

ДГКС

Друштво грађевинских
конструктора Србије



ASES

Association of Structural
Engineers of Serbia

SIMPOZIJUM 2016.

ZLATIBOR 15-17. SEPTEMBAR

ZBORNIK RADOVA 2016

U SARADNJI SA



POKROVITELJ



Република Србија
Министарство грађевинарства,
саобраћаја и инфраструктуре
Министарство просвете,
науке и технолошког развоја

SPONZORI



CIP - Каталогизација у публикацији
Библиотека Матице српске, Нови Сад

624(082)

69(082)

ДРУШТВО грађевинских конструктора Србије. Симпозијум (2016 ; Златибор)

Zbornik radova [Elektronski izvori] / Društvo građevinskih konstruktora Srbije, Simpozijum, 15-17. septembar, Zlatibor ; [urednici Đorđe Lađinović, Zlatko Marković, Boško Stevanović]. - Beograd : Društvo građevinskih konstruktora Srbije, 2016. - 1 elektronski optički disk (CD-ROM) ; 12 cm

Radovi na srp. i engl. jeziku. - Bibliografija uz svaki rad. - Rezime na engl. jeziku uz pojedine radove.

ISBN 978-86-7892-839-0

a) Грађевинарство - Зборници

COBISS.SR-ID 308004359

Izdavač: Društvo građevinskih konstruktora Srbije
Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73/I

Urednici: prof. dr Đorđe Lađinović
prof. dr Zlatko Marković
prof. dr Boško Stevanović

Tehnički urednik: doc. dr Jelena Dobrić

Tehnička priprema: asist. Nina Gluhović
asist. Marija Todorović

Gafički dizajn: asist. Tijana Stevanović

Dizajn korica: asist. Jelena Dragaš

Štampa: Grafički centar – GRID
Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu

Tiraž: 250 primeraka

Beograd, septembar 2016.

Nina Gluhović¹, Milan Spremić², Zlatko Marković³, Dragan Buđevac⁴, Nenad Fric⁵

PRORAČUN SPREGNUTIH MEĐUSPRATNIH NOSAČA NA DEJSTVO VIBRACIJA IZAZVANIH AKTIVNOSTIMA LJUDI

Rezime:

S-32

Najnoviji trendovi u građevinarstvu u pogledu projektovanja vitkih konstrukcija sa velikim rasponima, velikim otvorenim unutrašnjim prostorima, nekonvencionalnim oblicima i konstrukcijskim rešenjima, često dovode do izraženih problema u pogledu graničnih stanja upotrebljivosti. Izražene vibracije međuspratnih konstrukcija izazvane ljudskim aktivnostima mogu značajno da utiču na funkcionalnost objekta, komfor ljudi i kvalitet života unutar objekta. U ovom radu dat je kratak prikaz proračuna spregnutih nosača na dejstvo vibracija, kao i preporuke za proračun vibracija izazvanih ljudskim aktivnostima.

Ključne reči: vibracije tavanica, sopstvene frekvencije, kriterijumi prihvatljivosti

DESIGN OF COMPOSITE STEEL-CONCRETE BEAMS DUE TO VIBRATIONS INDUCED BY HUMAN ACTIVITIES

Summary:

The latest demands in construction design towards slender structures with large spans, large open interiors, unconventional shapes and constructional solutions leading to the extensive problems related to the serviceability limit state. Annoying vibrations induced by human activities can significantly affect the structure's functionality, comfort of people and quality of life. This paper presents a short overview of design procedures for composite steel-concrete beams considering vibrations and design recommendations of floor vibrations induced by human activities.

Key words: floor vibrations, natural frequencies, acceptance criteria

¹ Asistent - student doktorskih studija, mast.inž.građ, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet

² Dr, docent, dipl.inž.građ, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet

³ Dr, redovni profesor, dipl.inž.građ, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet

⁴ Dr, redovni profesor, dipl.inž.građ, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet

⁵ Dr, docent, dipl.inž.građ, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet

1 UVOD

Trenutni zahtevi pri projektovanju konstrukcija u zgradarstvu najčešće uslovljavaju primenu konstrukcija velikih raspona, sa velikim otvorenim unutrašnjim prostorima, sa spregnutim međuspratnim konstrukcijama od čelika i betona visokih kvaliteta. Takođe, često se zahteva mogućnost naknadne prenamene prostora u druge svrhe, odnosno fleksibilnost prostora koji se može postići većim rasponima. Ovakvi trendovi dovode do toga da konstrukcija ima niže vrednosti sopstvenih frekvencija oscilovanja i manji koeficijent prigušenja, što značajno utiče na dinamički odgovor konstrukcije kada je ona izložena dinamičkom opterećenju, kao što je na primer kretanje ljudi unutar objekta.

