

SPREGNUTI NOSAČI DRVO-BETON

COMPOSITE TIMBER-CONCRETE GIRDERS

Dean Čizmar¹, Maja Vrančić²

¹Tehničko veleučilište u Zagrebu, Graditeljski odjel

²Studentica TVZ-a

Sažetak

Klasično spregnuti nosači od čelika i betona već se dugo upotrebljavaju u građevinskoj praksi. Međutim, posljednjih godina u svijetu je sve prisutniji jedan novi oblik sprežanja gdje se umjesto čelika koristi drvo. Rezultat ove ideje su spregnuti nosači od drveta i betona koji se uspješno primjenjuju u mnogim konstrukcijama – kod mostova, kod međukatnih konstrukcija u visokogradnji te industrijskim objektima. Pored ovoga, sprežanje drveta i betona koristi se pri rekonstrukciji i sanaciji međukatnih drvenih konstrukcija, kako bi se udovoljilo suvremenim zahtjevima nosivosti, deformabilnosti i zvučne izolacije.

Ključne riječi: drvo, beton, spregnuta konstrukcija, sprežanje

Abstract

Composite steel and concrete girders have been used in the construction practice for a long time. However, recently a new form of composite structure is being used as well. This new form of composite uses wood instead of steel. The result is composite timber and concrete girders that can be successfully used in many structures – bridges, in buildings and industrial facilities as floor and wall structures. Furthermore, they can be used for replacement or reconstruction of old timber floors in order to meet modern strength capacity and small deformability demands, as well as demands on sound insulation.

Keyword: wood, concrete, composite structure, composite action

1. Uvod

1. Introduction

Princip sprežanja različitih materijala potječe od ideje da se materijal koji dobro podnosi vlačno naprežanje (čelik, drvo...) smjesti u područje vlačne zone presjeka, dok se materijal koji dobro podnosi tlačno naprežanje (najčešće beton) smjesti u tlačnu zonu presjeka. Djelotvorni presjek ima visoku nosivost i krutost, a zajednički učinak oba materijala u ovakvoj vezi je veći od sume njihovih pojedinačnih učinaka.

Povezivanjem drvene grede ili neke druge građe na osnovi drva, s betonskom pločom omogućuje se prenošenje posmičnih sila koje se javljaju između grede ili građe i betona. Za navedeno povezivanje, odnosno sprežanje koriste se razni tipovi spajala kao što su čavli, vijci, utisnuti nazubljeni pločasti moždanici, prstenasti moždanici itd.

Spregnuta konstrukcija drvo-beton pruža brojne prednosti u usporedbi s tradicionalnom drvenom konstrukcijom, kao što su povećana nosivost i krutost (smanjeni progibi), manje osjetljivosti na vibracije, poboljšana seizmička otpornost, otpornost na požar, povećana zvučna i toplinska izolacija, očuvanje originalnog podgleda (upotreba postojećih drvenih greda). Vlastita težina spregnutih stropnih konstrukcija drvo – beton je gotovo dvostruko manja u odnosu prema klasičnoj AB ploči, stoga se prenosi manje opterećenje na zidove odnosno temelje. Horizontalna krutost stropne konstrukcije je u ovakvom sustavu tri do četiri puta veća u odnosu na krutost drvene stropne konstrukcije (poboljšana seizmička svojstva objekta – jamstvo čuvanja oblika stropa i cijele građevine).[4]

Međutim, javljaju se i mane drveno – betonskih spregnutih konstrukcija koje uglavnom proizlaze iz različitih mehaničkih i vrlo složenih reoloških

svojstva drva i betona. Kako je poznato, i beton i drvo su podložni puzanju, a uz to s vremenom dolazi do promjene stanja naprezanja u spregnutom presjeku. Beton je osjetljiv na promjenu temperature, a drvo na promjenu vlažnosti. Nadalje, djelotvornost spreznja ovisi o vrsti primijenjenog spajala, te se u određenoj mjeri smanjuje ovisno o broju ciklusa promjene opterećenja (zamor).

Osamdesetih godina prošlog stoljeća značajnije su počela istraživanja na području spreznja drva i betona, međutim spreznje drvo-beton nije u potpunosti regulirano propisima niti u jednoj zemlji što ostavlja prostor za daljnja istraživanja.[4]

2. Karakteristike spregnutih nosača

2. Properties of composite girders

2.1 Općenito o spregnutim nosačima

2.1 About the composite girders

Najbolja svojstva oba materijala mogu biti iskorištena, tako da drveni dio spregnutog presjeka preuzme sile od savijanja i vlaka dok tlačne sile preuzima betonski dio presjeka.



