku stabla uočava se nehomogenost građe drveta. Rast se zimi prekida, a s početkom vegetacije u proljeće stvaraju se najprije tankostijene stanice velikih otvora, koje tvore tzv. rano drvo, za razliku od kasnih stanica koje imaju deblje stijenke i tvore tzv. kasno drvo. Veličine otvora stanica prirodna su posljedica vegetacije. U proljeće je potrebno znatno više sokova za intenzivniji početak života, te su stanice ranog drva s većim otvorima. Kasnije u ljetu i jeseni rast drva je usporen, vlage ima sve manje, te je provodno tkivo sa manjim otvorima, a debljim stjenkama.



Slika 1 Poprečni, radijalni i tangencijalni presjek borovine sa naznakom ranog i kasnog drva u jednom godu



Slika 2 Shematski prikaz ranog i kasnog drva

Utjecaj anizotropije drva na mehanička svojstva

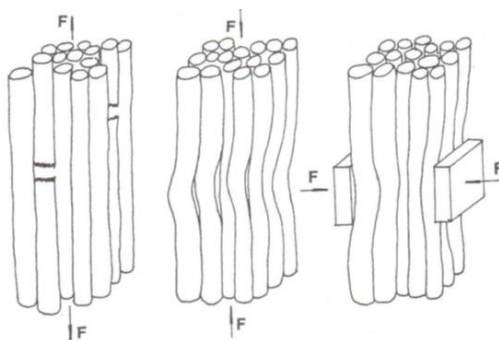
Anizotropija je osobina materijala da u raznim smjerovima ima različita svojstva. Čvrstoća drveta u poprečnom, radijalnom i tangencijalnom smjeru uvelike se razlikuje. Mnogobrojna istraživanja na uzorcima drva bez nepravilnosti tj. kvrga ukazuju na značajan utjecaj anizotropije u odnosu na dva osnovna smjera djelovanja paralelno i okomito na vlakanca.

Osnovni element građe drva je stanica. Kod odumiranja stanice ostaje njezina stjenka i šupljina (lumen), ispunjena vodom ili zrakom. Stjenka stanice sastavljena je od 5 slojeva. Na središnju lamelu u smjeru lumena nastavlja se primarna i sekundarna stjenka, koja ima tri sloja, vanjski centralni i unutarnji.



Slika 3 Model stjenke četinjače

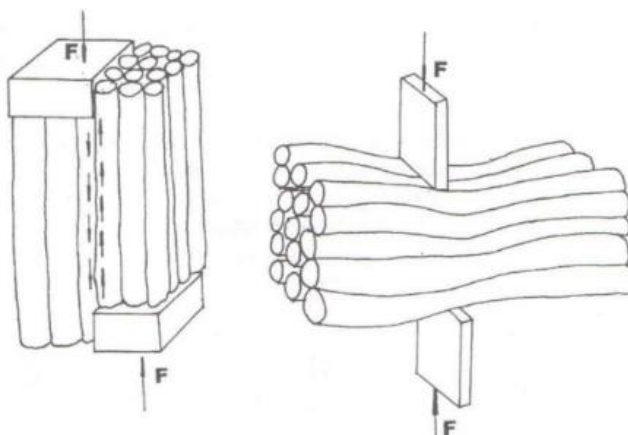
Stjenku stanice tj. jedno vlakance možemo u daljnjem razmatranju zamijeniti cjevčicom, a skup vlakanca svežnjem međusobno slabo povezanih cjevčica kako bismo bolje shvatili anizotropiju materijala. Djelovanja na svežanj slabo povezanih cjevčica mogu dolaziti iz različitih smjerova, te izazivati različita naprezanja u elementima.



