

*Originalan naučni rad  
Original scientific paper  
UDC: 624.04:551.24*

## MOGUĆA SIGURNOST I POUZDANOST GRAĐEVINSKE SKELE SLOBODNOG SASTAVA PREMA SEIZMIČKOM OPTEREĆENJU

Rašid Hadžić<sup>1</sup>, Žaneta Ljevo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Građevinski fakultet u Sarajevu, Patriotske lige 30, Sarajevo, E-mail: [zaneta.handzar@gf.unsa.ba](mailto:zaneta.handzar@gf.unsa.ba)*

### REZIME

Seizmičko opterećenje djelovanjem na građevinsku skelu slobodnog sastava – fasadna skela – predstavlja vid incidentnog dešavanja. Opasnosti i štetnosti, te mjere zaštite građevinskih radnika koje izvode fasadne radove na predmetnom objektu pri korištenju date skele su evidentne. Zato, potrebno je sa dužnom pažnjom dati provjeru moguće sigurnosti i pouzdanosti za značajniji uticaj zemljotresa. U prilog tome, posmatra se skela visine 80m elastično vezana za objekat, pri čemu uticaj oscilovanja objekta naspram skele nema značajnije veze, što se u praksi i čini.

*Ključne riječi: sigurnost i pouzdanost, građevinska skela slobodnog sastava, seizmičko opterećenje, opasnosti i štetnosti, mjere zaštite.*

## POSSIBLE SAFETY AND RELIABILITY OF BUILDING SLAB FREE COMPOSITION BY SEISMIC LOAD

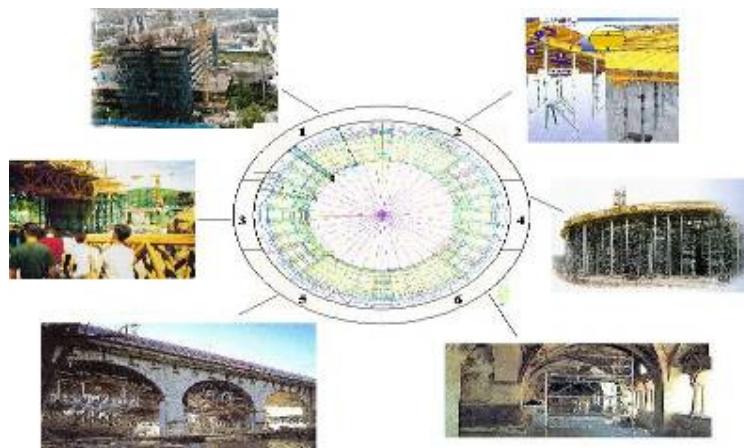
### ABSTRAKT

Seismic load acting on the building slab free composition is a form of incidental events. Dangers and hazards, and protection measures for construction workers who worked facade work at the building in use provide scaffolding are evident. It is necessary to check the safety and reliability for higher earthquake activity. In favor of that, we observe building slab height 80m elastic related to building, where the impact of building oscillation is not sensible at the building slab.

*Key words: security and reliability, building slab free composition, seismic load, dangers and hazards, protective measures.*

### UVODNE NAPOMENE OBLIKOVNIH STRUKTURA SKELE

Oblik strukture skele jeste njen vanjski izgled sa svim tehničko-tehnološkim mjerama za moguću primjenu na konkretnom projektu građenja objekta. Danas, u graditeljskoj praksi teži se ostvarenju što više u optimalizaciji i funkcionalizaciji izbora nosive tehnološke konstrukcije skele. Izbor je impresivan i prilagođen uslovima i potrebama u efikasnom građenju. U prilog sticanju opšteg dojma o oblikovnim strukturama skele, daje se ilustrativni primjer nekih mogućih rješenja: 1.fasadna skela, 2.ručna nosiva skela, 3.teška skela, 4.toranjska skela, 5.viseća skela, 6.skela za razne namjene, slika 1.



Slika 1. Ilustrativni prikaz mogućeg izbora oblikovne strukture skele (skela slobodnog sastava 1., druge moguće oblikovne strukture skela 2 – 6)  
Figure 1 Illustrates the possible choices formal structure of scaffolding (scaffolding free composition 1, other possible formal structures of scaffolding 2nd-6th)

#### GRAĐEVINSKA – "FASADNA – SKELA" SLOBODNOG SASTAVA NA REPREZENTATIVNOM OBJEKTU

Fasadna skela je skoro bez izuzetka primjenjiva u realizaciji izgradnje investicionih objekata, te nizu drugih potreba u praktičnom životu. Pitanje je samo, dali je to za konkretan slučaj efikasno rješenje. Zato, daje se primat fasadnoj skeli iz dekora izbora oblikovnih struktura prepoznatljivoj kao skela slobodnog sastava.

