

**UPOREDNA ANALIZA MEĐUSPRATNIH SPREGNUTIH KONSTRUKCIJA: TIPOVI
MOŽDANIKI I ROBUSNOST****COMPARATIVE ANALYSIS OF THE COMPOSITE FLOOR STRUCTURES: TYPES OF
SHEAR STUDS AND ROBUSTNESS**Slobodan Miletić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GRAĐEVINARSTVO**

Kratak sadržaj – Rad se sastoji iz proračuna dva različita tipa međuspratnih konstrukcija, čiji je rezultat upoređivanje potrebnih količina materijala za njihovo izvođenje i odabir povoljnije varijante, i obezbeđivanje robusnosti konstrukcije kao osiguranje od progresivnog kolapsa.

Ključne reči: *Spregnute konstrukcije, moždanici, robusnost konstrukcija, progresivni kolaps.*

Abstract – *The thesis consists calculation of two different types of composite floor structures, the result is comparison of the required quantities of materials for their execution and the selection of a more favorable variant, and ensuring the robustness of the construction as an insurance against progressive collapse.*

Keywords: *Composite structures, shear studs, structural robustness, progressive collapse*

**1. ROBUSNOST OBJEKATA OD ČELIČNIH
OKVIRA**

Robusnost je sposobnost konstrukcije da izdrži događaje kao što su požar, eksplozije, udari ili posledice ljudske greške, a da ne bude oštećena u meri koja je nesrazmerna prvobitnom uzroku. U čeličnim okvirnim konstrukcijama, robusnost je u velikoj meri obezbeđena projektovanjem odgovarajućih veza. Klasifikacija objekta se vrši prema: tipu objekta, popunjenosti i veličini objekta. Prema BS EN 1990 i BS EN 1991-1-7, uzimajući u obzir i aneks A, objekti se dele u četiri klase: 1, 2a, 2b i 3[1].

1.1. Objekti klase 1

Objekte koji spadaju u klasu 1, projektovane i izgrađene u skladu sa EN 1990- EN 1999, pri normalnoj upotrebi, nije potrebno osiguravati od progresivnog kolapsa. Ipak, preporuka je objekte izvedene od čelika u ramovskom sistemu osigurati minimalnim horizontalnim vezivanjem. Ovo se postiže projektovanjem veza stub-greda na normalnu zatežuću silu od 75 kN, koju ne treba kombinovati sa ostalim uticajima [1].

1.2. OBJEKTI KLASJE 2A

Robusnost objekata, za klasu 2a, obezbeđuje se horizontalnim povezivanjem. Horizontalno povezivanje omogućava razvoj lančane reakcije i zadržava stubove u projektovanom položaju. Princip obezbeđivanja horizontalnog vezivanja dopušta gredama da prenesu opterećenja formiranjem mreže oko oštećenih delova konstrukcije.

Horizontalno vezivanje, projektovano prema Evrokodu, nema zahteva vezanih za duktilnost spojeva ili kapacitet rotacije spoja. Svaki vezni element, uključujući krajnje veze mora biti sposoban da izdrži projektovanu zatežuću silu T . Unutrašnji vezni elementi se projektuju na zatežuću silu T_i , dok se obodni vezni elementi projektuju na zatežuću silu T_p :

$$T_i = 0,8 * (g_k + \psi q_k) * s * L \geq 75kN \dots (1)$$

$$T_p = 0,4 * (g_k + \psi q_k) * s * L \geq 75kN \dots (2)$$

Zatežuće sile se računaju samo za elemente koji prenose opterećenje od poda međuspratne konstrukcije, ostali vezni elementi se projektuju na minimalnu zatežuću silu od 75 kN. Da bi stubovi bili zadržani u projektovanom položaju treba ih povezati gredama u oba pravca. Horizontalno povezivanje mora biti obezbeđeno u svim unutrašnjim gredama, obodnim spratnim gredama i obodnim krovim gredama [1].

