

SANACIJA SA OJAČANJEM POSTOJEĆIH DRVENIH KONSTRUKCIJA

REPAIRING AND STRENGTHENING OF EXISTING WOODEN STRUCTURES

**Doc. Dr. Amir Čaušević, dipl.ing.građ.
Doc. Dr. Neriman Rustempašić, dipl.ing.arh.
Nadira Kuljuh-Bolić, dipl.ing.arh.**

Univerzitet u Sarajevu, Arhitektonski fakultet Sarajevo

Kategorizacija rada: Stručni rad

SAŽETAK

Drvo je prvi od materijala otpornih na zatezanje koji je upotrebljen u podizanju konstrukcija. Izrazito je anizotropan materijal. Čvrstoća drveta u pravcu vlakana je mjerodavna za dimenzioniranje. Sa ekonomske tačke gledišta upitna je potreba ojačavanja oštećenih drvenih konstrukcija. S obzirom da se radi o laganom materijalu, pogodnom za ugrađivanje i manipulisanje, čini se da je najracionalniji postupak njihova zamjena, tim prije što je i rasterećenje moguće ostvariti na relativno jednostavan način. I pored navedenog često se, iako ne kao masovna i serijska praksa, ojačanje drvenih nosača uspješno realizuje. Najčešći slučaj u visokogradnji jeste potreba za sanacijom sa naknadnim ojačavanjem elemenata već izvedenih konstrukcija. U principu mogu se navesti dva valjana razloga za potrebu ojačanja nosača izloženih savijanju i to: da se poveća moment inercije (otpora) poprečnog presjeka i da se poveća krutost presjeka (EI).

Ključne riječi: sanacija, ojačanje drveta, lamelirani nosači

ABSTRACT

One of the first tension resistant materials that is used to build structures is wood. It is highly anisotropic material. The strength of wood in the fiber direction is relevant for dimesioning. From the economic point of view necessity of strengthening the damaged wooden structures is questionable. Given that this is a light material, suitable for installation and handling, it seems that the most reasonable method is its replacement, especially since the unloading can be achieved in a relatively simple manner. Besides the above mentioned, although not as massive and standard practice, often the strengthening of wooden beams is successfully implemented. The most common cause of the subsequent strengthening is the need for elements restoration in already completed structures. In principle, there can be mentioned two valid reasons for necessity of strengthening wooden beams exposed to bending, as follows: to increase the moment of inertia (resistance) of the cross-section and to increase the stiffness of the cross-section (EI).

Keywords: repairing, strengthening of wood, laminated beams

1. UVOD

Drvo je prvi od materijala otpornih na zatezanje koji je upotrebljen u podizanju konstrukcija. Izrazito je anizotropan materijal. Čvrstoća drveta u pravcu vlakana je mjerodavna za dimenzioniranje.

Prednosti upotrebe drveta su prije svega mala težina 600-1000 kg/m³, dobar odnos čvrstoća/težina, siječe se na potrebnu dužinu na gradilištu bez poteškoća, jednostavno se rade spojevi izuzev specijalnih vrsta kao što su lamelirani nosači, ima povoljnu cijenu i atraktivnog je izgleda.

Nedostaci upotrebe ovog materijala su brojni u rasponu od niskog modula elastičnosti 8000-15000 MPa, velikih deformacija, tečenja, otežanog formiranja krutih čvorova (samo polukruti i zglobovi), pa do različitih čvrstoća koje variraju duž vlakana (osim za šperploče i furnir ploče), bubrenja pod uticajem vlage, malih raspona (izuzev lameliranih nosača), slabe otpornosti na požar.

Začuđuje činjenica kako se malo prostora i pažnje posvećuje pripremnim i privremenim radovima na poslovima sanacije oštećenih objekata visokogradnje, a oni su itekako važni, kako sa stanovišta obezbjeđenja od daljnjeg urušavanja, tako i zbog učešća u konačnoj cijeni tih radova.

Sa ekonomske tačke gledišta veoma je upitna potreba ojačavanja oštećenih drvenih konstrukcija. S obzirom da se radi o laganom materijalu, pogodnom za ugrađivanje i manipulisanje, čini se da je najracionalniji postupak njihova zamjena, tim prije što je i rasterećenje moguće ostvariti na relativno jednostavan način. Najčešći slučaj u visokogradnji jeste potreba za sanacijom, ili ojačavanjem elemenata krovnih konstrukcija. Sredstva, materijali i načini ojačavanja ovih konstrukcija mogu biti veoma različiti, počevši od valjanih profila i čeličnih lamela, do posebno oblikovanih elemenata od armaturnog željeza – tzv. štapnih proteza, u vidu kratkih rešetkastih nosača, pogodnih za serijsku primjenu.