Slika 4 Idealizirani uzorak drva izložen vlačnim i tlačnim naprezanjima paralelno sa vlakancima i tlačnim naprezanjima okomito na vlakanca

Iz aproksimacije na slici 4 očito je da će se svežanj cjevčica najbolje odupirati vlačnoj sili paralelno sa vlakancima, nešto slabije tlačnoj sili paralelno sa vlakancima, a najslabije tlačnoj sili okomito na vlakanca. Kod opterećenja vlačnim silama za pretpostaviti je da raspodjela opterećenja po cjevčicama neće biti idealno jednolika, pa je za očekivati da će neke cjevčice ranije popustiti. Pod djelovanjem tlačnih sila cjevčice svežnja su opterećene na izvijanje, pa će lom nastati uslijed gubitka stabilnosti. Zato je za očekivati da će tlačna čvrstoća uzduž idealiziranog modela biti manja od vlačne u istom smjeru.

Također se može zaključiti da će čvrstoća na tlak i vlak okomito na vlakanca biti znatno manja od čvrstoće uzduž vlakanca.



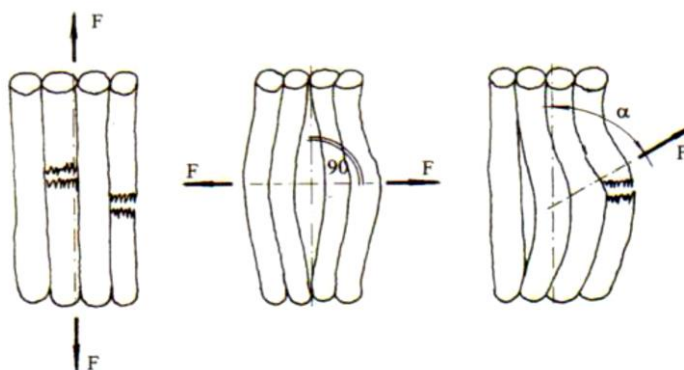
Slika 5 Idealizirani uzorak drva izložen posmičnim naprezanjima u smjeru vlakanca i okomito na vlakanca

Čvrstoća na smicanje uzduž svežnja bit će manja od čvrstoće na odrez. Čvrstoća na posmik u uzdužnom smjeru bit će slaba točka drva i kod mnogih elemenata mjerodavna za dimenzioniranje.

Kod idealiziranog modela bit će različiti i moduli elastičnosti u poprečnom i uzdužnom smjeru. Kako model predstavlja znatno pojednostavljenu strukturu drva, može se očekivati da će postojati razlika u modulima elastičnosti u glavnim presjecima (poprečni, radijalan i tangencijalan smjer.)

Vlačna čvrstoća

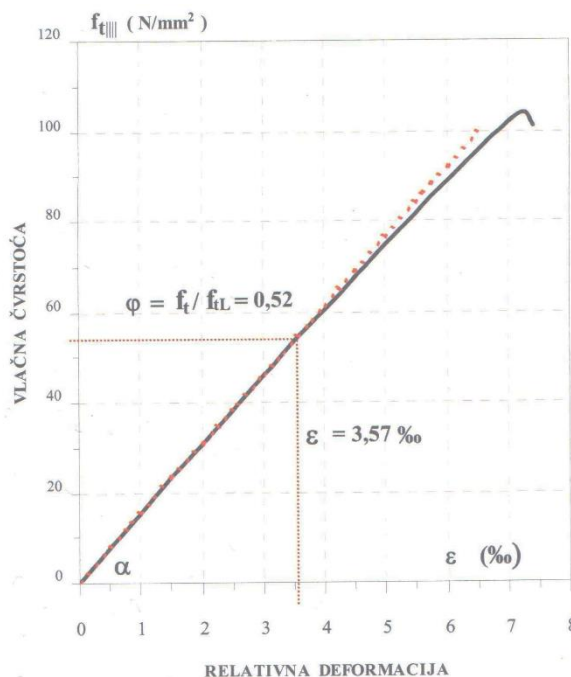
Prilikom razmatranja vlačne čvrstoće drveta potrebno je analizirati tri vrste vlačnog naprezanja u elementu. Tako imamo vlak paralelno $f_{t\parallel}$, vlak okomito $f_{t\perp}$ i vlak pod kutom $f_{t\alpha}$ na pravac pružanja vlakanca.