1.3. Objekti klase 2b

Za obezbeđivanje robusnosti objekata iz klase 2b, mogu se koristiti tri metode, ili njihova kombinacija. Metode su:

- povezivanje (horizontalno i vertikalno),
- zamišljeno uklanjanje elementa,
- ključni element.

Za objekte klase 2b, pri horizontalnom vezivanju, primenjuju se ista pravila kao i za objekte klase 2a. Vertikalno vezivanje omogućava redistribuciju sila kroz kompletnu strukturu objekta, tako da sile mogu da se prenose i kroz elemente koji su udaljeni od lokalnog oštećenja. Vertikalno povezivanje se obezbeđuje dovoljnom otpornošću na zatežuće sile u montažnim nastavcima stubova. Reakcije iz greda za proračunavanje potrebnih sila za vertikalno vezivanje se uzimaju iz normalnih kombinacija dejstava, ne koriste se incidentna dejstva.

Prednosti metode zamišljenog uklanjanja su u tome što umesto praćenja propisanih pravila, razmatraju se konkretniji scenariji štete, pri čemu se od projektanta zahteva procena površine oštećenja. Prednost ove metode je u tome što, ako konstrukcija ima razumno male raspone

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Đorđe Jovanović, dipl.grad.inž.

greda i ako je dobro povezana, onda zamišljeno uklanjanje nudi projektantu priliku da zadovolji pravila robusnosti konstrukcije uz prihvatanje lokalnih oštećenja. Zamišljeno uklanjanje se sprovodi tako što se uklanja jedan po jedan noseći element. Za svaki pojedinačno uklonjeni element konstrukcija globalno mora ostati stabilna.

Noseći element, čije uklanjanje narušava globalnu stabilnost konstrukcije mora biti projektovan kao ključni element.

Razlika metode ključnog elementa sa prethodnim metodama, je u tome što su prethodne metode fokusirane na limitiranje širenja oštećenja ili kolapsa usled oštećenja nosećeg elementa, dok ova metoda sprečava oštećenje nosećeg elementa usled incidentnog dejstva, do mere da i dalje može da vrši noseću funkciju. Zahtevi za projektovanje ključnog elementa su dati u BS EN 1991-1-7, A.8, a to su:

- ključni element mora biti sposoban da izdrži incidentno dejstvo u horizontalnom i vertikalnom pravcu (ne oba pravca u isto vreme),
- preporučena vrednost A_d za zgrade je 34 kN/m^2 ,
- incidentno opterećenje treba da bude aplicirano na ključni element i svaku priključnu komponentu uzimajući u obzir čvrstoću spojnih komponenti i njihovu vezu,
- incidentno projektno opterećenje treba da bude primenjeno u skladu sa izrazom (6.11b) iz EN 1990.

Za neke ključne elemente prikladno je razmatrati još neka incidentna dejstva koja bi se mogla dogoditi, kao što je na primer udar vozila u spoljašnji stub [1].

1.4. OBJEKTI KLASA 3

Razlika u strategijama robusnosti između objekata klase 2b i klase 3 je što se za klasu 3 radi sistematska procena rizika. Svrha procene rizika je da se utvrdi postoje li scenariji opasnosti koji imaju neprihvatljiv nivo rizika, i ako postoje, da se predlože postupci za ublažavanje istih. U BS EN 1991-1-7, B.4, navodi se da analiza rizika, za objekte klase 3, treba da se sastoji iz opisnog i numeričkog dela. Definicija procene rizika treba da obuhvati svrhu procene rizika, vremenski period koji treba uzeti u obzir i vrste opasnosti. U većini slučajeva, razumno je, iz procene rizika isključiti namerne ili zlonamerne opasne radnje.

Verovatnoća svakog hazarda treba da se proceni i da se dodeli unapred određenoj kategoriji verovatnoće. Za procenu posledica koristi se inženjersko prosuđivanje, iskustvo i približni proračuni, a na osnovu posledica, određuje se ozbiljnost hazarda. Procena rizika može se meriti u različitim jedinicama, često se koristi procena količine oštećenja konstrukcije ili procena broja žrtava. Završna faza sistematske procene rizika je prihvatanje preostalog rizika i izveštavanje o nalazima.