Konstrukcija, osim kriterijuma sigurnosti, koji se dokazuje kroz granična stanja nosivosti, mora da zadovolji i kriterijume funkcionalnosti. Kriterijumi funkcionalnosti zavise od namene objekta, a dokazuju se kroz kontrolu graničnih stanja upotrebljivosti koja obuhvataju kontrolu deformacija (ugibi, horizontalna pomeranja i obrtanja preseka), kontrolu vibracija, kao i naponske kontrole u slučaju pojedinih, dinamički opterećenih konstrukcija.

2 IZVORI VIBRACIJA MEĐUSPRATNIH KONSTRUKCIJA

Pojam vibracija podrazumeva pojavu oscilatornog kretanja pojedinih delova konstrukcije određenom amplitudom i frekvencijom oscilovanja. U zgradarstvu se problem vibracija uglavnom odnosi na vertikalne vibracije međuspratnih konstrukcija, ali u pojedinim slučajevima, posebno kod visokih i vitkih konstrukcija, mogu se pojaviti i horizontalne vibracije usled dejstva vetra.

Kretanje ljudi unutar objekta predstavlja najčešći i najvažniji unutrašnji izvor vertikalnih vibracija međuspratnih konstrukcija. Unutrašnji izvor vibracija međuspratnih konstrukcija može biti i dinamičko opterećenje izazvano radom mašina i opreme unutar objekta. Vertikalne vibracije međuspratnih konstrukcija mogu biti izazvane i spoljašnjim dinamičkim opterećenjem kao što je drumski i železnički saobraćaj, kao i dejstvom zemljotresa ili udara vozila.

Vibracije međuspratnih konstrukcija mogu značajno da utiču na kvalitet života, komfor ljudi, a samim tim i na funkcionalnost objekta. Osetljivost ljudi na pojavu vibracija međuspratnih konstrukcija je veoma velika, odnosno nivo prihvatljivosti vibracija je veoma nizak. Reakcija ljudi na pojavu vibracija međuspratnih konstrukcija najčešće zavisi od toga kojom aktivnošću se osoba bavi u datom trenutku. Pored toga što vibracije mogu značajno da umanje komfor ljudi i kvalitet života unutar određenog objekta, drugi bitan faktor u pogledu ocene prihvatljivosti vibracija međuspratnih konstrukcija je funkcionalnost objekta. Funkcionalnost objekta može posebno biti ugrožena pojavom vibracija u slučaju kada se u objektima obavljaju specifične aktivnosti kao što je na primer slučaj sa operacionim salama, ili u slučaju kada prevelike vibracije međuspratnih konstrukcija mogu da ugroze rad određenih mašina ili tačnost opreme sa kojom se radi unutar objekta.

Jednom projektovana i izgrađena konstrukcija teško se može naknadno modifikovati u pogledu poboljšanja kriterijuma vibracija, izuzev ako se ne razmatraju značajne promene u pogledu mase konstrukcije, krutosti konstrukcije i povećanja koeficijenta prigušenja. Stoga je veoma bitno da se nivo prihvatljivosti vibracija međuspratnih konstrukcija objekta definiše na početku, u fazi projektovanja, u zavisnosti od namene objekta i zahteva investitora.

3 PRORAČUNSKI KRITERIJUMI ZA VIBRACIJE SPREGNUTIH KONSTRUKCIJA

Preporuke za projektovanje objekata u cilju zadovoljavanja kriterijuma vibracija mogu se pronaći u različitim standardima, priručnicima za proračun i stručnim publikacijama. Problemom vibracija međuspratnih konstrukcija izazvanih ljudskim aktivnostima bavili su se mnogi autori koji daju različite preporuke, koje se najčešće odnose na ograničavanje sopstvenih frekvencija oscilovanja međuspratnih konstrukcija, u zavisnosti od namene objekta i vrste dinamičkog opterećenja. Tradicionalno, mnogi autori smatraju da dovoljno visoka sopstvena frekvencija oscilovanja konstrukcije omogućava da ona bude izvan opsega frekvencije pobude, odnosno frekvencije dinamičkog opterećenja usled različitih aktivnosti ljudi.