"Fasadna skela se primjenjuje za zidarske i fasadne radove u građevinarstvu, kako kod novogradnji tako i kod popravaka i obnavljanja starih građevina. Primjena u ostalim industrijama je pogodna kod izgradnje i popravaka-remonata visoke opreme, postrojenja i uređaja. U brodogradnji se koristi kod izgradnje i remonata brodova. Dakle, primjena ove skele je veoma široka. Osobite karakteristike ove skele su:

- brža i lakša montaža i demontaža u odnosu na klasične skele;
- jednostavan transport (zauzima mali prostor, malo sastavnih elemenata koji se ne mogu izgubiti, a elementi su lagani);
- mogućnost primjene kod razvedenih tlocrta;
- skela je znatno lakša u odnosu na klasičnu (najveća težina jednog elementa je 18,80 kg).

Montaža i demontaža fasadne skele je jednostavna i brza bez upotrebe dizalice, ali uz nužnu stručnu osposobljenost. Elementi fasadne skele se ne smiju rezati, bušiti, ili na neki drugi način oštećivati, jer se nosivost i sigurnost smanjuju. Sidrenje skele za fasadu mora biti izvedeno po tehničkim napomenama ili po posebnom projektu. Standardna isporuka fasadne skele je po specifikaciji za 500 m<sup>2</sup> fasade, ali je moguća isporuka pojedinačnih elemenata skele.

#### KONSTRUKCIJA FASADNE SKELE I NJENO KORIŠTENJE

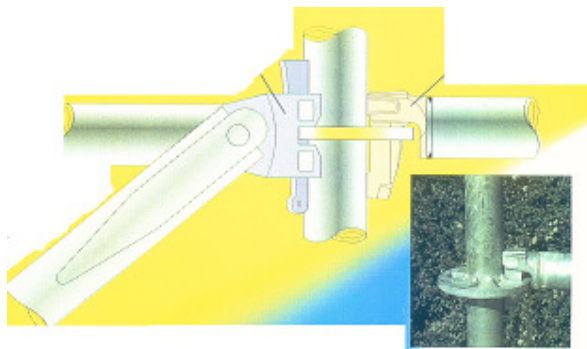
Projekt i proizvodnja fasadne skele su prilagođeni potrebama fasadnih radova - da se obavljaju brzo, nesmetano i sigurno. Uskladištenje i transport skele su jednostavni, jer zauzima mali prostor, a elementi su lagani. Sastavni elementi fasadne skele su:

H-okvir, prečka, ograda (varijanta - zamjenjuje dvije prečke i vertikalnu dijagonalu), okomita dijagonala, vodoravna dijagonala, oslonac, podesivi oslonac, osigurač, sidro, kruta spojnica, gazište, gazište s vratima, ljestve, slika 2. Fasadna skela u praksi ima značenje i kao skela slobodnog sastava, što tumačimo kroz određene reprekusije u graditeljskoj primjeni.



Slika 2. Fasadna skela na reprezentativnom objektu  
Figure 2 Scaffolds on the representative object

U prilog daljnjeg definisanja fasadne skele slijede određeni detalji, te prostorna oblikovnost u okviru gradilišnog sistema, slika 3.

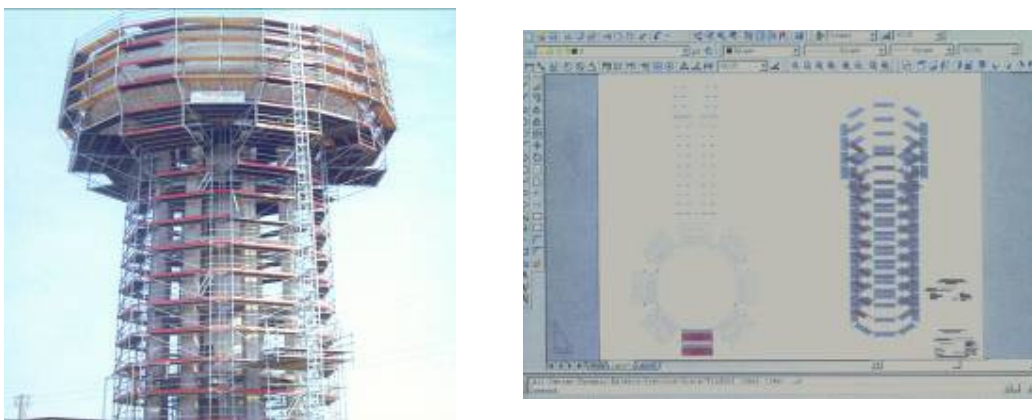


Slika 3. Konstruktivni detalji skele slobodnog sastava (fasadna skela), stvaranje tehničko-tehnoloških uslova za potrebu moguće sigurnosti i pouzdanosti skele  
Figure 3. Structural details of staging free composition (scaffolds), creating technical and technological conditions for the possible need for security and reliability of the scaffolding