Izveštaj treba da obuhvati sve opasnosti i njihov pridruženi nivo rizika, sa objašnjenjima na osnovu kojih se rizici smatraju prihvatljivim. Takođe se mogu predložiti dodatne mere radi daljeg smanjenja rizika. Rezultati procene rizika će se vratiti u proces donošenja odluka za projektovanje i rad objekta.

Svi izvori podataka, pretpostavke i neizvesnosti u proceni treba da budu uključeni u izveštaj [1].

1.5. TRANSFERNE GREDE

Transferna greda je greda koja podupire jedan ili više stubova, jasno je da je transferna greda najkritičniji element u konstrukciji. Prilikom projektovanja konstrukcija za odupiranje incidentnim dejstvima, potrebno je prenosne grede, njihove spojeve i elemente koji ih podupiru, pažljivo razmotriti. Preporuka je da se za objekte iz klase 1, transfernim gredama obezbedi minimalno horizontalno vezivanje, tj. da greda i njene veze mogu da izdrže normalnu zatežuću silu od 75 kN . Za objekte iz klase 2a, transferne grede se za zadovoljenje robusnosti konstrukcije, projektuju na zatežuću silu koja se izračunava posebno za unutrašnje i obodne grede, sa tim što se u izraz dodaje i polovina reakcije stubova koje greda podupire. Reakcija stuba koja ulazi u proračun je iz incidentne kombinacije dejstva.

Kao što je napomenuto, u klasi 2b imamo tri metode za obezbeđivanje robusnosti konstrukcije: Horizontalno i vertikalno vezivanje, zamišljeno uklanjanje i ključni element. Transferna greda može biti uključena u sve tri metode, mada se najčešće koristi vezivanje ili ključni element. Zamišljeno uklanjanje često nije održivo rešenje za okvirne čelične konstrukcije. Ako se primenjuje metoda vezivanja, jednačine se moraju modifikovati kao i kod transfernih greda u klasi 2a i mora se obezbediti vertikalno vezivanje transferne grede sa stubovima koji se na nju oslanjaju.

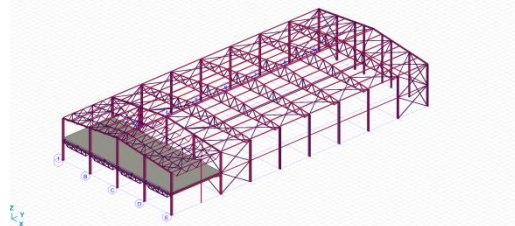
Umesto primene strategije vezivanja, transferna greda može biti dizajnirana i kao ključni element. U slučaju kada je transferna greda dizajnirana kao ključni element, kao ključni elementi moraju biti dizajnirani i stubovi na koje se transferna greda oslanja. Kao minimalan zahtev, transferna greda u objektima klase 3, treba da se projektuje u skladu sa smernicama iz klase 2b.

U nekim objektima iz klase 3, gubitak prenosne grede bi imao katastrofalne posledice, tako da bi strožije odredbe o robusnosti bile opravdane.

Proces procene rizika za objekte klase 3 će identifikovati da li su potrebne bilo kakve dodatne mere u vezi sa transfernom gredom [1].

2. OBJEKAT ZA KOJI SE PROVERAVAJU MEĐUSPRATNE KONSTRUKCIJE I ROBUSNOST

Objekat, čiji su delovi razmatrani u radu, je čelična hala dimenzija $24\text{m} \times 52\text{m}$, visina u slemenu $9,5\text{m}$. Lokacija objekta je Novi Sad. U prvom delu objekta (prednjih 10m) se nalazi magacin, iznad magacina je kancelarijski prostor. U drugom delu objekta (42m) je proizvodni pogon.



Slika 1. 3D model objekta.