Prema Evrokodu kriterijumi upotrebljivosti u pogledu vibracija treba da se propišu za svaki projekat i dogovore sa investitorom, ili se mogu definisati u okviru Nacionalnog priloga. Prema SRPS EN 1994:2012 [1], dinamičke karakteristike međuspratnih konstrukcija trebaju da zadovolje preporuke date u SRPS EN 1990:2012 [2]. SRPS EN 1990:2012, Prilog A1 [2] definiše da se za zadovoljavajuće ponašanje konstrukcije u pogledu vibracija mora uzeti u obzir komfor ljudi koji borave unutar objekta i funkcionalnost objekta, a ostali aspekti treba da se usaglase u skladu sa namenom objekta. Kako granična stanja upotrebljivosti u pogledu vibracija ne bi bila prekoračena, neophodno je da sopstvena frekvencija oscilovanja konstrukcije ili delova konstrukcije bude iznad određenih granica, koje zavise od namene objekta i izvora vibracija. SRPS EN 1990:2012 [2] definiše da su za ostale informacije referentni standardi: SRPS EN 1991:2012 [3], SRPS EN 1991:2012 [4] i ISO 10137 [5]. SRPS EN 1990:2012, Prilog A2 [2] preporučuje maksimalne vrednosti ubrzanja za bilo koje delove međuspratne konstrukcije od $0,7 \text{ m/s}^2$ za vertikalne vibracije i $0,2 \text{ m/s}^2$ za horizontalne vibracije.

Tabela 1 – Indikativne vrednosti sopstvenih frekvencija konstrukcije zgrade i ograničenja ubrzanja [6]

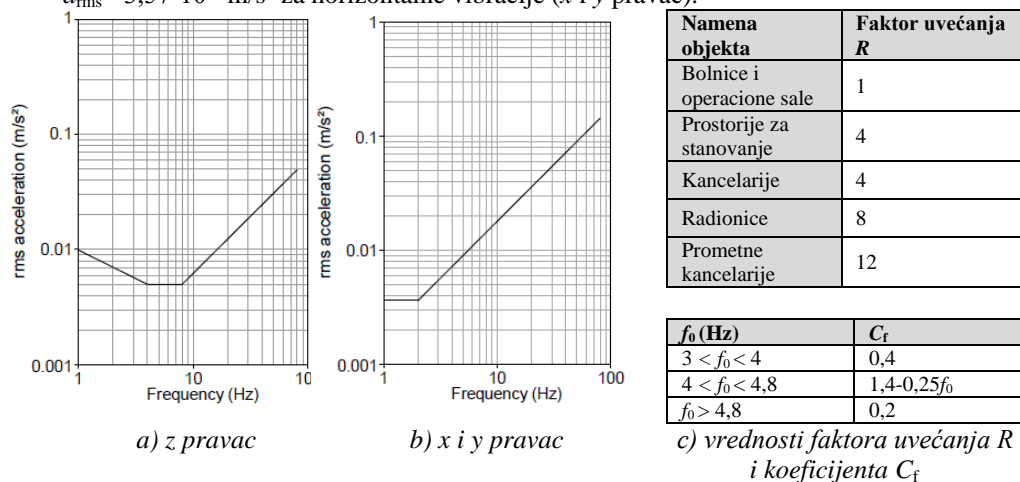
| Namena objekta | Obično zadovoljavajuće ponašanje | Često nezadovoljavajuće ponašanje | Preporučena granična vertikalna ubrzanja (u % od g) |
|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--|
| Sportske dvorane, javni prostori | $n_e > 10 \text{ Hz}$ | $n_e < 6 \text{ Hz}$ | 10 % |
| Stambene zgrade | $n_e > 8 \text{ Hz}$ | $n_e < 5 \text{ Hz}$ | 0,1 % |
| Poslovne zgrade | $n_e > 8 \text{ Hz}$ | $n_e < 5 \text{ Hz}$ | 0,2 % |

Nacionalni prilog SRPS EN 1990/NA [6] propisuje indikativne vrednosti sopstvenih frekvencija oscilovanja i ograničenja vertikalnih ubrzanja izražena u procentima ubrzanja zemljine teže g , koje bi u većini regularnih slučajeva trebalo da obezbede prihvatljivo ponašanje međuspratne konstrukcije (tabela 1). Međutim, sopstvena frekvencija nije jedini parametar koji utiče na prihvatljivost vibracija, pa u određenim slučajevima kontrola graničnog stanja upotrebljivosti usled vibracija ne može da se svede samo na ograničenje sopstvene frekvencije [7]. Tada je neophodno da se sprovedu složeniji postupci analize koji mogu da se nađu u specijalizovanoj literaturi, a koji se uglavnom zasnivaju na direktnoj ili indirektnoj

kontroli vertikalnog ubrzanja međuspratne konstrukcije, koje najviše utiče na komfor korisnika [7].

BS 6472 [8] pokriva različite izvore vibracija u međuspratnim konstrukcijama, a nivoi prihvatljivosti dati su u obliku težinskih funkcija za osnovne krive i serije faktora za uvećanje u zavisnosti od namene objekta, koje su date na slici 1. Osnovne krive za vibracije u pravcu z ose (vertikalni pravac) i x i y ose (horizontalni pravac) izvedene su na osnovu sledećih osnovnih vrednosti srednjeg kvadratnog ubrzanja a_{rms} (m/s^2):

- $a_{rms} = 5 \cdot 10^{-3} m/s^2$ za vrtikalne vibracije (z pravac),
- $a_{rms} = 3,57 \cdot 10^{-3} m/s^2$ za horizontalne vibracije (x i y pravac).