## SEIZMIČKO OPTEREĆENJE I NJEGOV UTICAJ NA REFERENTNU SKELU

Seizmičko opterećenje predstavlja uzročno-posljedičnu vrijednost moguće aktivnosti trusnih talasa na relaciji epicentralnog područja prema mjestu konkretnog djelovanja. Konkretno, baza istraživanja uticaja i reprekusije uticaja seizmičkog opterećenja-intenziteta 8. (MCS – skala) odnosi se na tzv. fasadnu skelu uz određene limitirajuće uslove. Što to znači, limitirajući uslovi. To je elastičan odnos slobodno stojeće skele prema fasadi objekta. Drugim riječima, treba da stvorimo konstruktivne uslove elastične veze skela-objekat, tako da intenzitet potresa koji je inače haotičan, nema uzročno-posljedičnu vezu. Kako to sprovesti na konkretnom primjeru kao prilog mogućeg istraživanja daće se slika sigurnosti i pouzdanosti skele na reprezentativnom objektu. Dakle, posmatramo građevinski-fasadnu skelu slobodnog sastava različitih visina kao jedinstvenoj prostornoj rešetki izvedenu od bešavnih "alu" cijevi sa odgovarajućim spojnicama i ukrucenjima, te radnim platformama od sačasto izvedenih alu tabli izbornih visina etaža skele, ali može se uzeti i druge vrste radnih platformi. Skela je povezana sa objektom u vidu elastičnih zglobova na određenim mjestima i nema deformacione aktivnosti skela – objekat, ali i pored toga postoji određena interakcijska veza. Građevinski radnici su

na pojenim etažama skele i obavljaju svoj posao. Dejstvo potresa je kratkotrajno 1-3 sekunde, ali za radnike rizično. Kako stvoriti ambijent spokoja i tehnike! Pozvaćemo se na određene pretpostavke. Fasadne skele se montiraju u vrlo složenim uslovima gabarita objekata što je vrlo zahtjevan posao. Zato, potrebno je voditi strogo računa u uslovima montaže, rada na skeli te konačno demontaže. Mogući uslov rada na fasadi objekta uz primjenu skele je vrlo zahtjevan kako je to dato kroz mjere tehničko-tehnološke zaštite na radu. Uz sve to postavlja se pitanje kako građevinski radnik treba da komunicira sa skelom. To je vrlo važno pitanje, a odgovor treba tražiti u adekvatnoj primjeni metalnih stepeništa sa podestima na svim platformama fasadne skele. Skelu treba kvalitetno uraditi putem projekta, te mogućih studijskih analiza za određene uslove rada i vanjskih uticaja, kao što su vjetar, seizmika i drugi faktori, slika 4.



Slika 4. Uređena skela pripravna za okončanje fasadnih radova na objektu  
Figure 4 Decorated scaffolding ready for completion of work on the building facade

## USLOVI I TOK PRORAČUNA POD SEIZMIČKIM OPTEREĆENJEM

Pretpostavke:

- Skela stoji na apsolutno krutim osloncima
- Čvorovi skele su nepopustljivi
- Pomjeranje objekta za koji se pričvršćuje skela se zanemaruje
- Zona intenziteta zemljotresa je VIII (iako ne postoji opravdanje za ovaj intenzitet zemljotresa na skeli odnosno objektu privremenog karaktera, trebalo bi se preračunati na povratni period manji od 2 ili 3 god.)
- Skela se nalazi na udaljenosti 50 cm od objekta i vezana je preko cijevi  $\Phi 48,3/3,2$  mm, veze su postavljene na klasičan način, što se daje upustvom proizvođača, slika 5.



Slika 5. Sigurnost i pouzdanost skele u tehničko-tehnološkim uslovima građenja  
Figure 5 Safety and reliability in staging technical-technological conditions of construction

Proračun će biti izvršen metodom:

- ekvivalentnog statičkog opterećenja;
- spektralnom analizom.