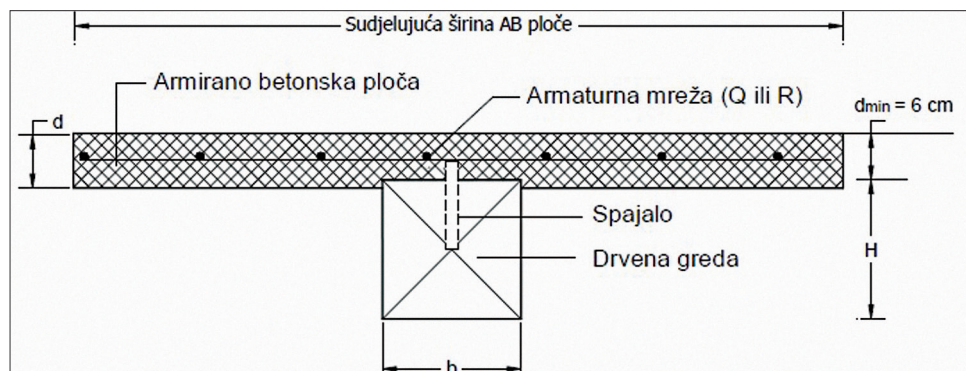
Slika 1 Prikaz spregnute konstrukcije

Figure 1 Composite structure

Kako bi ova spregnuta konstrukcija bila učinkovita, moraju biti zadovoljena tri osnovna uvjeta: (1) neutralna os spregnutog poprečnog presjeka trebala bi se nalaziti blizu sučelja drva i betona, kako bi se osiguralo da je beton u tlaku te da ne dođe do njegovog raspucavanja, a da je drvo u vlaku; (2) spoj mora imati dovoljnu otpornost i krutost kako bi mogao prenijeti posmične sile i omogućiti efektivno kompozitno djelovanje; (3) drveni dio spregnutog presjeka mora imati dovoljnu otpornost na savijanje i vlak, koji su prouzročeni vertikalnim opterećenjem na spregnuti presjek.[5]

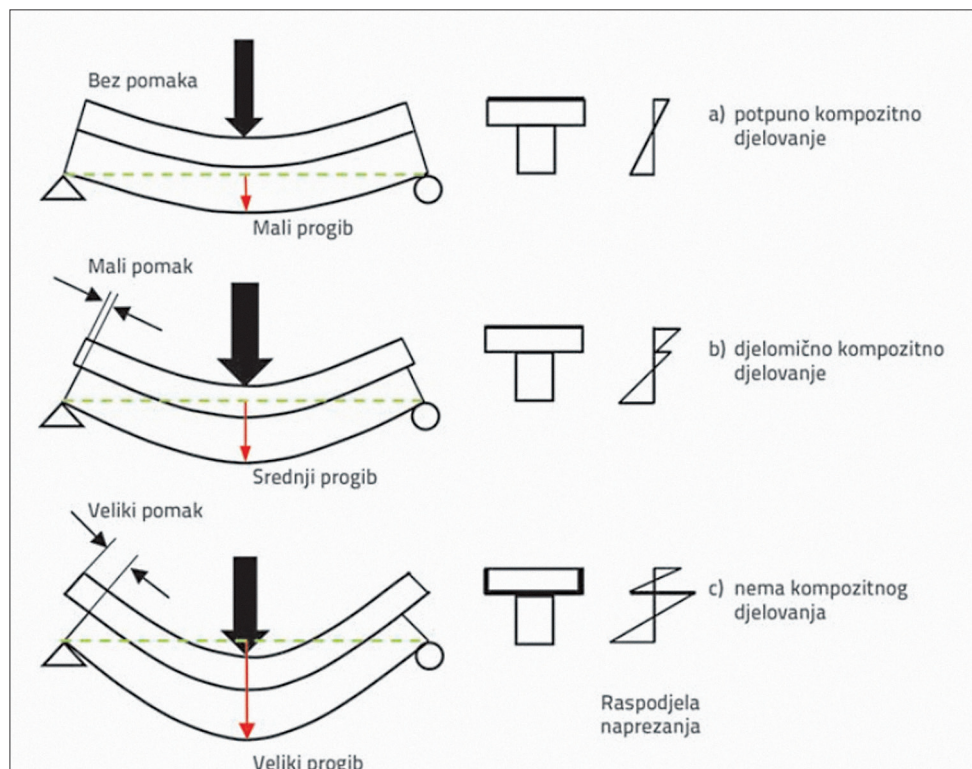
Osnovnu ideju odnosno zadaću spreznja, najjednostavnije je objasniti na primjeru dva nosača položena jedan na drugog, koji su opterećeni na savijanje (slika 3). Kod nespregnutog nosača (slika 3.c) vidljivo je da postoji relativni pomak jednog nosača u odnosu na drugi u području ležajeva. Uz pretpostavku da u dodirnim površinama između dva nosača ne djeluje trenje, pod djelovanjem sile, svaki od navedenih nosača savija se neovisno jedan od drugoga, svaki preuzima odgovarajući dio opterećenja shodno krutosti svakog pojedinog dijela nosača.

Međutim, ako ta dva nosača povežemo čvrstom vezom tako da su spriječeni relativni pomaci jednog dijela u odnosu na drugi, sastavljeni će se nosači ponašati kao jedinstveni nosač (slika 3.a). Posmična naprezanja koja se javljaju na kontaktnoj površini između njih, moraju preuzeti sredstva za spreznje[1] (vijci, moždanici, ljepila itd.). Osim navedenih ekstremnih ponašanja dva promatrana nosača, u stvarnim situacijama pojavljuje se i slučaj kada postoji određeno spregnuto djelovanje između dva nosača ali i manji pomak među njima na krajevima. Na slici 3.b



Slika 2
Presjek spregnute konstrukcije

Figure 2
Cross-section of a composite structure



Slika 3
Raspored naprezanja po visini poprečnog presjeka za:
a) puno sprezanje
b) djelomično sprezanje
c) nespregnuto stanje[6]

Figure 3
Height cross-section of strain distribution for:
a) full composite action;
b) partial composite action;
c) non-composite[6]

prikazan je raspored normalnih naprezanja po visini poprečnog presjeka za djelomično spregnut nosač. Prilikom projektiranja spregnutih konstrukcija drvo-beton osnovno je odabrati materijale, te način njihovog sprezanja (spojno sredstvo). Najčešće se primjenjuju nosači T-presjeka, s drvenom gredom koja čini hrbat, betonskom pločom, te spojnim sredstvima koja osiguravaju zajedničko (spregnuto) djelovanje dva različita konstruktivna materijala u jedinstvenom spregnutom presjeku.