Slika 1 – Osnovne krive za vibracije i faktor uvećanja prema BS 6472 [9]

Faktor uvećanja R određuje se u zavisnosti od vrednosti sopstvene frekvencije oscilovanja međuspratne konstrukcije [10]. Ukoliko je sopstvena frekvencija oscilovanja konstrukcije manja od 7 Hz, konstrukcija se smatra nisko frekventnom i faktor uvećanja R se određuje prema izrazu:

$$R = \frac{68000C_f}{m_g S_{eff} L \zeta} \quad (1)$$

Za visoko frekventne konstrukcije (sopstvena frekvencija oscilovanja konstrukcije je veća od 7 Hz), faktor uvećanja R određuje se prema izrazu:

$$R = \frac{3000}{m_g b_e L} \quad (2)$$

gde je:

- m_g masa konstrukcije koja osciluje (kg/m^2),
- L raspon spregnutog grednog nosača (m),
- I_s moment inercije spregnute ploče (m^4),
- ζ koeficijent prigušenja,

$b_e = \min(b, 40h_p)$ gde je b rastojanje grednih nosača (m), a h_p visina betonske ploče (m),

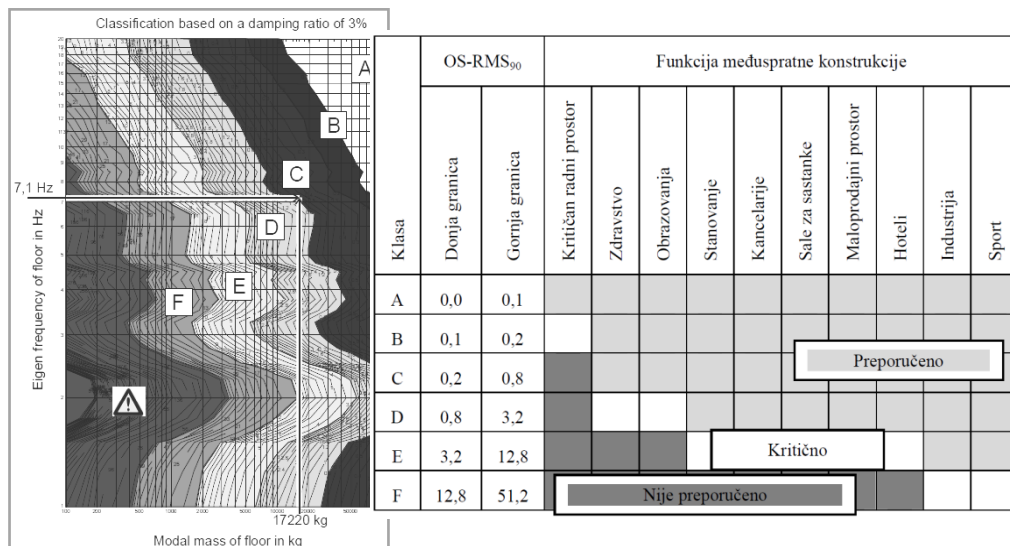
$S_{eff} = 4,5 \left(\frac{E_a I_s}{m_g f_0^2} \right)^{1/4}$ efektivna širina međuspratne konstrukcije (m).

Koeficijent C_f određuje se u zavisnosti od sopstvene frekvencije oscilovanja konstrukcije, kako je prikazano na slici 1.

Na osnovu rezultata istraživanja u okviru ECCS-a (projekat JRC55118 [11]) definisane su preporuke za projektovanje međuspratnih konstrukcija usled dejstva vibracija izazvanih ljudskim hodom. Izvod iz ovih istraživanja publikovao je i *Arcelor-Mittal* u vidu preporuka [12]. Tri osnovna parametra koja utiču na vibracije međuspratnih konstrukcija su sopstvena frekvencija konstrukcije f , prigušenje D i modalna masa M_{mod} . U cilju ocene komfora i definisanja kriterijuma prihvatljivosti u pogledu vibracija, uvedena je veličina OS-RMS₉₀ (*One Step - Root Mean Square 90%*) koja predstavlja brzinu (ili ubrzanje) reprezentativnog pojedinačnog koraka koja odgovara 90-procentnom fraktilu svih različitih ljudskih koraka.