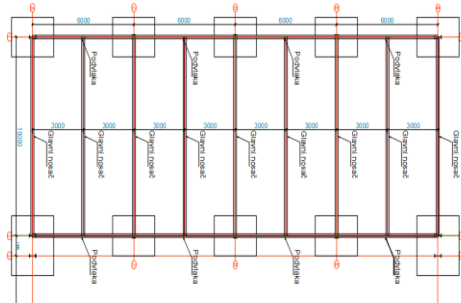
Za međuspratnu ploču iznad magacinskog prostora analizirana su dva tipa međuspratnih konstrukcija:

- spregnuta međuspratna konstrukcija sa moždanicima,

- međuspratna konstrukcija tipa “Slim Floor”.

Pored redovnih opterećenja, na ploči, zahtevano je dodatno stalno opterećenje od 1,41 kN/m² i korisno opterećenje od 3,8kN/m².

3. SPREGNUTA PLOČA SIDRENA NA KRAJEVIMA POMOĆU MOŽDANIKA

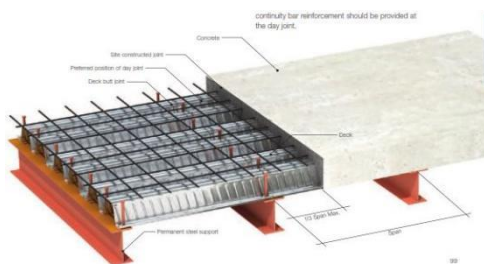


Slika 2. Dispozicija ploče sa moždanicima.

Betonska ploča je debljine $d=130\text{mm}$, sa trapezastim limom „ComFloor 51“, visine 51mm, debljine 0,86mm. Ploča je raspona 3m, u fazi izvođenja vrši se podupiranje u polovini raspona. Profilisani lim je kontinualan preko više raspona. Spregnuta ploča je kontinualna, prema EN1994-1-1 može biti razmatrana na dva različita statička sistema, kao jednostavno oslonjena ploča i kao alternativno kontinualna ploča. Ploča se proračunava za 2 faze: faza u toku izvođenja ploče i za spregnuto stanje. Profilisani lim preuzima sile zatezanja i služi kao izgubljeni oplata prilikom betoniranja ploče.

Da bi se ostvarilo sprezanje čelika i betona, podužne smičuće sile koje se javljaju na spoju dva materijala moraju biti prihvaćene, tj. mora postojati smičući spoj. Sprezanje može biti potpuno i delimično. Podužna smičuća otpornost može se povećati sidrenjem na krajevima (pomoću moždanika) i uzimanjem u obzir armature izvedene u rebrima profilisanog lima (EN1994 - 1-1 9.7.3(10)). Računska otpornost moždanika $P_{pb,Rd}$, zavarenog kroz profilisani lim, jednaka je manjoj vrednosti od računске otpornosti moždanika ili računске otpornosti lima. Pri proračunu graničnog stanja upotrebljivosti računaju se ugibi u fazi izvođenja i u spregnutoj fazi. Za ugib u spregnutoj fazi moraju se u obzir uzeti i koncentrisane sile na mestima u kojima je ploča bila podupreta prilikom izvođenja.

4. SPREGNUTA GREDA SA MOŽDANICIMA



Slika 3. Spregnuta međuspratna konstrukcija tip 1 [3].

Spregnuti nosač je raspona 10m, na međusobnom rastojanju 3m. Analizirano je stanje u toku izvođenja konstrukcije i spregnuto stanje. Za gredu je usvojen

čelični profil IPE400 u kvalitetu S275, za sprezanje su usvojeni moždanici tipa „Nelson“, prečnika 19mm i visine 100mm. Raspored moždanika usvojen je prema potrebama za sidrenje ploče (jedan moždanik u svakom rebro profilisanog lima). Nosač u fazi montaže nije otporan na bočno torziona izvijanje, tako da se mora vršiti podupiranje nosača. Kako će se vršiti podupiranje čeličnog nosača sva opterećenja će primiti spregnuti presek. Za merodavnu nosivost moždanika se uzima manja vrednost od sledeće dve:

$$P_{Rd}^{(1)} = \frac{0,8 * f_u * (\pi * d^2 / 4)}{\gamma_V} \quad (3)$$

$$P_{Rd}^{(2)} = \frac{0,29 * \alpha * d^2 * \sqrt{f_{ck} * E_{cm}}}{\gamma_V} \quad (4)$$