Područje spregnutih sustava na osnovi drva obuhvaća:

- sustave drvo – materijal na osnovi drva (predgotovljeni nosivi elementi)
 - drvo* / materijal na osnovi drva – čelik
 - drvo* / materijal na osnovi drva – beton
 - drvo* / materijal na osnovi drva – staklo / pleksiglas (paneli i predgotovljeni elementi I presjeka)
- * Termin „drvo“ se odnosi na puno (cjelovito ili masivno) drvo i lijepjeno lamelirano drvo (LLD).

U stropnim konstrukcijama poželjna je ugradnja laganih, lako – agregatnih betona (dodatak granula ekspaniranog polistirena/stiropora), jer se time povećavaju toplinsko – izolacijska svojstva međukatne konstrukcije.



Slika 4 Lijepjeno lamelirano drvo (LLD)

Figure 4 Glued laminated timber (GL)



Slika 5 EPS beton

Figure 5 EPS concrete

3. Prednosti spregnutih konstrukcija drvo – beton

3. *Advantages of composite timber-concrete girders*

Tradicionalni drveni stropovi izloženi su prekomjernom savijanju, osjetljivosti na vibracije, nedovoljnoj akustičnoj izolaciji te niskoj otpornosti na požar. Navedeni problemi mogu biti riješeni primjenom spregnute konstrukcije drvo – beton. Iako se navedena spregnuta konstrukcija još uvijek istražuje i razvija, ipak dovoljno je razvijena da se primjenjuje za rješavanje različitih problema. Postoje mnoge prednosti korištenja spregnute konstrukcije drvo-beton, naspram korištenja isključivo drvene ili AB konstrukcije. Kod novih/starih građevina, sprežanjem gornje betonske ploče sa drvenom gredom ili nekom drugom građom na bazi drva postiže se: (1) značajno povećavanje krutosti u odnosu na korištenja samo drva; (2) znatno se povećava zvučna izolacija; (3) povećava se toplinska izolacija što je važno jer se smanjuje potrošnja energije za hlađenje i grijanje građevine. S druge strane, zamjenom (smanjenjem) betonskog dijela presjeka sklonog pucanju uzrokovanog vlačnim naprežanjem, sa drvenom gredom ili nekom drugom građom na bazi betona, moguće je postići sljedeće prednosti: (1) brza montaža drvenog dijela spregnutog presjeka, naročito ako se koriste prefabricirani elementi, smanjena je težina, a drvene grede i drvena obloga služe kao i „izgubljena oplata“; (2) smanjuje se opterećenje koje se prenosi na temelje; (3) smanjena je masa, dakle manje je i seizmičko djelovanje; (4) mogućnost očuvanja postojećih drvenih greda; (5) niska utjelovljena energija; (6) smanjuje se emisija CO₂ (smanjenje otiska CO₂), jer drvo ima negativnu emisiju što je povoljnije nego sprežanje s čelikom.

Za rekonstrukciju starih građevina, navedene prednosti mogu se postići povezivanjem betonske ploče od cca 50 mm s postojećom drvenom stropnom konstrukcijom: (1) povećavanje krutosti i nosivosti konstrukcije (2) očuvanje povijesnih građevina za buduće generacije i (3) bolja seizmička otpornost zbog izvedbe sidrenja betonske ploče i drvenih greda u zid od opeke/kamena.[5]



Slika 6 Gore: požarni test na stropnim panelima u tijeku; sredina: urušavanje nakon 75 minuta; dolje: poprečni presjek nosača izloženog požaru sa slojem drvenog ugljena[5]

Figure 6 Figure up: ongoing fire test on ceiling panels; figure center: collapsing 75 minutes later; figure down: charred cross-section of a girder[5]

Problemi vezani uz nisku otpornost na požar, nedovoljnu akustičnu zaštitu te osjetljivost na vibracije moguće je riješiti spregnutom stropnom konstrukcijom, koja može uspješno konkurirati sa standardnim armirano-betonskim stropnim konstrukcijama. Kod spregnutih konstrukcija drvo- beton, betonski sloj služi kao zaštita za drveni nosač, time što smanjuje utjecaj temperature i odgađa početak sagorijevanja drva. S druge

strane, čađa koja se stvara na drvenoj gredi prilikom požara, pruža izolaciju te zaštićuje beton i spojna sredstva od visokih temperatura koje se pritom javljaju. U svakom slučaju, vatrootpornost spregnutih konstrukcija daleko je veća, nego kod standardnih drvenih stropnih konstrukcija.