2. OŠTEĆENJA KONSTRUKCIJE

U najvećem broju drvenih krovnih konstrukcija postoje oštećenja, posebice usljed prisustva vlage javljaju se drvene gljive i insekti. Oštećenja mogu biti površinska ili pak kao druga krajnost toliko duboka da je drvo izgubilo nosivost. Nerijetko su krovne konstrukcije konstruktivno loše riješene što uzrokuje nepovoljnu raspodjelu opterećenja, te se javlja opasnost po pitanju stabilnosti konstrukcije.

U slučaju jako velikih oštećenja najjednostavnije je cijelu konstrukciju zamijeniti. Kod manjih oštećenja ili kod oštećenja objekata kulturne baštine mijenjamo samo pojedine dijelove. Zaštita se radi sa biocidnim sredstvima i novih i starih elemenata konstrukcije u slučaju nametnika. Zamjena oštećenih dijelova je u većini slučajeva kompliciran postupak jer su obično najoštećeniji dijelovi najopterećeniji i najteže dostupni – traži su stručno i pravilno podupiranje ostalog dijela konstrukcije, uz detaljan projekat i kvalitetnog izvođača.

Nikad se u ovakvim slučajevima stručnog podupiranja ili ubacivanja novih elemenata ne može biti dovoljno oprezan. Konstrukciju je pri zamjeni potrebno rasteretiti, a kod podupiranja paziti da se dijelovi konstrukcije ispod ne optereće pretjerano. Danas se koriste brzo rastuće vrste drveta, vrijeme sječe je kraće, te je neophodno zaštititi drvo odgovarajućim sredstvima. U vremenima koja su za nama, u pilanama se pažljivo birala drvena građa, praktično bez greške, sa dovoljno vremena „da odleži“.

3. SANACIJA SA OJAČANJEM DRVENIH KONSTRUKCIJA

U slučajevima kada se utvrdi da postupak sanacije neće garantovati sigurnu upotrebu objekta, potrebno je uraditi i odgovarajuća ojačanja. Ojačanja se rade i u slučajevima povećanja opterećenja koja djeluju na objekat ili se pak radi nadogradnja postojećeg objekta. Step en ojačanja konstrukcije objekta nije moguće podići na najveći step en sigurnosti, a da ne ulazimo u narušavanje izvorne koncepcije objekta.

Sanacija sa ojačanjem jeste podvarijanta sanacije i rekonstrukcije, jer se nalazi negdje između ta dva zahvata. Riječ je o potrebi da se konstruktivni elementi koji su teže oštećeni, bez njihove zamjene (konverzije), ojačaju kako bi mogli služiti prvobitnoj namjeni.

Odluka o načinu rješavanja problematike sanacije i rekonstrukcije ovisi prije svega od: seizmičke zone lokacije na kojoj se objekat nalazi, tipa i nivoa povreda, vremena koje nam je na raspolaganju za intervenciju, raspoložive opreme, ekonomskih kriterija i stepena zahtijevane sigurnosti.

Taj postupak može biti dosta složen, prvenstveno sa stanovišta realizacije – izvođenja, zbog nedostupnosti, ali i potrebe za rasterećenjem, koje opet za sebe predstavlja dodatni postupak koji zahtjeva, ukoliko se ne radi o elementu manjeg značaja za cijeli sistem, ili rutinskim radovima, dodatnu analizu, pa i proračun, sa pratećim skicama.

Prilikom projektovanja ovakvih radova često se mjenja statička šema i konstruktivni koncept oštećenog elementa, što opet navodi na zaključak da se radi o postupku koji je između sanacije, u klasičnom smislu, i rekonstrukcije.

Konstrukter mora da, pored valjanog uvida na licu mjesta i sagledavanja cjeline konstruktivnog sklopa, uzimajući u obzir i vrste upotrebljenih materijala, karaktera nosivog tla i sl., razmotri – na osnovu saznanja o uzrocima povreda, statičko-konstruktivnu poziciju konstrukcije. Ovo se prvenstveno odnosi na promjenu - opadanje (degradaciju) njene krutosti, posebno ako su uzroci povreda ratna dejstva, eksplozije plina, dinamički udari od teškog prometa, i posebno seizmička dejstva. Tome treba pridružiti i mogući gubitak, ostvarenog, ili neostvarenog, ali u svakom slučaju poželjnog i, u nekim slučajevima zahtjevanog, duktiliteta. Općenito uzevši, može se smatrati da je nastupila kvalitativna promjena mehaničkih osobina ugrađenih materijala, pa time i cijelog sistema.

U takvim okolnostima može se sa dovoljnom sigurnošću smatrati kako su presjeci takvih elemenata dovedeni do graničnog stanja nosivosti i upotrebljivosti, ili barem nekog stanja koje je sasvim blisko tome.