Ukupno prigušenje konstrukcije određuje se kao zbir tri različite komponente prigušenja: prigušenja konstrukcije, prigušenja usled opreme i nameštaja unutar objekta i prigušenja usled završne obrade međuspratnih konstrukcija. Procedura ocene prihvatljivosti međuspratne konstrukcije usled vibracija sastoji se u:

- određivanju osnovnih karakteristika konstrukcije, kao što su sopstvena frekvencija, modalna masa i prigušenje;
- utvrđivanju kategorije kojoj pripada međuspratna konstrukcija, na osnovu dijagrama koji su dati za različite nivoe prigušenja, na osnovu vrednosti sopstvene frekvencije i modalne mase;
- proveriti da li je dobijena kategorija prihvatljiva ili nije za zahtevanu namenu, odnosno funkciju međuspratne konstrukcije.




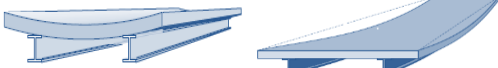
Slika 2 – Klasifikacija međuspratnih konstrukcija (*Arcelor-Mittal* [11])

Definisano je 6 klasa međuspratnih konstrukcija u zavisnosti od opsega vrednosti OS-RMS₉₀, i različiti nivoi prihvatljivosti vibracija međuspratnih konstrukcija u zavisnosti od funkcije (namene) objekta, kako je prikazano na slici 2.

4 ODREĐIVANJE DINAMIČKIH KARAKTERISTIKA SPREGNUTIH MEĐUSPRATNIH KONSTRUKCIJA

Za definisanje nivoa prihvatljivosti međuspratne konstrukcije na dejstvo vibracija potrebno je odrediti osnovne karakteristike konstrukcije kao što su sopstvena frekvencija, modalna masa i prigušenje. Sopstvena frekvencija oscilovanja međuspratne konstrukcije može se odrediti koristeći pojednostavljene metode proračuna date u literaturi, ili pomoću odgovarajućih programa. Pojednostavljene metode proračuna (tabela 2) obuhvataju proračun sopstvene frekvencije oscilovanja i modale mase, koristeći izraze za gredne nosače, ili izraze za ortotropnu ploču, kada se spregnuta međuspratna konstrukcija posmatra kroz frekvencije oscilovanja spregnute betonske ploče i grednog nosača.

Tabela 2 – Izrazi za određivanje sopstvenih frekvencija oscilovanja i modalnih masa spregnutih međuspratnih konstrukcija

| | | |
|---|---|---|
| Gredni nosači (self weight approach) [10] |  | $\delta_m = 5m_g L^4 / (384 E_a I_{i0})$ $f_0 = 17,8 / \sqrt{\delta_m}$ |
| Ortotropna međuspratna konstrukcija [11] |  deformacija ploče+deformacija grednog nosača | $\frac{1}{f_{0s}} = 3,56(E_a I_s / m_p b^4)^{1/2}$ $\frac{1}{f_{0b}} = (\pi/2)(E_a I_{i0} / m_g b L^4)^{1/2}$ $\frac{1}{f_0^2} = \frac{1}{f_{0s}^2} + \frac{1}{f_{0b}^2}$ |
| Određivanje modalne mase međuspratne konstrukcije [11] | $M_{mod} = M_{total} \left(\frac{\delta_x^2 + \delta_y^2}{2\delta^2} + \frac{8}{\pi^2} \frac{\delta_x \delta_y}{\delta^2} \right)$ $\delta_y = \delta_g = \frac{5}{384} \frac{m_g b L^4}{E_a I_{i0}}$ $\delta_x = \delta_p = \frac{5}{384} \frac{m_p b^4}{E_a I_s}$ | |
| f_0, f_{0s}, f_{0b} δ_m E_a I_{i0} m_p M_{total} * ostale veličine imaju značenja data u izrazima (1) i (2). | sopstvena frekvencija oscilovanja posmatrane konstrukcije (gredni nosač ili ortotropna ploča), ploče i spregnute grede, respektivno, ugib grednog nosača (mm), modul elastičnosti čelika, moment inercije spregnutog grednog nosača, masa spegnute ploče, ukupna masa međuspratne konstrukcije. | |

5 PRIMERI

Primena različitih metoda proračuna prihvatljivosti spregnutih međuspratnih konstrukcija na dejstvo vibracija sprovedena je kroz nekoliko numeričkih primera. Analizirana su četiri spregnuta nosača raspona 8, 10, 12 i 15 metara, na međusobnom rastojanju od četiri metra, čije su karakteristike prikazane u tabeli 3.