S obzirom na vibracije i akustiku betonska ploča povećava masu i krutost drvenog stropa, i na taj način poboljšava cjelokupnu udarno zvučnu izolaciju.[5]

Ne smije se koristiti vlažno drvo (kad je to neizbježno, treba mu odstraniti srž ili osigurati da pukotine i raspukline nisu na mjestu predviđenom za spajala). Potpore drvenih greda (obvezne tijekom sanacije) ne treba uklanjati neposredno nakon izvođenja ploče. Sva čelična spajala treba zaštititi od korozije (pocinčani ili nehrđajući čelik), a betonsku ploču (pogotovo kad je tanka) u vlačnoj zoni treba armirati zbog prevencije pukotina. Drvo pri betoniranju ploče treba zaštititi od vlage PVC folijama ili betonu dodati sastojke koji će smanjiti v/c faktor (skupljanje betona je manje).

4. Propisi i metode proračuna spregnutih nosača

4. Provisions and calculation methods for composite girders

Analiza spregnutog presjeka temelji se na sljedećim pretpostavkama:

- drveni dio presjeka ponaša se linearno elastično
- spoj - plastično ponašanje
- za betonski dio presjeka koristi se nominalni sekantni modul elastičnosti (prema EC2 i EC4) i ekvivalentni sekantni početni modul klizanja za spoj (K_{ser})

Pretpostavke: u betonu nema pukotina (sudjeluje cijeli betonski presjek) ni vlačnih naprezanja (beton se armira mrežom)

Proračun spregnutih konstrukcija drvo – beton nije reguliran u većini propisa za drvene konstrukcije što je dovelo do korištenja spreznjanja drvo – beton samo u nekim europskim državama kao što su Njemačka, Italija i Finska. Europski propisi za proračun spregnutih konstrukcija drvo – beton dani su u:

- Eurokod 5: Projektiranje drvenih konstrukcija – 2.dio: Mostovi – Nacionalni dodatak
Hrvatska norma: HRN EN 1995-2:2013/NA

- Eurokod 5: Projektiranje drvenih konstrukcija – Dio 1-1: Općenito – Opća pravila i pravila za zgrade (EN 1995-1-1:2004+AC:2006+A1:2008) Hrvatska norma: HRN EN 1995-1-1

4.1 Metoda proračuna – gamma (γ) metoda

4.1 Calculation method – gamma (γ) method

Kako bi se γ -metoda mogla primijeniti, moraju biti zadovoljene sljedeće pretpostavke u skladu s Eurokodom 5: Projektiranje drvenih konstrukcija – Dio 1-1: Općenito – Opća pravila i pravila za zgrade (EN 1995-1-1:2004+AC:2006+A1:2008), Hrvatska norma: HRN EN 1995-1-1.[3]:

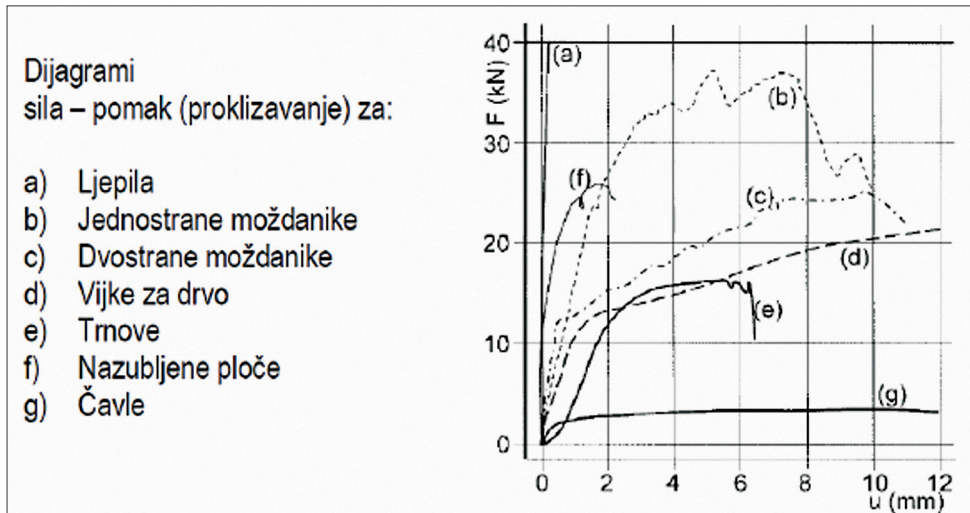
1. Grede su slobodno oslonjene, na rasponu l . Za kontinuirane ili konzolne grede, se dobiva prema sljedećem izrazu:
 - $l = 0,8 \cdot l$ za kontinuirane grede
 - $l = 2 \cdot l$ za konzolne grede
2. Pojedini drveni dijelovi mogu biti kontinuirani ili su lijepljeni i spojeni od nekoliko zasebnih dijelova
3. Pojedini dijelovi spregnutog presjeka povezani su mehaničkim (spojnim) sredstvima koji imaju određen modul proklizavanja K
4. Razmak „s“ između spojnih sredstava je konstantan ili varira ovisno o posmičnoj sili, između s_{min} i s_{max} sa $s_{max} \leq 4 \cdot s_{min}$
5. Opterećenje koje djeluje uzrokuje moment savijanja $M = M(x)$ čija je raspodjela sinusoidalna ili parabolična i poprečnu silu $V = V(x)$

Za podatljivo spregnute grede, uvodi se pojam koeficijenta spreznjanja drva i betona kako bi se uvažio utjecaj popustljivosti spoja elemenata presjeka na statičke veličine spregnutog presjeka. Određuje se temeljem ispitivanja spojeva posmičnom probom. Dobiveni dijagrami sila – pomak za sustave drvo – drvo i drvo – materijal na bazi drva mogu se vidjeti na slici.