Određivanje ukupne seizmičke sile metodom ekvivalentnog statičkog opterećenja

Sopstvena težina pojedinih dijelova skele:

- a) Ram ..... 18,8 kg
- b) Težina poda skele .....20,0 kg
- c) Širina skele ..... 1,0 m
- d) Težina ograde ..... 2x5,6=11,2 kg
- e) Težina dijagonala .....7,2 kg

Ukupna težina jedne radne platforme i jedne etaže:

$$2 \times 18,8 + 20 + 11,2 = 68,6 \text{ kg} - \text{ za polje bez ukrute}$$
$$2 \times 18,8 + 20 + 11,2 + 7,2 = 75,8 \text{ kg} - \text{ za polje sa ukrutom}$$

Broj radnih platformi po visini skele se obično ograničava na 3, a radno opterećenje se uzima  $1,5 \text{ kN/m}^2$ .

Pretpostavljena skela:

- a) Spratnost skele  $10 \times 2 \text{ m} = 20 \text{ m}$
- b) Broj polja skele 5
- c) Razmak na kom se postavljaju ramovi 2,0 m
- d) Ukupna dužina skele  $5 \times 2,0 = 10 \text{ m}$
- e) Skela za  $200 \text{ m}^2$
- f) Ukupna težina skele 3050 kg

Proračun perioda oscilovanja korištenjem software-a (TOWER).

- Seizmička zona VIII:  $K_s = 0.05$
- Kategorija tla I:  $K_d = 0.50/T_1 = 0.50/0.364 = 1.37 > 1 \Rightarrow K_d = 1.0$
- Kategorija značaja objekta III (skele su prema važećem pravilniku kategorija IV, ali radi dosljednosti proračuna usvaja se kategorija III):  $K_0 = 0.75$
- Savremena konstrukcija:  $K_p = 1.0$
- $K = K_0 \cdot K_s \cdot K_p \cdot K_d = 0.75 \cdot 0.05 \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 0.0375$
- Ukupna težina skele je:  $G = 30.5 \text{ kN}$
- Ukupna seizmička sila je:  $S = K \cdot G = 0.0375 \cdot 30.5 = 1.14 \text{ kN}$

PROJEKTNI SPEKTAR

$$S = K \cdot G = K \cdot g \cdot m = S_a \cdot m \Rightarrow S_a = K \cdot g$$

Pretpostavljena skela:

- a) Spratnost skele  $20 \times 2 \text{ m} = 40 \text{ m}$
- b) Broj polja skele 5
- c) Razmak na kom se postavljaju ramovi 2,0 m
- d) Ukupna dužina skele  $5 \times 2,0 = 10 \text{ m}$
- e) Skela za  $400 \text{ m}^2$
- f) Ukupna težina skele 6100 kg

Tabela 1 Projektni spektar  
Table 1. Design spectrum

T	$K_d$	$K_0$	$K_s$	$K_p$	$S_a$
0	1,00	0,75	0,05	1,00	<b>0,0375</b>
0,5	1,00	0,75	0,05	1,00	<b>0,0375</b>
0,6	0,83	0,75	0,05	1,00	<b>0,0313</b>
0,7	0,71	0,75	0,05	1,00	<b>0,0268</b>
0,8	0,63	0,75	0,05	1,00	<b>0,0234</b>
0,9	0,56	0,75	0,05	1,00	<b>0,0208</b>
1	0,50	0,75	0,05	1,00	<b>0,0188</b>
1,1	0,45	0,75	0,05	1,00	<b>0,0170</b>
1,2	0,42	0,75	0,05	1,00	<b>0,0156</b>
1,3	0,38	0,75	0,05	1,00	<b>0,0144</b>
1,4	0,36	0,75	0,05	1,00	<b>0,0134</b>
1,5	0,33	0,75	0,05	1,00	<b>0,0125</b>
2	0,25	0,75	0,05	1,00	<b>0,0094</b>

Proračun perioda oscilovanja korištenjem software-a (TOWER)

- Seizmička zona VIII:  $K_s=0.05$
- Kategorija tla I:  $K_d=0.50/T_1=0.50/0.259=1.93>1 \Rightarrow K_d=1.0$
- Kategorija značaja objekta III (skele su prema važećem pravilniku kategorija IV, ali radi doslijednosti proračuna usvaja se kategorija III):  $K_0=0.75$
- Savremena konstrukcija:  $K_p=1.0$
- $K = K_0 \cdot K_s \cdot K_p \cdot K_d = 0.75 \cdot 0.05 \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 0.0375$
- Ukupna težina objekta je:  $G = 60.1kN$ , tabela 1.