Pored promjene krutosti, treba razmotriti realnu mogućnost pojave zaostalih napona i deformacija u elementima.

U slučaju kada drvo ima podužne pukotine mogu se koristiti sintetičke smole. Druge solucije podrazumijevaju postavljanje vilica u cilju ostvarivanja povezanosti odvojenih dijelova, ojačanja uz korištenje podužne čelične ploče, spojene zakivcima međusobno ili uvezane sa vilicama. Moguće je postaviti prednapregnuti kabl duž, na odgovarajući način oblikovanih, linija, blizu dva lica nosača. Površina zidova neposredno ispod oslonaca drvenih greda je potencijalno slabo mjesto u ovakvim konstrukcijama i treba ih provjeriti i konsolidirati.

3.1. Ojačanje drvenih nosača

Vrlo je važno osigurati vezu između zidova i tavanica, odnosno zidova i krova. U slučaju jakog potresa moguće je da bude premašena sila trenja koja se razvija na kontaktu zidova i tavanica, i tada svaki zid djeluje za sebe i oštećuje se oscilacijama, u vlastitoj i u ravni okomitoj na nju. Kod drvenih tavanica fizički se čeličnim sponama ili trnovima vrši povezivanje nasuprotnih zidova u nivou stropa. Armirano-betonske horizontalne konstrukcije izvode se monolitno vezane sa horizontalnim serklažima.

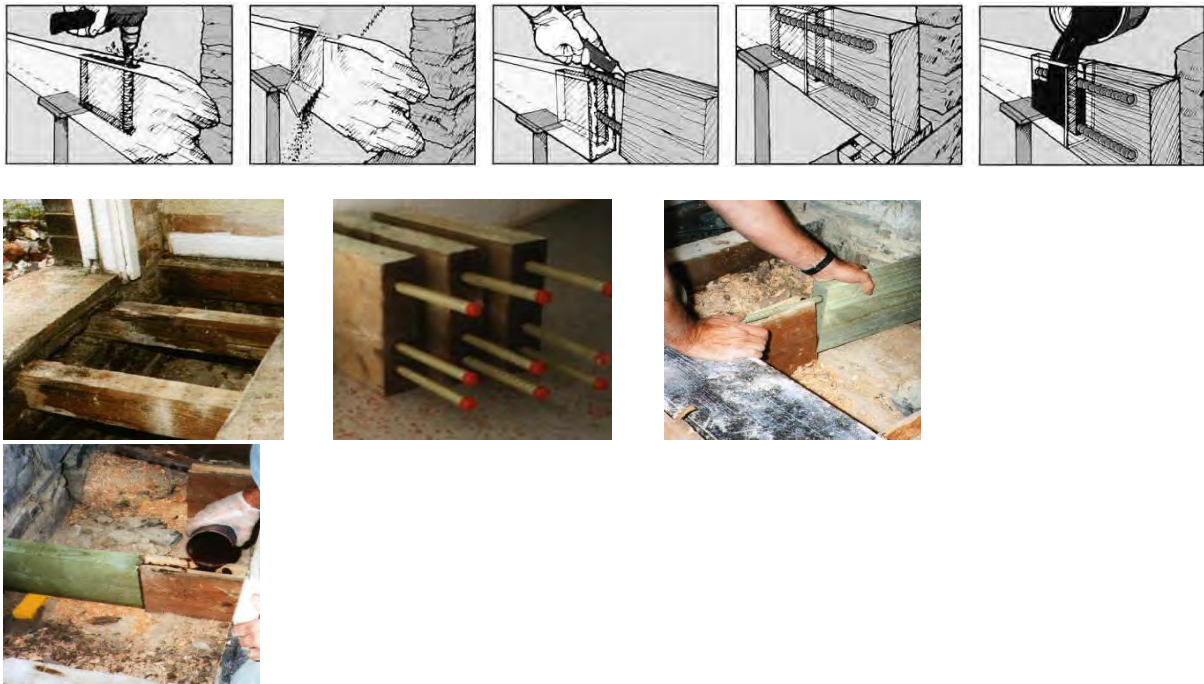
Drvene međuspratne tavanice zbog svog sastava i drveta kao osnovnog materijala imaju i drugačiji pristup prilikom intervencija. Drvo je zbog svog sastava podložno djelovanju insekata i gljivica tako da se u ovim slučajevima može primjeniti i preventivna zaštita koja sprječava dalje širenje štetočina. Metode mogu biti fizikalne (vrući zrak, mikrotalasi, površinsko sagorjevanje) i hemijske što podrazumjeva upotrebu otrovnih gasova, tečnih sredstava za impregnaciju kao i kapsula sa otrovom za teže dostupne dijelove konstrukcije. Pošto se ove metode koriste u objektima gdje se boravi, javlja se briga i rasprave o isparenju štetnih gasova i njihovom uticaju na zdravlje ljudi.