Tabela 3 – Karakteristike spregnutih nosača

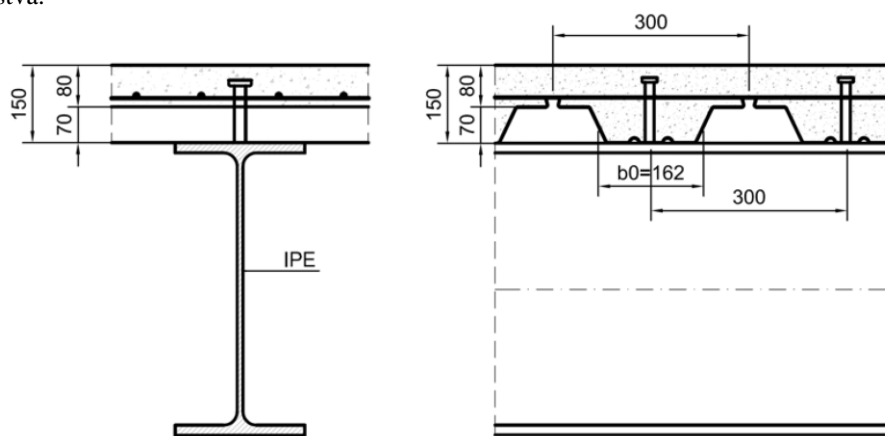
| Nosač | Profil | Raspon (m) | Moment inercije spregnute ploče | Moment inercije spregnutog nosača | Efektivna širina međuspratne konstrukcije |
|-------|---------|------------|---------------------------------|-----------------------------------|---|
| | | | I_s (cm ⁴ /m) | I_{i0} (cm ⁴) | S_{eff} (m) |
| SN1 | IPE 360 | 8 | 881,21 | 65040 | 14,61 |
| SN2 | IPE 400 | 10 | 881,21 | 88800 | 16,46 |
| SN2-1 | IPE 600 | 10 | 881,21 | 269000 | 13,03 |
| SN3 | IPE 500 | 12 | 881,21 | 165200 | 16,91 |
| SN3-1 | HEB 500 | 12 | 881,21 | 245972 | 15,47 |
| SN4 | IPE 550 | 15 | 881,21 | 275500 | 18,46 |

Tabela 4 – Sopstvene frekvencije oscilovanja spregnutih nosača

| Nosač | Gredni nosač | | | Ortotropna ploča (čelični nosač+AB ploča) | | | | |
|-------|--------------|-----------------|------------|---|----------------------------|---------------|---------------|------------|
| | m_g (kN/m) | δ_m (mm) | f_0 (Hz) | m_p (kg/m ²) | m_g (kg/m ²) | f_{0s} (Hz) | f_{0b} (Hz) | f_0 (Hz) |
| SN1 | 19,00 | 7,41 | 6,54 | 468,91 | 483,44 | 13,98 | 6,52 | 5,87 |
| SN2 | 19,06 | 13,31 | 4,88 | 468,91 | 485,73 | 13,98 | 4,87 | 4,61 |
| SN2-1 | 19,62 | 4,52 | 8,37 | 468,91 | 500,00 | 13,98 | 8,35 | 7,26 |
| SN3 | 19,31 | 15,03 | 4,59 | 468,91 | 492,10 | 13,98 | 4,58 | 4,34 |
| SN3-1 | 20,27 | 10,60 | 5,47 | 468,91 | 516,57 | 13,98 | 5,45 | 5,06 |
| SN4 | 19,50 | 22,22 | 3,78 | 468,91 | 496,94 | 13,98 | 3,77 | 3,63 |

Čelični nosač (standardni vruće valjani IPE i HEB profili) spregnuti su sa armirano-betonskom pločom na profilisanom limu CF70 (pravac profilacije lima je upravan na pravac nosača), videti sliku 3. Nosači SN2-1 i SN3-1 su varijantna rešenja sa jačim nosačima u odnosu na osnovne nosače SN2 i SN3, respektivno. Kod nosača SN2-1 povećana je visina poprečnog preseka u odnosu na SN2, dok je u slučaju nosača SN3-1 IPE profil je zamenjen HEB profilom iste visine. Za sprezanje se koriste zavareni moždanici sa glavom, prečnika 19 mm za nosače SN1 i SN2, odnosno 22 mm za ostale nosače. Visina moždanika je 120 mm. Ukupna visina betonske ploče na profilisanom limu je 150 mm, a visina betona iznad gornje ivice profilisanog

lima je 80 mm, videti sliku 3. Kvalitet čelika od kojeg su izrađeni vruće valjani profili i profilisani lim je S235, a klasa čvrstoće betona je C30/37. U svim analiziranim numeričkim primerima, pored sopstvene težine konstruktivnih elemenata, u obzir je uzeto i korisno opterećenje od 2,5 kN/m², opterećenje u toku gradnje od 0,75 kN/m² i opterećenje od završnih radova i instalacija od 1,0 kN/m². Proračun graničnih stanja nosivosti i upotrebljivosti izvršen je prema preporukama datim u SRPS EN 1994: 2012 [1], pri čemu je nosač raspona 15 m proračunat kao nosač koji je poduprt u toku gradnje. Za sve nosače predviđeno je nadvišenje čeličnog profila za vrednost koja odgovara deformaciji nosača pre dostizanja spregnutog dejstva.