Slika 6 Model cjevčica (vlakanca) napregnut na vlak

Čvrstoća na vlak paralelno s vlakancima $f_{t\parallel}$

Vlačna čvrstoća paralelno s vlakancima izravno ovisi o nepravilnostima u strukturi drveta. Pojavom kvrga dolazi do prekidanja vlakanca te se efektivna površina poprečnog presjeka koji sudjeluje kod prenošenja opterećenja smanjuje.



Dijagram 1 Ovisnost vlačnog naprezanja paralelno sa vlakancima i relativne deformacije

Dijagram 1 prikazuje vrlo usko područje elastoplastičnih i plastičnih deformacija iza kojega veoma brzo nastaje lom. Takvu vrstu loma nazivamo krti i karakterističan je za drvene elemente opterećene vlakom paralelno s vlakancima. Kod ispitivanog uzorka došlo je do loma iznad 100 N/mm², što je vrlo veliko naprezanje s obzirom da karakteristična nosivost sa kojom se ulazi u proračun za najkvalitetnije vrste lameliranog drva (GL36h) iznosi 26 N/mm².

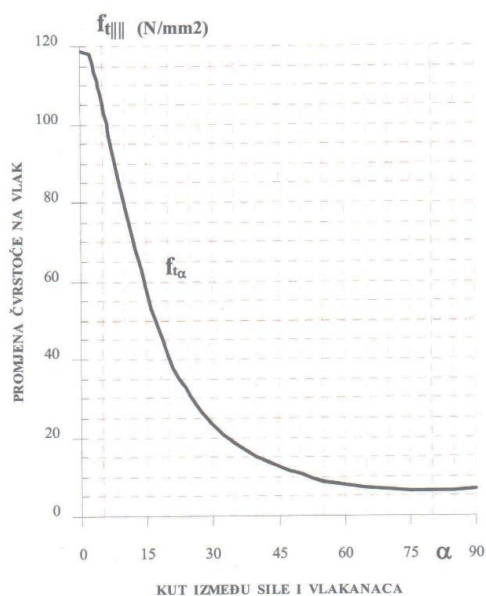
Čvrstoća na vlak okomito s vlakancima $f_{t\perp}$

Čvrstoća na vlak okomito s vlakancima je vrlo mala i ovisna o prisustvu nepravilnosti i širini godova. Na uzorcima „čistog“ drva bez kvrga vlak okomito na vlakanca, ovisno o botaničkoj vrsti i zoni uzimanja uzorka iznosi 1.5 - 6.0 N/mm². Kompariramo li taj podatak sa naprezanjem od 100 N/mm² iz prethodnog slučaja dolazimo do razlike od oko 16 puta. Ne ulaženjem u daljnju analizu jasno je vidljivo koliko se čvrstoća u ta dva smjera razlikuje. Iznesena vrijednost čvrstoće od 1.5 – 6.0 N/mm² je prosječna, a kod prisustva kvrga može se smanjiti i do nule.

Naprezanja ove vrste u konstrukcijama treba izbjegavati, a ako su neizbježna takva mjesta moraju biti adekvatno analizirana i ojačana, kako bi se izbjegle neželjene posljedice.

Čvrstoća na vlak pod kutom u odnosu s vlakancima $f_{t\alpha}$

Vrijednost čvrstoće na vlak pod kutom u odnosu s vlakancima nalazi se između granica dva prethodna slučaja. Za izračunavanje se koristi jednačba, koja za svaki pojedini kut α određuje vrijednost čvrstoće.