Razlozi za pristup sanaciji i ojačanju drvenih tavanica mogu biti različiti. Činjenica je da se ovim zahvatima pristupa i na neoštećenim drvenim elementima tavanica zbog nedostataka u odnosu na budući način korištenja i moguće probleme sa nosivošću pod planiranim opterećenjima. Lokalna oštećenja kao i oštećenja na većim površinama drvenih tavanica razlozi su da se pristupa sanaciji i ojačanju drvenih elemenata tavanica.

Oslonci greda u zidovima su najosjetljiviji i najugroženiji dijelovi stropne konstrukcije, jer na osloncima najčešće dolazi do truhljenja "glave" greda, zbog nemogućnosti ventilacije ili usljed prodiranja vlage u prostor u zidu gdje se oslanja greda (kutija oslonca). U ovom slučaju se truhli dio drveta mora odstraniti i greda se sa jedne ili obje strane mora ojačati. Ojačanje greda kod manjih oštećenja vrši se oblaganjem greda drvenim talpama sa strane, ali ovim se povećava oslonac grede što zahtijeva dodatno ulaganje u zid što slabi presjek zida. Druga varijanta je ojačanje glave grede sa valjanim profilima. Prije početka radova strop se mora osigurati provizornom gredom koja se prostire duž zida i opterećenje sa oštećene grede prenosi na ostale, zdrave grede. Oštećene grede se u nekim slučajevima ne zamjenjuju nego se moždanicima povezuju sa novim dodatim gredama, da bi podgled stropa ostao neoštećen. Ovo su razlozi da su nove grede nešto manje i postavljaju se 2-3 cm iznad donje daščane oplata. Ovaj tehnološki postupak ne zahtijeva dizanje postojećeg stropa i donje daščane podloge. Prilikom ovih intervencija podrazumjeva se da su svi oštećeni dijelovi grede uklonjeni i zapunjeni vještačkom smolom i da je sva greda premazana zaštitnim sredstvima (Slika 1).

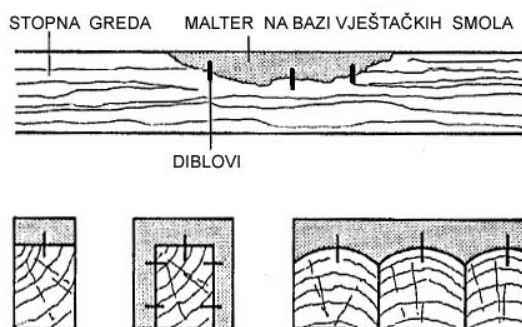


Za povećanje nosivosti ili kod oštećenja čela drvenih greda na osloncima truhljenjem, larvama ili gljivicama, kod smanjenja čvrstoće drveta i dr. moguće je povećati ili dopuniti poprečni presjek drvene grede malterom od mješavine cementnog maltera i epoksi smole (sa < 20% reagujućih umjetnih materijala). Ova polimer-hemijska sanacija glava greda sastoji se u tome da se u zdravom dijelu drveta buše rupe i kroz njih se uvodi armatura od FRP šipki. Kompletna glava grede se zatim radi od maltera na bazi epoksidne smole (presuje se). Za bolje vezivanje drveta i maltera u drvo se zakucavaju spojni elementi od čelika ili drveta i preko njih se izljava malter (Slika 2).



Slika 2. Polimer hemijska sanacija stropnih greda

Kod površinskih oštećenja greda moguće je izvršiti konsolidaciju grede injektiranjem sa smješom od epoksi smola uz predhodno odstranjivanje oštećenog dijela drvene grede (Slika 3).



Slika 3. Konsolidacija grede sa malterom na bazi vještačkih smola

Ako je iz formalnih razloga opravdano, moguće je strop ili krovnu konstrukciju poduprijeti drvenim ili čeličnim profilima na mjestima oslanjanja. Na ovaj način je moguće povećati nosivost stropa, smanjenjem raspona konstrukcije.

Ukoliko neke grede više nemaju potpunu nosivost ili ako se strop treba prilagoditi za veća opterećenja, pojedine grede se mogu objesiti na čelične podvlake, bez oštećenja donjih slojeva stropa. Ove podvlake od čeličnih profila se smještaju u sloj šljunka i postavljaju se paralelno sa postojećim drvenim gredama koje nose donju postojeću plafonsku konstrukciju. Na ove profile moguće je i osloniti eventualno novi pregradni zid. Za traverze je potrebno u zidovima iskopati ležišta i izbetonirati betonske jastuke sa anker pločama na koje se profili oslanjaju i fiksiraju varenjem.