Slika 3 – Geometrija analiziranih podnih nosača

Prigušenje konstrukcije usvojeno u svim analiziranim primerima je 3%. Prilikom proračuna sopstvene frekvencije oscilovanja, prema preporukama datim u literaturi [9], [10], [11], masu konstrukcije koja osciluje čini stalno opterećenje i 10% korisnog opterećenja. Za analizirane gredne nosače, sopstvene frekvencije oscilovanja prikazane su u tabeli 4.

Tabela 5 – Nivoi prihvatljivosti vibracija

| Nosač | BS 6472 [8] | | Arcelor-Mittal [12] | | | | | Klasa |
|-------|-------------|------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------------|------------------|-------|
| | C_f | R | M_{mod} (kg) | δ_p (mm) | δ_g (mm) | δ_{total} (mm) | M_{total} (kg) | |
| SN1 | 0,20 | 8,03 | 15470 | 8,29 | 7,41 | 15,69 | 7050 | D |
| SN2 | 0,26 | 7,34 | 19430 | 8,29 | 13,31 | 21,60 | 8844 | D |
| SN2-1 | 0,20 | 0,15 | 20000 | 8,29 | 4,52 | 12,81 | 9135 | C |
| SN3 | 0,31 | 7,13 | 23620 | 8,29 | 15,03 | 23,32 | 10790 | D |
| SN3-1 | 0,20 | 4,73 | 24800 | 8,29 | 10,60 | 18,88 | 11240 | C |
| SN4 | 0,40 | 6,59 | 29820 | 8,29 | 22,22 | 30,50 | 13790 | C |

Nivoi prihvatljivosti spregnutih grednih nosača koji su prikazani u tabeli 5, pokazuju da prema BS 6472 [8] svi analizirani gredni nosači, izuzev nosača SN2-1, imaju vrednost faktora R između 4 i 8, odnosno razmatrani gredni nosači u okviru spregnutih međuspratnih konstrukcija se mogu koristiti u slučajevima prostorija predviđenih za radionice i kancelarije. Nosač SN2-1 zadovoljava kriterijume vibracija za upotrebu u objektima svih namena, pa tako i u međuspratnim konstrukcijama bolnica i operacionih sala, za koje su definisani najstrožiji uslovi ($R < 1$) BS 6472 [8].

Prema preporukama koje je dao *Arcelor-Mittal* [12], analizirani gredni nosači pripadaju klasi C i D. Nosači raspona 8, 10 i 12 metara (SN1, SN2 i SN3) pripadaju klasi D i mogu se koristiti kod međuspratnih konstrukcija prostorija za stanovanje, kancelarija, sportskih i industrijskih objekata, što omogućava raznovrsniju primenu ovih nosača u pogledu namene objekta u odnosu na BS 6472 [8]. Nosači SN2-1 i SN3-1 sa značajno većim čeličnim profilima su klase C, što omogućava da budu prihvatljivi u pogledu vibracija u objektima skoro svih namena (izuzev kritičnog radnog prostora). Analizirani gredni nosači ne zadovoljavaju indikativne preporuke koje propisuje Nacionalni prilog SRPS EN 1990/NA [6], za uobičajeno zadovoljavajuće ponašanje.

Kada međuspratne konstrukcije treba da zadovolje strožije kriterijume vibracija, nije opravdano korišćenje čelika kvaliteta višeg od S275. Izborom čelika boljih mehaničkih svojstava dobijaju se manji poprečni preseći čime se smanjuje krutost nosača, što za rezultat ima manje vrednosti sopstvenih frekvencija i pogoršanje karakteristika sa aspekta prihvatljivih vibracija. Step en iskorišćenja nosivosti poprečnog preseka analiziranih podnih nosača, u ovom radu, je od 69% do 77 % (nosači SN1, SN2, SN3 i SN4) od plastičnog momenta nosivosti spregnutog poprečnog preseka. Na osnovu dobijenih rezultata može se izvesti zaključak da u slučajevima kada se zahteva da konstrukcija ima bolje dinamičke karakteristike u pogledu vibracija, granično stanje upotrebljivosti postaje merodavan kriterijum za dimenzionisanje.

Na osnovu analize rezultata prethodnih primera može se zaključiti da značajna promena dinamičkih karakteristika konstrukcije i poboljšanje komfora u pogledu vibracija zahteva rešenje sa nosačima znatno većih visina, što podrazumeva i povećanje spratnih visina.