Koeficijent spreznjanja dobiva se prema izrazu:

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_1 A_1 s}{KL^2}}$$

$$\gamma_2 = 1$$



Slika 7
Dijagrami sila – pomak (proklizavanje) za razne vrste spojnih sredstva[2, 3]

Figure 7
Force – slip diagrams for different fastener (connection) types[2, 3]

Efektivna krutost EI_{eff} za jednostavno oslonjenu spregnutu gredu dana je izrazom:

$$EI_{eff} = E_1 I_1 + E_2 I_2 + \gamma_1 E_1 A_1 a_1^2 + \gamma_2 E_2 A_2 a_2^2$$

Ekscentriciteti težišta betonskog (a_1) i drvenog (a_2) dijela presjeka se definiraju:

$$a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_2$$

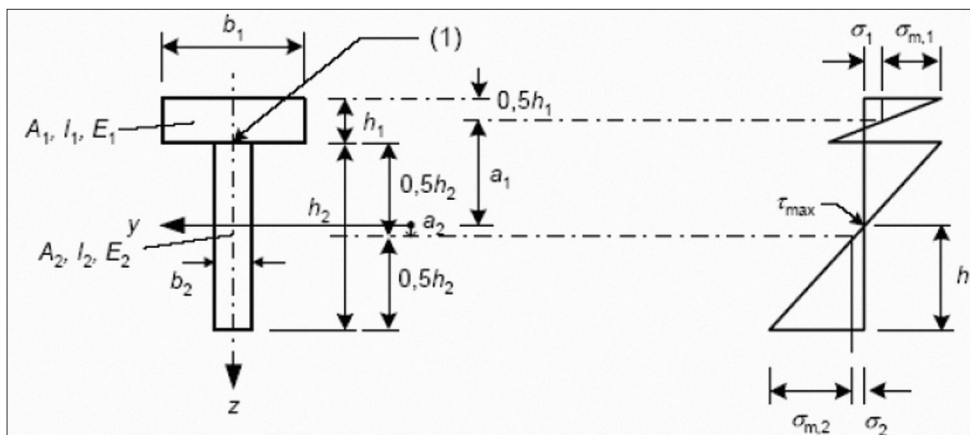
$$a_2 = \frac{\gamma_1 E_1 A_1 (h_1 + h_2)}{2 \sum_{i=1}^2 \gamma_i E_i A_i} = \frac{\gamma_1 E_1 A_1 (h_1 + h_2)}{2(\gamma_1 E_1 A_1 + E_2 A_2)}$$

gdje je:

- γ_1 - koeficijent spreznja betona
- γ_2 - koeficijent spreznja drva
- E_1 - modul elastičnosti betona
- E_2 - modul elastičnosti drva
- I_1 - moment inercije betona
- I_2 - moment inercije drva
- A_1 - površina betonskog poprečnog presjeka

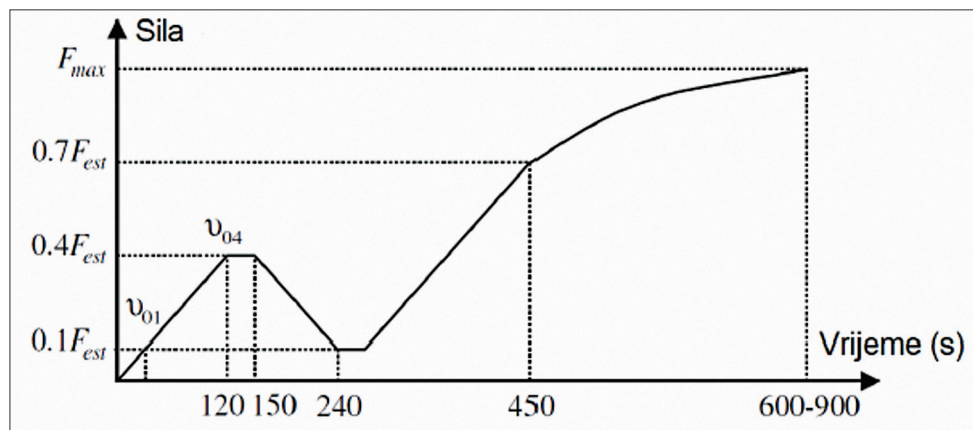
- A_2 - površina drvenog poprečnog presjeka
- s - razmak spajala
- K - modul klizanja
- L - raspon
- h_1 - visina betonskog poprečnog presjeka
- h_2 - visina drvenog poprečnog presjeka

U slučaju kada je potreban točan izračun modul klizanja spojnog sredstva, on se određuje eksperimentalno prema normi EN 26891 ili nelinearnom numeričkom analizom. Temeljem dosadašnjih istraživanja može se zaključiti da dijagram $F - \delta$ nije linearan, iz čega slijedi da modul klizanja nije konstantan. Modul klizanja K_{ser} , prema normi EN 1995-1-1:2004, za diskretno raspoređena štapasta spajala i moždanike promjera d u sustavima drvo – beton može se odrediti kao dvostruka vrijednost početnog modula klizanja za sustave drvo – drvo, drvo – materijal na osnovi drva i drvo – čelik. Pri tome se kao proračunska vrijednost gustoće ρ_k uzima gustoća drvenog dijela spregnutog presjeka.