Ako kompletna konstrukcija stropa zadovoljava tražene zahtjeve nosivosti, ipak su neka mjesta oslabljena dodavanjem pregradnih zidova ili oštećenim gredama. U takvim slučajevima izvodi se sloj betona debljine 5-7 cm koji ima ulogu prenošenja opterećenja (ako je moguće neka vrsta lakog betona radi težine). Ovaj sloj betona nije noseći tako da ne zahtjeva oslonce, međutim ne smije prekoračiti težinu uklonjenog šljunka od nasipa. Ovaj sloj betona smanjuje ugib stropa i predstavlja odličnu ravnu podlogu za izvođenje slojeva poda, kao i za izvođenje hidroizolacije u mokrim prostorijama. Ukoliko se ispod ove ploče koja prenosi opterećenje postavlja sloj izolacije, ovaj se izvodi kao plivajući estrih i sprječava daljnje prenošenje udarnih zvukova kroz konstrukciju.

U slučaju kada se ove ploče za prenošenje opterećenja spoje sa drvenim gredama na način na koji ne dolazi do smicanja slojeva, i gdje se betonskoj ploči predaju sile pritiska, a drvenim gredama sile zatezanja, nastaje spojena tj. spregnuta stropna konstrukcija. Nosivost ovog stropa se povećava, a naročito se smanjuje mogućnost ugiba. Posebna pažnja se mora obratiti spajanju drvenih greda sa armirano betonskim pločama, a to se može izvesti specijalnim spojnim sredstvima, pojedinačnim zavrtnjima ili spajalicama – zavrtnjima. Treba voditi računa o zaštiti od korozije ovih spojnih elemenata (pocinčavanje, nehrđajući čelik). Pri ugradnji se, zbog težine mokre betonske ploče, drvene grede moraju poduprijeti prema statičkom proračunu. Debljina ploča je 6-10 cm, a spojna sredstva za sprezanje moraju doprijeti 4-6 cm u ploču, dok je razmak spojnih elemenata je 10-50 cm.

Posljednji nivo ojačavanja postojećih drvenih stropnih konstrukcija jeste izvođenje samonosive armirano-betonske ploče, kojoj postojeći strop služi samo kao oplata. Ova metoda se koristi pretežno u izgradnji potkrovlja, da bi se dobio slobodan izbor postavljanja zidova u potkrovnoj etaži i da bi ometanje stanara na etaži ispod bila minimalna. Ukoliko se okrugle drvene grede vješaju na AB ploču, onda je ova metoda moguća i kod oštećenih drvenih konstrukcija (uz podupiranje pri betoniranju). Zbog velike težine betona (oko 500kg/m² pri debljini ploče od 20cm), betoniranje se vrši u dvije faze (da bi se izbjeglo podupiranje na više spratova). U dvije faze betoniranja moraju se ugraditi spojevi da bi ove dvije ploče radile zajedno na smicanje. Ploča mora na minimum 50% svoga obima dobiti oslonce u obodnim i unutarnjim nosivim zidovima.

Ukoliko nosivost stropne konstrukcije to dozvoljava, tj. ukoliko se ne prekorači težina starog poda, mogu se izvoditi sve uobičajene podne konstrukcije sa plivajućim estrihom. Ušteda na težini postiže se korištenjem "leca- estriha" ili redukcijom debljine estriha korištenjem estriha sa umjetnim smolama.

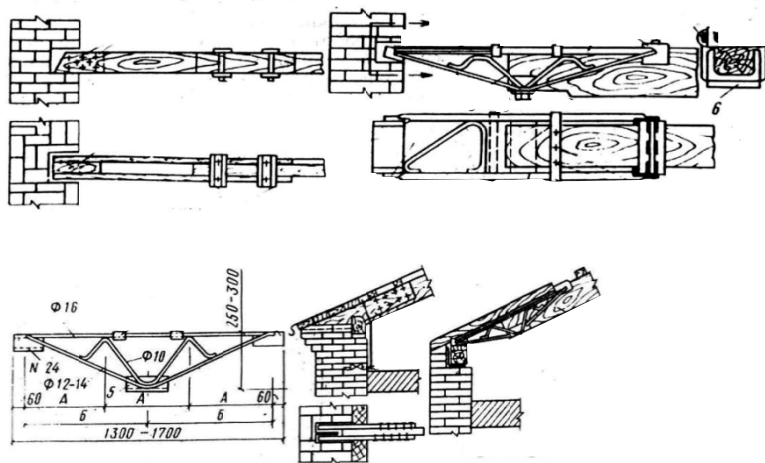
Ako se u mokrim čvorovima nalazi drvena stropna konstrukcija¹ pri sanaciji preko stropa mora se postaviti masivna ploča koja omogućava postavljanje horizontalne hidroizolacije.

¹ Prema građevinskim propisima iz vremena izvođenja objekta u mokrim prostorijama su se izvodili masivni zidani stropovi sa traverzama zbog veće mogućnosti prodora vode i vlage, međutim tokom vremena bile su moguće izmjene mjesta mokrih prostorija u dispoziciji stana.