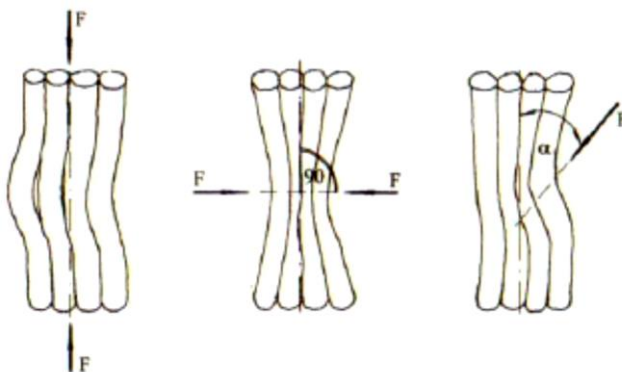


Dijagram 2 Ovisnost čvrstoće na vlak o kutu između sile i vlakanca

Dijagram 2 prikazuje značajan pad vlačne čvrstoće već i pri malim promjenama kuta između sile i vlakanca. Tako je vidljivo da je vlačna čvrstoća u slučaju kada je kut između sile i vlakanca pao sa 0° na 15° pala na pola početne čvrstoće ispitivanog uzorka.

Tlačna čvrstoća

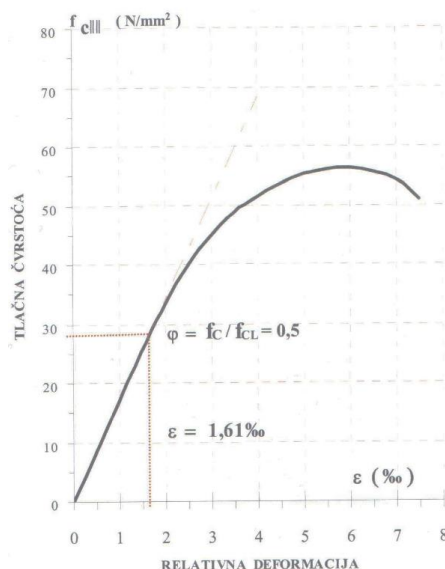
Kao i kod vlačnih napreznja tlačna možemo podijeliti u tri smjera. Razlikujemo tlak paralelno $f_{c||}$, tlak okomito $f_{c\perp}$ i tlak pod kutom $f_{c\alpha}$ u odnosu na vlakanca.



Slika 7 Model cjevčica (vlakanca) napregnut na tlak

Čvrstoća na tlak paralelno s vlakancima $f_{c\parallel}$

Čvrstoća na tlak paralelno s vlakancima nema tako izraženu ovisnost o nepravilnostima u drvu kao vlačna jer do loma ne dolazi kod pucanja vlakana.

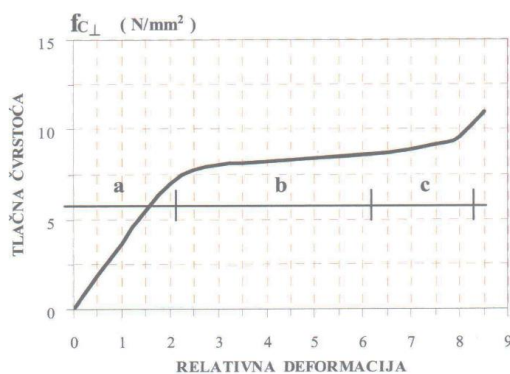


Dijagram 3 Ovisnost tlačne čvrstoće paralelno sa vlakancima i relativne deformacije

Dijagram 3 prikazuje da lom kod ispitivanog uzorka nastupa oko 55 N/mm², što je upola manje od vlačne čvrstoće drveta. Uočava se elasto-plastično područje materijala, odnosno pojavljuje se široko područje elasto-plastičnih i plastičnih deformacija iza kojih nastaje lom. Granica proporcionalnosti nalazi se na nivou 50 % - 60% od granice loma kod ispitivanog uzorka.