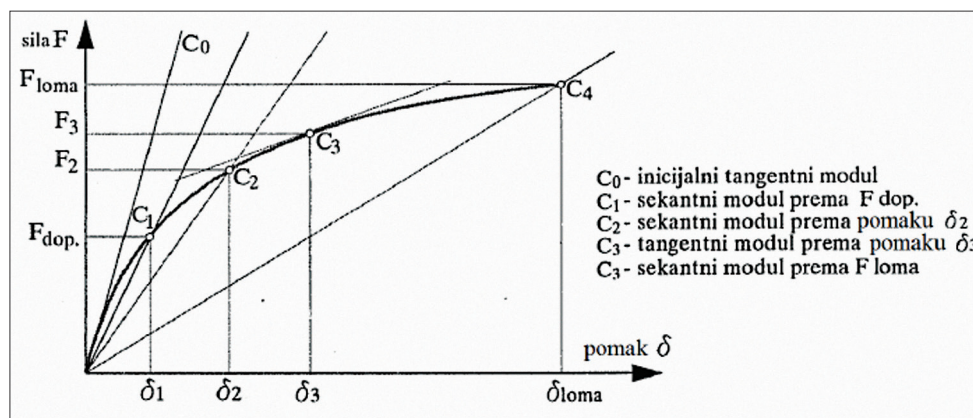
Slika 8
Uzdužna normalna naprezanja u težištima dijelova podatljivo spregnute T-grede

Figure 8
Longitudinal stress in centers of gravity of mechanically jointed T-beam



Slika 9
 Shema nanošenja opterećenja u vremenu prema normi EN 26891

Figure 9
 Scheme of load variation in time according to norm EN 26891



Slika 10
 Dijagram F – delta

Slika 10
 Dijagram F – delta

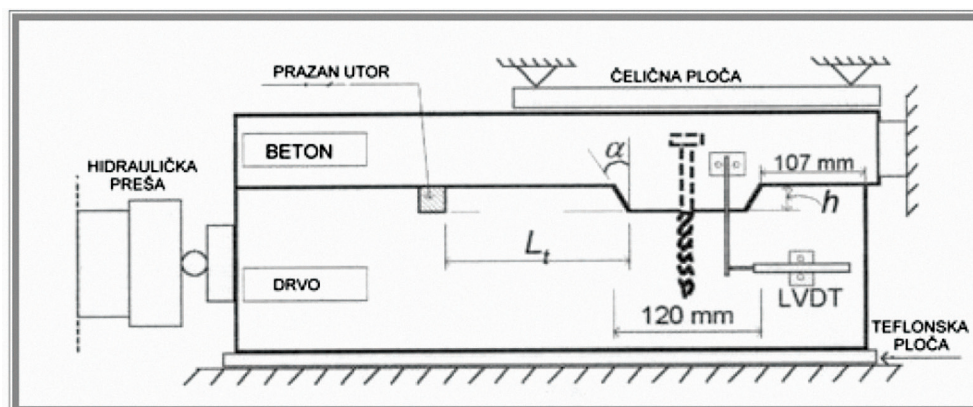
Istraživanjima je pokazano da se za određivanje modula proklizavanja spojnog sredstva može koristiti posmičnom probom, ali i push-out testom koji se rabi u spregnutim konstrukcijama čelik – beton[4]. Norma definira način provođenja eksperimentalnog ispitivanja. Prema njoj se maksimalna sila pri ispitivanju treba uzeti sila loma ili silu pri pomaku od 15 mm.

Pri tome se modul klizanja (za granično stanje uporabljivosti) definira kao početni modul klizanja, za nivo opterećenja od $0,4 F_{max}$:

$$K_{ser} = \frac{F_d}{u_{inst}} = \frac{0,4 F_{max}}{u_{0,4}}$$

a za krajnje granično stanje nosivosti treba uzeti modul klizanja:

$$K_u = \frac{2}{3} K_{ser}$$



Slika 11
 Posmična proba – određivanje početnog modula klizanja

Figure 11
 Shear test – determination of initial slip modulus

5. Tipovi spajala i načini spreznja

5. Types of connections and methods of bonding

Zbog jednostavnosti primjene najčešće se za spreznje drva i betona koriste diskretna ili kontinuirana mehanička spojna sredstva, a nije rijetkost da se upotrebljavaju kemijska spojna sredstva i to uglavnom na bazi epoksi smola. Izbor spajala koji će se upotrijebiti za spreznje od velike je važnosti jer bitno utječe na ponašanje veze između drva i betona, odnosno zajedničkog djelovanja ova dva materijala.

Vrste spreznja:

- Podatljivo ili polukruto spreznje, $\gamma = 0 - 1$
- Idealno ili kruto spreznje, $\gamma = 1$

Krutost / podatljivost spregnutog sustava jest jedan od kriterija klasifikacije spreznja pri ocjeni njegova učinka. Spregnuti presjek čiji su elementi povezani diskretno raspoređenim štapastim (popustljivim) spajalima (spreznje tipa A – čavli, vijci za drvo, trnovi, itd.) manje je krut od spregnutog presjeka u kojem su za spreznje korišteni moždanici (spreznje tipa B – moždanici kao tip površinskih spajala), a pogotovo se smatra podatljivim u usporedbi s presjekom u kojem je primijenjeno spreznje zasijecanjem / utorima u drvu (tip C – spajala se koriste kao osiguranje od čupanja).