Ukoliko se ne izvodi betonom sprezanje ploča za drvenu konstrukciju, moguće je izvesti sloj od estriha preko daščane oplate koji bi djelimično ulazio u okolne zidove i tako postao djelimično noseći.

Ukoliko je postojeća stropna konstrukcija previše oštećena ili ako se određenim intervencijama stanje u osloncima značajno mjenja, preporučuje se uklanjanje dijelova ili čak cijele stropne konstrukcije i izvođenje novih masivnih stropova od armiranog betona ili polumontažnih ploča.²

Ako u zidu postoji oslonac od 15 cm, nova konstrukcija se može direktno osloniti na stara mjesta. Kod drugih drvenih stropnih konstrukcija se mora izbiti oslonac u zidu cijelim obimom stropa. Posebna pažnja se mora obratiti izolaciji dijelova i vezivanju stropa za zidnu konstrukciju. Ovo se može izvesti čeličnim pločama koje se vezuju čeličnim sajlama sa stropnom konstrukcijom ili ukoliko vizuelno oštećenje fasade nije moguće, moždanicima / diblama koje se iznutra postavljaju i presuju malterom od umjetne smole. Ako je zidna konstrukcija solidna ili je naknadno injektirana i konsolidovana pretpostavka je da će nastati dobar spoj nove armiranobetonske ploče i zida i naknadno ankerisanje nije potrebno.



Slika 4. Primjer ojačanja oštećenih drvenih greda

² Pravilnik o tehničkim normativima za sanaciju, ojačanje i rekonstrukciju objekata visokogradnje; Sl. list SFRJ br. 52/85; Član 20.- Ako postojeće međukatne konstrukcije ne povezuju nosive zidove i nemaju potrebnu krutost, pojačavaju se ovako:

1. uvođenjem čeličnih zatega s objiju strana zidova ako su međukatne konstrukcije od drveta pri čemu se zidovi, ako su kameni, injektiraju u razini stropa, u visini 60 cm najmanje;
2. uvođenjem dijagonalnih zatega ako su međukatne konstrukcije od drveta, uz istovremeno sidrenje drvenih greda u zidove. Raspored i dimenzije zatega određuju se računski, pri čemu se na jednokatnim objektima zatege raspoređuju konstrukcijski, bez proračuna;
3. zamjenom dotrajale drvene međukatne konstrukcije stropom od armiranog betona, pri čemu se veze stropa sa svim nosivim zidovima osiguravaju prosijecanjem zidova na udaljenosti 1,5 m najmanje.

3.2. Armiranje drvene konstrukcije

Najčešće se armiraju konstruktivni elementi od drveta, kada se očekuje da će u eksploataciji biti izloženi savijanju, dakle oni u čijim poprečnim presjecima će se javljati naponi pritiska i zatezanja. Posebno je od interesa zategnuta zona u kojoj se, po pravilu, događa slom. Istovremeno, armiranjem pritisnute zone može se znatno povećati nosivost nosača izloženog savijanju. Na taj način moguće je pomjeriti (odgoditi) početak plastifikacije te zone.

U principu savijanju i, mogu se navesti dva valjana razloga za potrebu armiranja nosača i to: **da se poveća moment inercije (otpora) poprečnog presjeka ili da se poveća krutost presjeka (EI).**

Uzimajući u obzir mehaničke osobine drveta, ističu se zahtjevi koje materijali za armiranje (armatura) trebaju posjedovati: **visok stepen elastičnosti, dovoljan duktilitet na granici sloma, prepoznatljivu granicu sloma, otpornost na vanjske uticaje, naročito vlagu, ekonomičnost, mogućnost jednostavnog ugrađivanja i kvalitetnu prionjivost.**

Najviše se kao materijal za armiranje koristi tzv. betonsko željezo (čelične armaturne šipke), jer je to vrlo ekonomičan i dostupan materijal, lako se ugrađuje (montira), a postoje i dugotrajna iskustva sa njegovom primjenom. Najkvalitetniji materijal, koji zadovoljava skoro sve zahtjeve, jeste zaštićena žica od visokovrijednog čelika. Najviše se koristi žica promjera do 5 mm, sa čvrstoćom na kidanje od 700 MPa, pa sve do čak 4200 MPa, sa modulom elastičnosti $E = 2,1 \cdot 10^5$ Mpa.