Prva jednačina predstavlja graničnu nosivost prilikom otkazivanja tela moždanika, dok je druga jednačina granična nosivost pri otkazivanju betona. Za usvojeni broj moždanika osigurana je potpuna smičuća veza, tako da se otpornost na savijanje ne mora redukovati. Nosač je statičkog sistema proste grede, za predviđeno opterećenje pritisnuta je gornja nožica koja je pridržana, tako da nije potrebno dokazivati otpornost na bočno torziona izvijanje u spregnutoj fazi. Zbog podupiranja nosača u fazi izrade spregnute međuspratne konstrukcije, nosač u ovoj fazi neće imati ugib. Ukupan ugib zadovoljava uslov, tj. manji je od $L/250$. Za statički sistem proste grede ne zahteva se kontrola širine prslina.

4.1. VARIJANTA SA “HILTI” MOŽDANICIMA

Hilti moždanici se sa nosačem spajaju ekserima, koji se u čelični nosač upucavaju specijalnim pištoljem sa kapislama. Tip “HILTI” moždanika se usvaja na osnovu visine profilisanog lima i debljine betonske ploče. Pošto se moždanici apliciraju preko profilisanog lima, nosivost moždanika se mora redukovati. Faktor redukcije zavisi od geometrije i orijentacije profilisanog lima. Od debljine materijala u koji se moždanik upucava, zavisi tip kapisle koja se mora koristiti. Kako je nosivost HILTI moždanika skoro tri puta manja od nosivosti moždanika sa glavom, u jedno rebro profilisanog lima moraju se postaviti tri “HILTI” moždanika.

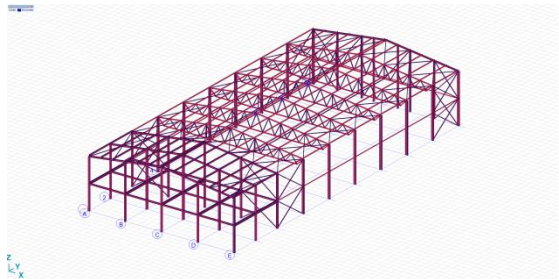


Slika 4. Dispozicija HILTI moždanika [4].

5. ČELIČNA GREDA ZA SLIMFLOOR KONSTRUKCIJU

U prvoj varijanti “Slim Floor” konstrukcije, za čelični gredni nosač pretpostavljen je profil 300ASB196, u kvalitetu S355. Nosač je raspona 10m, na međusobnom rastojanju od 6m. Nakon proračuna, ustanovljeno je da nosač ne zadovoljava granična stanja upotrebljivosti, za zadata opterećenja. Nakon toga, predložena je druga varijanta sa stubovima u sredini raspona (međuspratne

grede raspona 5m) uz osiguranje konstrukcije od progresivnog kolapsa.



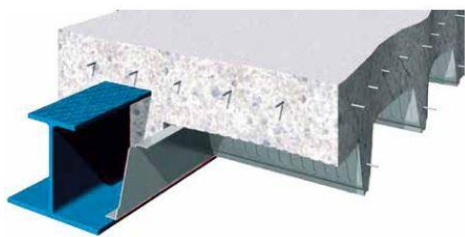
Slika 5. 3D Model objekta za "Slim Floor".

Usvojen je profil 280ASB74 u kvalitetu S275, na međusobnom rastojanju od 6m. Prilikom izvođenja međuspratne konstrukcije pojaviće se situacija u kojoj je ploča sa jedne strane ASB profila izvedena, a sa druge nije, za tu situaciju se mora proveriti poprečno savijanje donje flanše. Pored poprečnog savijanja donje flanše, u fazi izvođenja, konstrukcija se proverava još i na izvijanje izazvano torzijom, savijanje nosača za uravnoteženo opterećenje (ploča izbetonirana sa obe strane ASB profila). Za spregnutu fazu, proverava se moment otpora spregnutog preseka i uzdužna otpornost nosača na smicanje. Ugibi se proveravaju posebno za dve različite faze. Kako je u ovom slučaju ostvarena samo delimična smičuća veza ($F_{sb} < R_c$), otpornost na savijanje se mora redukovati[5].