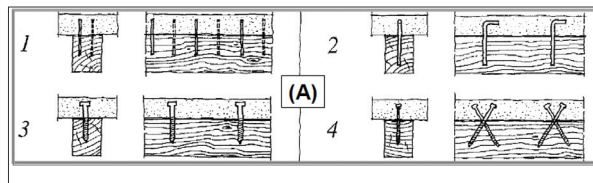
Postoji li na spoju između drvenog i betonskog elementa spregnutog nosača dovoljan broj spojnih sredstva, čija je nosivost veća od ukupne posmične sile koja se može pojaviti, govori se o punom spreznju. U suprotnom riječ je o djelomičnom spreznju.

5.1 Diskretni sustav spreznja tipa A (Spreznje čavlima i vijcima)

5.1 Discrete systems of bonding type A (bonding with nails and screws)

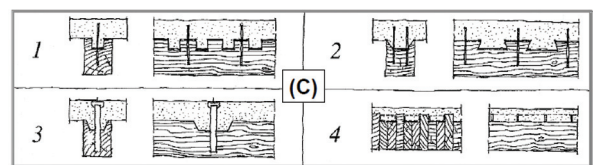
Zbog jednostavnosti primjene najčešće se za spreznje drveta i betona koriste podatljiva spajala (podatljivo ili polukruto spreznje): diskretno raspoređena čelična spajala. Štapasta i površinska spajala tipa moždanika kao što su: čavli, čelični

trnovi, vijci, betonski čepovi, kao i neke vrste patentiranih spajala (Tecnaria, INSA-HILTI i sl.). Diskretni sustav spreznja tipa B (Spreznje moždanicima)



Slika 12 Diskretni sustavi spreznja tipa (A): 1) čavli; 2) ulijepljene armaturne šipke; 3) vijci za drvo s heksagonskom glavom; 4) vijci za drvo u paru

Figure 12 Discrete systems of bonding type A: 1) nails 2) glued in rods 3) timber screws with hexagon head 4) timber screws in pair



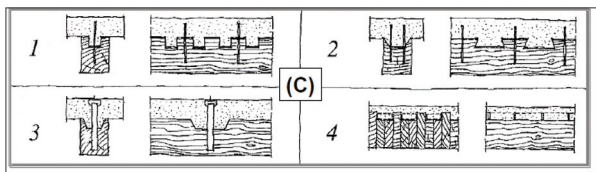
Slika 13 Diskretni sustavi spreznja tipa (B): 1) prstenasti moždanici; 2) utisnuti nazubljeni pločasti moždanici; 3) čelične cijevi; 4) čelične utisnute ježaste (perforirane) spojne ploče

Figure 13 Discrete systems type B 1) split ring 2) punched ring plates 3) steel tubes 4) punched metal plates

5.2 Kontinuirani – kombinirani sustav spreznja tipa C

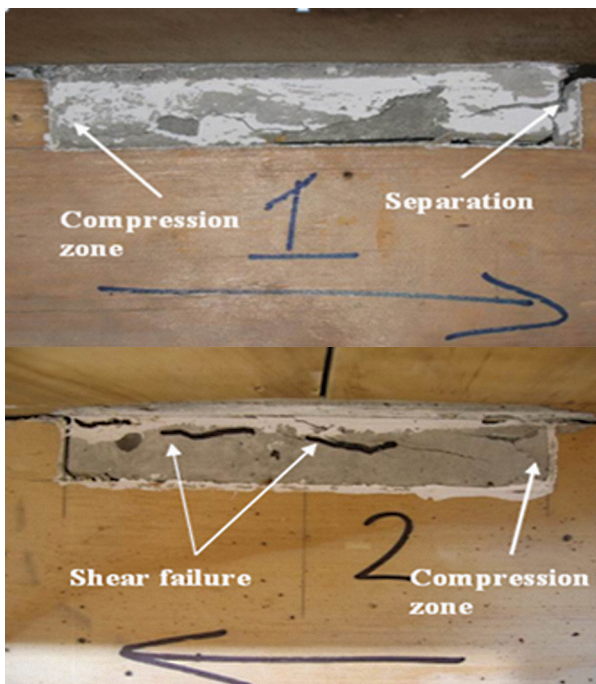
5.2 Continuous - combined bonding type (C)

Načinima spreznja tipovima (A), (B) i (C) svojstvena je popustljivosti (najizraženija za tip A, najmanja za tip C) koja se odražava na naprezanja i deformiranje kompozita. Spregnuta konstrukcija se u takvim slučajevima ponaša kao polukruta jer spregnuti presjeci u njoj ne zadržavaju ravnost – zbog popustljivosti spajala, naprezani dijelovi presjeka od različitog materijala „kližu“ jedan u odnosu na drugi (podatljivost). Proračun popustljivo spregnutih presjeka tipova (A), (B) i (C) treba provesti postupkom sličnim onom koji se koristi za proračun drvenih sastavljenih greda (mehanički spojene) naprezanih savijanjem.