Bilo je, međutim, niz pokušaja (i realizacija) i sa drugim materijalima i kombinacijama, kao na primjer:

- fiberglas,
- ojačanja aluminijumskim trakama,
- ojačanja plastičnim trakama, i sl.,

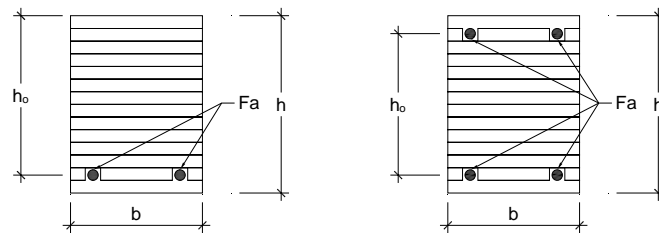
ali su uglavnom sve ove varijante ostale na nivou pokušaja, prvenstveno iz komercijalnih razloga.

Zbog svega navedenog, može se konstatovati da princip armiranja drvenih nosača, u široj primjeni, nije dovoljno afirmisan. Razlog tome ne treba tražiti u nedostacima tog principa, već ponajviše u visokoj cijeni tog proizvoda. I pored svega često se, iako ne kao masovna i serijska praksa, armiranje drvenih nosača i uspješno realizuje. On se pokazao kao naročito efikasan postupak kada se radi o naknadnom ojačanju već izvedenih konstrukcija. U tu svrhu se uspješno primjenjuje, komercijalno najpovoljnija solucija: armaturno (betonsko) željezo različitih promjera. U tom smislu, slično kao i kod novih modela, potrebno je pažljivo pristupiti realizaciji, a to praktički znači da se armatura postavlja u kvadratne žljebove koji moraju imati veće dimenzije od armature za najmanje 2 mm. Veza između armature i drveta se ostvaruje zaljevanjem žljebova epoksidnom smolom. Prilikom ugradnje armature pritisak presa treba da je 0,2 - 0,3 MPa.

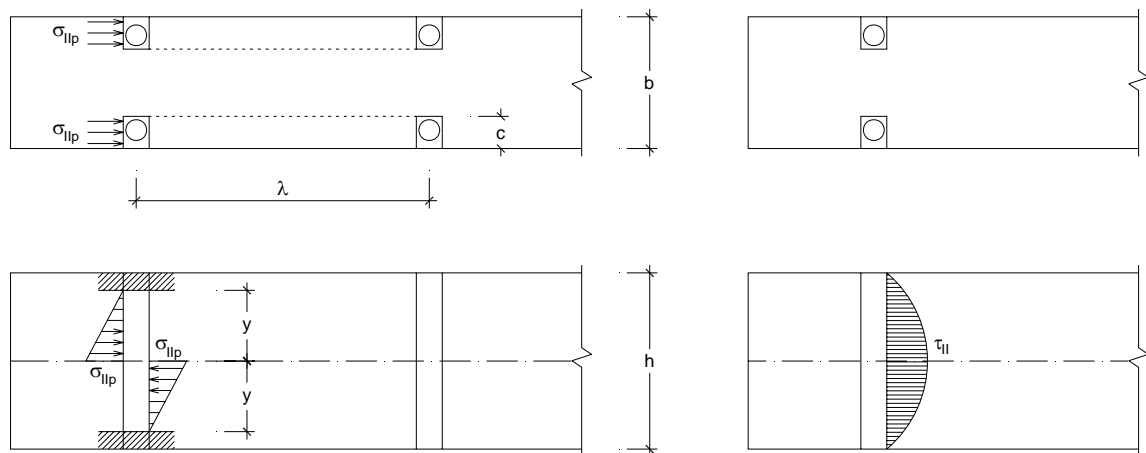
3.3. Armiranje lameliranih drvenih nosača

Lamelirane konstrukcije se koriste zbog svojih visokih mehaničkih karakteristika, industrijske izrade, mogućnosti korištenja raznih oblika, fleksibilnosti, te prihvatljive rezistentnosti na hemijske uticaje. Njihovim armiranjem povećavamo im nosivost.

Položaj podužne (glavne) armature u presjeku i poprečne armature duž nosača je prikazan na slici (Slika 5).



Slika 5. Jednostruko i dvostruko armiran presjek



Slika 6. Dijagrami raspodjele normalnih napona po izloženoj površini rupe, te smičućih napona