Čvrstoća na tlak okomito s vlakancima $f_{c\perp}$

S tlačnim naprežanjem okomito na vlakanca susrećemo se kod svih klasičnih drvenih krovništa. Kod spoja stupa i podrožnice na podrožnici nastaju tlačne sile, koje dolaze okomito na vlakanca. Ova čvrstoća je jedna od manjih čvrstoća drveta.

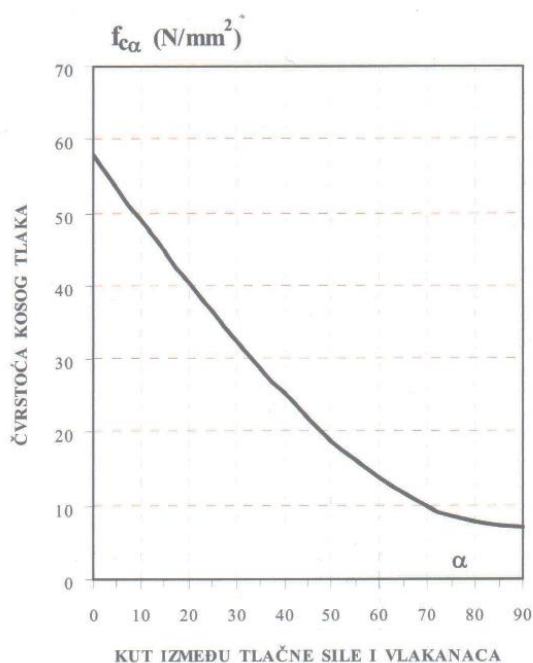


Dijagram 4 Ovisnost tlačne čvrstoće okomito na vlakanca i relativne deformacije

Dijagram ovisnosti tlačne čvrstoće okomito na vlakanca bitno se razlikuje od dijagrama za prethodna naprezanja i može se podijeliti u tri područja. U području a nema linearnog toka dijagrama jer se i pri malim opterećenjima javljaju plastične deformacija. Iza ovog područja nastavlja se područje b velikih plastičnih deformacija tj. tečenja materijala. Pri deformaciji od približno 6 ‰ dolazi do ojačanja materijala i ulazi se u područje c iza kojeg nastupa lom.

Čvrstoća na tlak pod kutom s vlakancima $f_{c\alpha}$

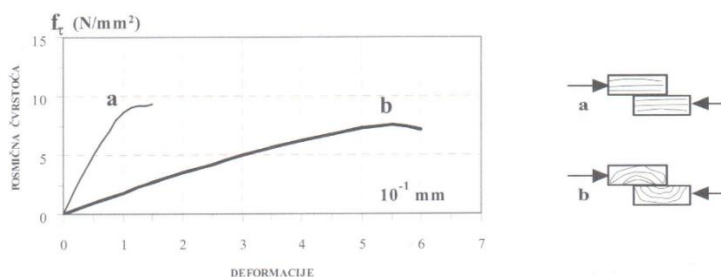
Tlak pod kutom s vlakancima kao i vlak omeđen je vrijednostima prethodna dva slučaja. Na dijagramu 5 vidljivo je da tlačna čvrstoća nema tako značaj pad već kod promjene kuta od 15° nego je nagib u dijagramu značajno blaži. Pad od polovice čvrstoće događa se kod promjene kuta od približno 40°.