6. SPREGNUTA PLOČA ZA "SLIM FLOOR" KONSTRUKCIJU

Za spregnutu ploču "Slim floor" konstrukcije usvojen je duboko profilisani lim „ComFlor 210“. U svako rebro duboko profilisanog lima postavlja se armaturna šipka prečnika 10mm, koja se koristi i za sidrenje ploče na krajevima kako bi se poboljšala podužna smičuća otpornost.

Prema članu 9.8.2(4), EN 1994-1-1 ugibe nije potrebno proveravati, zato što su uslovi ograničenja vitkosti ploče zadovoljeni ($L/d < 30$ za unutrašnja polja kontinualne ploče i $L/d < 26$ za spoljašnja polja kontinualne ploče). U obe ploče iznad trapezastog čeličnog lima se postavljaju armaturne mreže Q335, zbog uslova iz EN1994-1-1 za pukotine u betonu. Prema EN1994-1-1 minimalna površina poprečnog preseka armature iznad rebra profilisanog čeličnog lima ne sme biti manja od 0,4% površine betona iznad rebra, za izvođenje sa podupiranjem.



Asymmetric Slimfloor® beam (ASB), which is a hot rolled section with a narrower top flange than bottom flange.

Slika 7. "Slim floor" konstrukcija [6].

7. ZAKLJUČAK

Sa aspekta utrošenog materijala, povoljnija je "Slim floor" konstrukcija.

Tabela 1. Količine materijala za razmatrane međuspratne konstrukcije:

POZICIJA	Spregnuta međuspratna konstrukcija sa moždanicima	"Slim floor" međuspratna konstrukcija sa gredama raspona 5m
ČELIČNA KONSTRUKCIJA	23 387.29 kg	18 114.04 kg
BETON U MEĐUSPRATNOJ KONSTRUKCIJI	28.8 m ³	28.8m ³
ČELIČNI TRAPEZASTI LIM	3120 kg	3840 kg
ARMATurna MREŽA U PLOČI	858 kg	858 kg
ARMATURNE ŠIPKE U REBRIMA	708.67 kg	284.09 kg
MOŽDANICI	576 "Nelson" ili 1728 "Hilti"	/

Ako poredimo ove dve varijante po brzini izvođenja, ponovo je povoljnija varijanta sa "Slim Floor" međuspratnom konstrukcijom. Za nju je potrebno montirati manju količinu čelika i nema upucavanja moždanika.

8. LITERATURA

- [1] A G J Way, Structural robustness of steel framed buildings, SCI Publication P391
- [2] Boris Androić, Darko Dujmović, Ivan Lukačević: Projektiranje spregnutih konstrukcija prema Eurocode 4, „I.A. PROJEKTIRANJE“ Zagreb
- [3] Corus International, ComFlor decking system, www.comflor.com
- [4] HILTI, Hilti X-HVB system Solutions for shear connections, www.hilti.com
- [5] Dennis Lam, Xianghe Dai, Ulrike Kuhlmann, Jochen Raichle, Matthias Braun: Slim-floor construction – design for ultimate limit state
- [6] Mark Lawson, Philippe Beguin, Renata Obiala, Matthias Braun: Slim-floor construction using hollow-core and composite decking systems
- [7] R M Lawson, D L Mullett, J W Rackham: Design of Asymmetric Slimflor Beams using Deep Composite Decking, SCI PUBLICATION P175
- [8] EVROKOD 4, PRORAČUN SPREGNUTIH KONSTRUKCIJA OD ČELIKA I BETONA

Kratka biografija:

Slobodan Miletić rođen je u Novom Sadu 1990. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstvo – Spregnute konstrukcije odbranio je 2022.god. kontakt: slomil@hotmail.com