Slika 14 Kontinuirani - kombinirani sustavi sprezanja tipa (C): 1) okrugli utori u drvenoj gredi i štapasta spajala (ojačanje); 2) četvrtasti utori u drvenoj gredi i štapasta spajala; 3) konični utori u drvenoj gredi i prednapete čelične šipke; 4) čavlane dašćane ploče i posmične čelične ploče urezane u više daske

Figure 14 Continuous types of bonding (C) 1) circular notch in timber beam and metal dowel (for reinforcement) 2) rectangular notches in timber beam and metal fasteners 3) conical notches in timber beam and prestressed steel rods 4) nailed timber boards and shear steel plates notched in boards



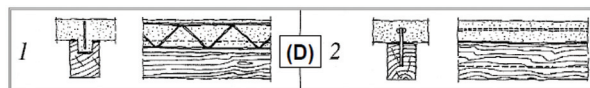
Slika 15 Primjer izvedbe kontinuiranog – kombiniranog sustava sprezanja i moguće otkazivanje

Figure 15 Example of continuous – combined bonding type and possible failure mode

5.3 Kontinuirani sustav sprezanja tipa D

5.3 Continuous bonding type D

Spregnuti presjek u kojem se primjenjuje sprezanje tipa D (ulijepljeni kontinuirani limovi) smatra se krutim jer pod opterećenjem lim manje „popušta“ i gotovo da zadržava svoju ravnost („klizanje“ je gotovo zanemarivo). Sprezanje mehaničkim spojnim sredstvima (A-D) može se nazvati i „klasičnim



Slika 16 Kontinuirani sustav sprezanja tipa D:

1) čelični ulijepljeni rešetkasti limovi;

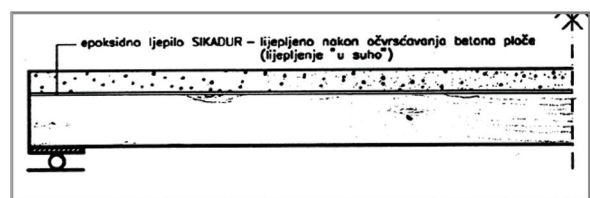
2) čelične ulijepljene ploče/profili

Figure 16 Continuous bonding type D: 1) glued steel sheets (grid profile) 2) glued steel plates/profiles

sprezanjem“ (podatljivo i kruto).

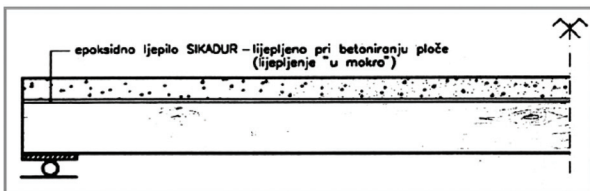
Sprezanje kontinuiranim lijepljenjem tip E:

Najbolji učinak sprezanja postiže ljepilo, jer je najbliže idealno krutom sprezanju, no treba imati na umu da ne postoji idealno ljepilo odnosno da je često posmična čvrstoća ljepila vrlo mala što je nepovoljno.



Slika 17 “U suho” – lijepljenje nakon očvršćivanja betona ploče

Slika 17 Precast (dry) – gluing after hardening of concrete



Slika 18 “U mokro” – lijepljenje pri betoniranju ploče

Figure 18 “In situ” – gluing and concrete casting

6. Zaključak

6. Conclusion

U ovome radu su prikazane osnovne karakteristike te prednosti spregnutih nosača drvo-beton, dane su osnovne pretpostavke i način proračuna prema Eurokod normama. Na kraju rada prikazani su osnovni tipovi spajala te načini sprezanja. Može se zaključiti da spregnuta konstrukcija drvo-beton pruža brojne prednosti u usporedbi s tradicionalnom drvenom konstrukcijom, kao što su povećana nosivost i krutost (smanjeni progibi), manja osjetljivost

na vibracije, poboljšana seizmička otpornost, otpornost na požar, povećana zvučna i toplinska izolacija, mogućnost očuvanja originalnog podgleda (upotreba postojećih drvenih greda).

Mane ovakvih sustava proizlaze iz različitih reoloških svojstava oba materijala (skupljanje i puzanje) te zbog proklizavanja spojnih sredstava što višestruko otežava proračun.

7. Reference

7. References

- [1] Androić, B., Dujmović, D. & Džeba, I., 2009.. Čelične konstrukcije 1. Zagreb: IA Projektiranje.
- [2] Bjelanović, A. & Rajčić, V., 2007.. Drvene konstrukcije prema Europskim normama. Zagreb: Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Hrvatska sveučilišna naknada.
- [3] EN1995-1-1, 2003.. Eurocode - Design of timber structures: Common rules and rules for buildings. Brussels: European committee for standardization.
- [4] Rajčić, V., 2001. Eksperimentalna ispitivanja spregnutih nosača drvo - lagani beton. Građevinar, Vol. 53, pp. 1-8.
- [5] Yeoh, D., 2010.. Behaviour and design of timber - concrete composite floor system. Canterbury: University of Catenbury, Department of Civil and Natural Resources.
- [6] Stepinac, M., Rajčić, V., Barbalić, J., 2015. Utjecaj dugotrajnog opterećenja na spregnute sustave drvo beton. Građevinar, Vol. 67, pp. 235-246.

AUTORI · AUTHORS

Dean Čizmar - nepromjenjena biografija nalazi se u časopisu Polytechnic & Design Vol. 3, No. 2, 2015.

Korespondencija:

dcizmar@tvz.hr