4. PRORAČUN GRANIČNE NOSIVOSTI OJAČANOG PRESJEKA

Pod pojmom granična nosivost presjeka za prosta naprezanja, podrazumijevamo najveću vrijednost presječne sile (N , T ili M), koju poprečni presjek može primiti neposredno pred slom. Da bi smo odredili graničnu nosivost presjeka potrebno je poznavati dimenzije poprečnog presjeka nosača i zamjenjujući dijagram napon - deformacija. Eksperimentalno je utvrđeno da hipoteza ravnih presjeka važi i u neelastičnom području deformacija tj. do sloma nosača. Također, nije teško dokazati da je granična presječna sila po metodi loma u pravilu veća od granične presječne sile po metodi dozvoljenih napona. Pod pojmom granično opterećenje podrazumijevamo intenzitet opterećenja koji izaziva slom konstrukcije. Prema metodi dozvoljenih napona granična nosivost konstrukcije (nosivost konstrukcije neposredno pred slom) za statički određene i za statički neodređene konstrukcije jednaka je graničnoj nosivosti kritičnog presjeka konstrukcije. Prema metodi loma granična nosivost statički određene konstrukcije jednaka je graničnoj nosivosti kritičnog presjeka konstrukcije, a granična nosivost statički neodređene konstrukcije nastupa kada se iscrpi granična nosivost i posljednjeg kritičnog presjeka konstrukcije, tj. kada se na konstrukciji pojavi broj plastičnih zglobova veći za jedan od stepena statičke neodređenosti konstrukcije. Odaberimo, dakle, statički neodređenu konstrukciju od žilavog materijala i opterećenje koje postepeno raste. Kada nastupi granična nosivost u jednom presjeku statički neodređene konstrukcije, taj se presjek za dalji porast opterećenja ponaša kao zglob koji nazivamo plastični zglob. Drugim riječima za dalje povećanje opterećenja statička neodređenost konstrukcije manja je za jedan stepen. Kada u sljedećem presjeku nastupi granična nosivost, presjek se za dalje povećanje

opterećenja ponaša kao zglob, tj. za dalje povećanje opterećenja statička neodređenost konstrukcije manja je za još jedan stepen. U praksi se to naziva preraspodjela sila u konstrukciji.

5. ZAKLJUČAK

Proces rehabilitacija objekata je postao pitanje od velike važnosti posebno u najrazvijenijim društvima. To je rezultat potrebe da se poboljša postojeći objekat i prilagodi za nove uvjete korištenja, ali uz prepoznavanje važnosti očuvanje arhitektonskog naslijeđa. Postojeći objekti su podvrgnuti procesu degradacije s protokom vremena, što dovodi do situacija u kojoj oni nisu u stanju ispuniti svrhu za koju su izgrađeni. Ponekad, tu je i potreba da se poboljša postojeća zgrada u skladu sa novim zahtjevima, odnosno da se prilagode novim funkcijama. Sanacija, prema svom izvornom poimanju, podrazumjeva dovođenje neke stvari, u ovom slučaju objekta, ili jednog njegovog dijela, odnosno pojedinačnog elementa, koji je zbog nekih nepoželjnih djelovanja ostećen, pa mu je funkcija upitna, - u prvobitno stanje. Kao neku vrstu kontrapunkta u promjenama uzrokovanim brzim tehnološkim razvojem rehabilitacija zgrada kulturne baštine postaje način održivog razvoja, kao i čin kulture. Nezavisno od uzroka, presjeci teže povrijeđenih konstruktivnih elemenata pa time i sami elementi, dovedeni su u stanje granične nosivosti i upotrebljivosti, ili bar blisko tom stanju ako je broj takvih presjeka dovoljan za prelazak sistema u mehanizam. Polazeći od takve pretpostavke potrebno je pri sanacijama voditi posebno računa o veličinama zaostalih napona i veličinama zaostalih deformacija, jer one mogu da utiču na upotrebljivost tih elemenata. U nekim situacijama provjere nosivosti, kao i za preliminarnu procjenu, pojednostavljeni modeli, na osnovu jednostavnih statičkih uvjeta ravnoteže, kao i grafičke metode mogu biti korisni. Međutim, danas, najčešće korištene metode modeliranja za provjeru ponašanja strukturnih elemenata zgrade su numeričke, uz formiranje odgovarajuće mreže konačnih elemenata. Granična nosivost statički neodređene konstrukcije nastupa kada dođe do sloma konstrukcije kao cjeline tj. kada se formira broj plastičnih zglobova veći za jedan stepen od statičke neodređenosti konstrukcije. Dakle, granična nosivost statički neodređene konstrukcije po metodi loma se dobije višestrukim ponavljanjem proračuna date konstrukcije kao elastičnog sistema, gdje se pri svakoj narednoj fazi smanjuje statička neodređenost konstrukcije. Na taj se način može proračunom ostvariti model tečenja konstrukcije.

6. LITERATURA

- [1] Hrnjić H., Čaušević A., Skoko M.: Otpornost materijala, Arhitektonski Fakultet, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo, 2012
- [2] Čaušević A. : Konstruktivni aspekti sanacije i rekonstrukcije zidanih objekata visokogradnje, magistarski rad, , Arhitektonski Fakultet, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo, 2004
- [3] Rustempašić N.: Tehnološki postupci i pristup sanaciji i rekonstrukciji objekata austrougarskog perioda - sa posebnim osvrtom na međuspratne konstrukcije, magistarski rad, Arhitektonski Fakultet, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo, 2004