6 ZAKLJUČCI

Pri projektovanju spregnutih međuspratnih konstrukcija, koje se po svojim dinamičkim karakteristikama mogu svrstati u vitke konstrukcije, posebnu pažnju treba posvetiti proveru graničnih stanja upotrebljivosti, koja često mogu biti merodavna za dimenzionisanje. Konstrukcije koje ne zadovoljavaju kriterijume vibracija za zahtevanu namenu objekta jako je teško i neekonomično naknadno preprojektovati, a često i neizvodljivo. Jasno definisanje nivoa prihvatljivosti vibracija međuspratnih konstrukcija u fazi projektovanja, u zavisnosti od namene objekta i zahteva investitora, veoma je važno u cilju zadovoljenja predviđenih kriterijuma, ispunjenja uslova funkcionalnosti i komfora ljudi koji borave unutar objekta. Ovo je veoma važno jer zahtevani nivo komfora, kako je pokazano na primerima, direktno utiče na dimenzije čeličnih nosača, a samim tim i na vrednost investicionih troškova.

Postojeća domaća regulativa, SRPS EN 1990:2012 [2] i SRPS EN1990/NA [6], daje samo okvirne (indikativne) preporuke za ocenu prihvatljivosti konstrukcija u pogledu vibracija međuspratnih konstrukcija. Evrokod takođe ne daje preciznije preporuke za proračun vibracija međuspratnih konstrukcija. Takođe treba naglasiti da sopstvena frekvencija konstrukcije nije jedini parametar za ocenu prihvatljivosti u pogledu vibracija, i da slepo praćenje

konzervativnih uslova u pogledu frekvencija može dovesti do neracionalnih rešenja konstrukcija. U različitoj stručnoj literaturi mogu se pronaći preporuke i pojednostavljeni postupci za proračun dinamičkih karakteristika konstrukcije, što je veoma značajno za uobičajenu inženjersku praksu, u cilju lakšeg sagledavanja različitih kriterijuma u pogledu vibracija, koji moraju biti zadovoljeni prilikom projektovanja konstrukcija.

LITERATURA

- [1] SRPS EN 1994-1-1: Evrokod 4: *Projektovanje spregnutih konstrukcija od čelika i betona - Deo 1-1: Opšta pravila i pravila za zgrade*, Beograd, Srbija: Institut za standardizaciju Srbije, 2012.
- [2] SRPS EN 1990: Evrokod 0: *Osnove projektovanja konstrukcija*: Beograd, Srbija: Institut za standardizaciju Srbije, 2012.
- [3] SRPS EN 1991-1-1: Evrokod 1: *Dejstva na konstrukcije - Deo 1-1: Opšta dejstva - Zapreminske težine, sopstvena težina, korisna opterećenja za zgrade*, Beograd, Srbija: Institut za standardizaciju Srbije, 2012.
- [4] SRPS EN 1991-1-4: Evrokod 1: *Dejstva na konstrukcije - Deo 1-4: Opšta dejstva – Dejstva vetra*, Beograd, Srbija: Institut za standardizaciju Srbije, 2012.
- [5] International Standard ISO 10137: *Bases for design of structures- Serviceability of buildings and walkways against vibrations*, International Standard Organization (ISO), Switzerland, 2007.
- [6] SRPS EN 1990/NA: Evrokod – *Osnove projektovanja konstrukcija – Nacionalni prilog*, Beograd, Srbija: Institut za standardizaciju Srbije, 2012.
- [7] Z. Marković: *Granična stanja čeličnih konstrukcija prema Evrokodu*, Akademska misao, Beograd, 2014. godine.
- [8] British Standard BS 6472: *Guide to Evaluation of human exposure to vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)*, BSI, Switzerland, 1992.
- [9] A.L. Smith, S.J. Hicks, P.J. Devine: *Design of Floors for Vibration: A New Approach*, Steel Construction Institute, SCI PUBLICATION P354, Revised Edition 2009.
- [10] T.A. Wyatt: *Design Guide on the Vibration on Floors*, Steel Construction Institute, SCI PUBLICATION 076, 1989.
- [11] M. Feldmann, Ch. Heinemeyer, Chr. Butz, E. Caetano, A. Cunha, F. Galanti, A. Goldack, O. Hechler, S. Hicks, A. Keil, M. Lukic, R. Obiala, M. Schlaich, G. Sedlacek, A. Smith, P. Waarts: *Design of floor structures for human induced vibrations, Background document in support to the implementation, harmonization and further development of the Eurocodes*, ECCS, Italy, 2009.
- [12] ArcelorMittal: *Design Guide for Floor Vibrations*, ArcelorMittal Commercial Sections, Luxembourg.