Dijagram 5 Ovisnost pada čvrstoće tlaka pod kutom o kutu sile i vlakanca

Posmična čvrstoća

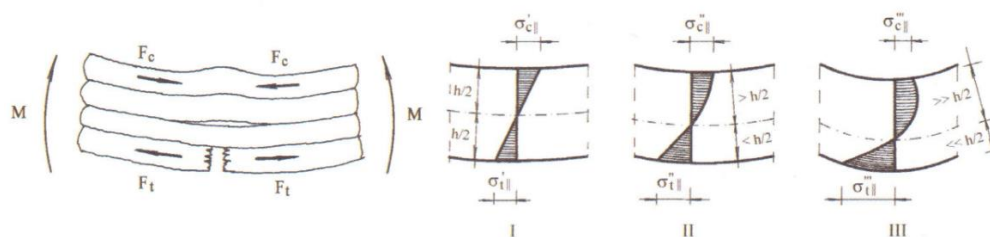
Posmična čvrstoća kao i prethodne (tlačna i vlačna) razlikuje se s obzirom na smjer djelovanja opterećenja. U drvenim konstrukcijama najčešće se susrećemo s posmičnom čvrstoćom paralelno s vlakancima, te je ona vrlo često mjerodavna za dimenzioniranje. Posmična čvrstoća paralelno i okomito na vlakanca ne razlikuje se značajno no u ta dva slučaja bitno se razlikuju deformacije. Kod posmika paralelno s vlakancima deformacije su oko 1 ‰ dok kod posmika okomito na vlakanca dosežu vrijednost od 6‰ za ispitani uzorak.



Dijagram 6 Ovisnost posmične čvrstoće i deformacije

Čvrstoća na savijanje

Prilikom savijanja pojavljuje se kombinacija naprezanja, te se pored problema popuštanja vlaknaca javlja problem unutarnje stabilnosti elementa. Kod naprezanja savijanja pojavljuju se tri stadija. U prvoj fazi drvo se ponaša po zakonu Hooke-a i hipotezi Navier-a. Normalna naprezanja raspoređena su simetrično u odnosu na geometrijsku os presjeka.



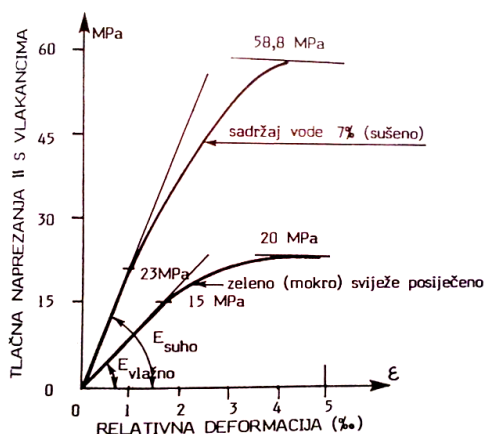
Slika 8 Prikaz tri stadija kod savijanja

Povećanjem opterećenja ulazimo u drugu fazu te dolazi do plastifikacije materijala u tlačnoj zoni, te do pomicanja neutralne osi prema vlačnoj zoni. Dijagram u tlačnoj zoni poprima krivolinijski oblik, dok je raspodjela naprezanja u vlačnoj zoni i dalje linearna. Prije sloma ulazi se u treću zonu, dolazi do značajnih plastičnih deformacija, vlaknaca se u tlačnoj zoni u snopovima izbočavaju, a neutralna os se pomiče prema vlačnom rubu. Do loma dolazi prvo u tlačnoj zoni zbog gubitka stabilnosti vlaknaca, a kao posljedica te pojave dolazi do loma vlaknaca u vlačnoj zoni. Popuštanje vlaknaca u vlačnoj zoni dešava se u trenutku kada je vlačno naprezanja 5-6 puta veće od istovremenog tlačnog za ispitani uzorak.

Utjecaj vlažnosti drva na mehanička svojstva

Prilikom rasta i razvoja drvetu je potrebna voda. Nakon sječe u trupcima ostaju velike količine vode koje je potrebno prije ugradnje u konstrukcije isušiti. Kod drva karakteristična su dva područja vlažnosti: kapilarno gdje vlažnost prelazi 30%, a voda se nalazi u području između stanica, te higroskopsko sa vlažnošću manjom od 30%, a voda se nalazi u stanicama.

U higroskopskom području vlažnost znatno utječe na mehanička svojstva. Što je veći sadržaj vode u drvu to je manja čvrstoća. Valja naglasiti da se u nosive konstrukcije ne bi smjela ugrađivati građa vlažnosti iznad 18%.

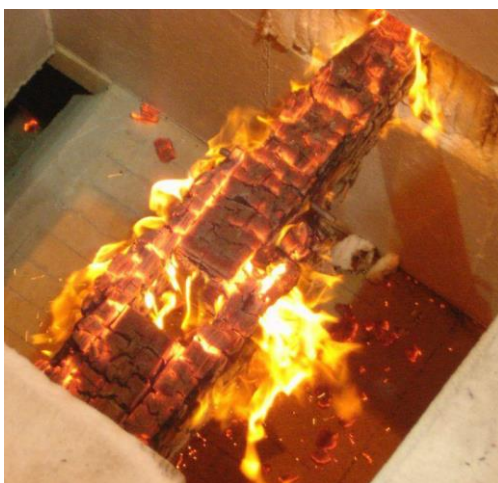


Dijagram 7 Ovisnost vlažnosti i mehaničkih svojstva drva

Na dijagramu 7 prikazani su rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće uzorka s različitim vlažnostima. U prvom slučaju određena je čvrstoća na tlak paralelno s vlakancima uzorka sa 7% vlažnosti, a u drugom slučaju isto mehaničko svojstvo uzorka, koji je izvađen iz sviježe posiječenog drva. Može se odmah uočiti da lom uzorka kod drva vlažnosti 7% nastupa kod 58,8 N/mm², dok kod vlažnog drva lom nastupa kod 20 N/mm².

Utjecaj požara na mehanička svojstva

Materijale koje koristimo u građenju možemo podijeliti na zapaljive i nezapaljive. U odnosu na negorive građevinske materijale drvo ima svojstva koja u slučaju požara daju drvenoj konstrukciji značajne prednosti pred konstrukcijama od negorivih građevinskih materijala.



Slika 9 Drveni nosač tijekom požarnog ispitivanja



Ova se svojstva temelje na izuzetno maloj provodljivosti, koja se u požarnim uvjetima još smanjuje, zbog izolirajućeg svojstva nagorenog drva. Slika 9 jasno prikazuje stvaranje ugljenog sloja koji usporava prodiranje plamena dublje u poprečni presjek. Kako bismo jasno prikazali koliko drveni nosač može izdržati požarne uvjete uzeti ćemo jedan primjer. Lamelirano lijepljeno drvo nakon 30 minuta djelovanja požara sa izloženih strana stvori pougljeni sloj od 1.8 cm do 2.4 cm. Povećanjem ove debljine štiti se ne sagoreni dio drva od konstantnog i naglog prirasta temperature, pa će u unutrašnjosti drva, radi prirodnog izolirajućeg sloja temperatura biti znatno manja od temperature okoliša. Radi toga prirodnog efekta drvo posjeduje znatno veću požarnu otpornost nego se to općenito prema osjećaju pretpostavlja.

Zaključak

Drvo kao materijal je proizvod jedne velike tvornice koja se naziva šuma, a bitno je naglasiti da ta tvornica ne radi u kontroliranim uvjetima, te da ne daje serijski proizvod koji je uvijek istih svojstava. Kada spoznamo tu činjenicu, te shvatimo da moramo uzeti u obzir anizotropiju kod projektiranja konstrukcija, možemo stvoriti izuzetne drvene konstrukcije koje će predstavljati trajnu i dodanu vrijednost društvu.

Literatura

Knjige i skripte:

- [1] Lončarić, Davorin-Hugo. Tehnologija drveta, Sarajevo, 2007.
- [2] Magerle, Miroslav. Drvene konstrukcije - Svojstva drva, Zagreb, 1996.
- [3] Magerle, Miroslav. Drvene konstrukcije, Zagreb, 2008.