Ukupna seizmička sila je:

$$S = K \cdot G = 0.0375 \cdot 60.1 = 2.29kN$$

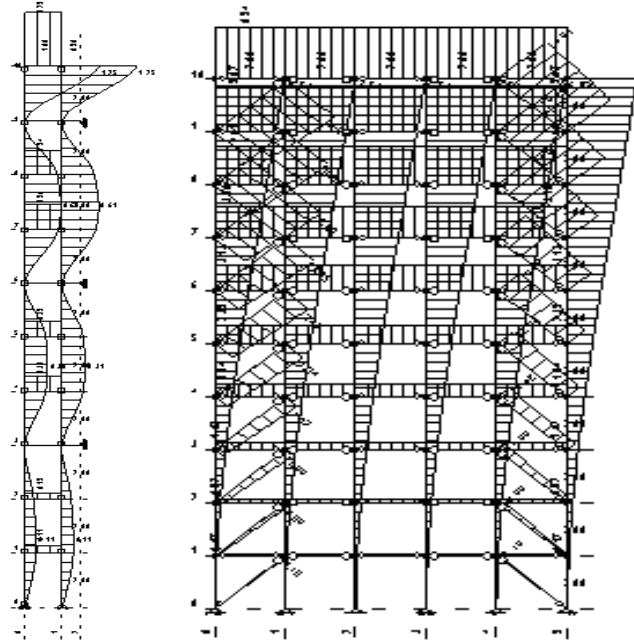
Daljni slijed je modalna analiza (skela 10etaža), pri čemu se uzimaju napredne opcije seizmičkog proračuna (spriječeno oscilovanje u "Z" pravcu). Sljedeće jeste seizmički proračun (HRN) uz ekvivalentno statičko opterećenje. Konačno, statički proračun za slučaj reprezentativnog izbora 10 etaža, slika 6, daje šematski prikaz

Iz priloženog jasno se može identifikovati kakav i koliki uticaj ima seizmičko opterećenje, te u vezi s' tim moguća interakcijska veza seizmika - skela direktno, a indirektno uz određene pretpostavke skela - objekat.

Slijedi pitanje, šta je to što može u smislu uslovne rečeno horizontalnog opterećenja djelovati na skelu slobodnog sastava, te da ugrozi njenu sigurnost i pouzdanost. To je tzv. slučajno opterećenje čiji je reprezent – vjetar, ali to za neko drugo istraživanje i prezentovanje.

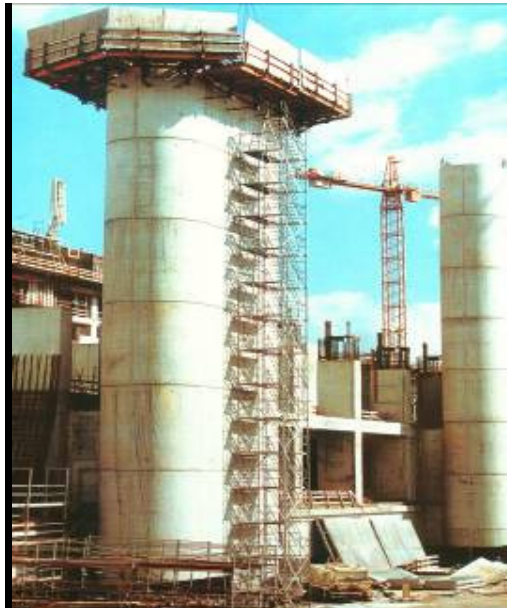
#### SIGURNOST I POUZDANOST DATE SKELE KAO FAKTOR ZAŠTITE GRAĐEVINSKOG RADNIKA

Zaštita građevinskog radnika mora biti opšte prihvatljiva u svim segmentima tehnološkog procesa građenja. To je moguće da se ostvari samo i samo studijom sigurnosti i pouzdanosti, što su u konkretnom slučaju radna skela / fasadna skela - građevinska skela slobodnog sastava.



Slika 6. Skela kao nosiva tehnološka konstrukcija  
Figure 6 Scaffolding as wearable technology design

Kako je već istaknuto, nosiva konstrukcija skele sastoji se iz značajnih, ali i neophodnih osnovnih elemenata: nosivi štapovi, sredstva za povezivanje i oslanjanje, uređaj za regulaciju. Svaki od datih elemenata ima određenu funkciju, te se ne može niti pod bilo kojim okolnostima isključiti ili paušalno zamjeniti.



Slika 6. Posebne mjere sigurnosti i pouzdanosti kroz vertikalnu komunikaciju u gradnji objekta  
Figure 6 Special security measures and pouzdanosti through vertical communication  
in the construction of the facility

U prilogu, skela slobodnog sastava ima se vidjeti, ocjeniti i procjeniti kako figuriše skela kao nosiva tehnološka konstrukcija, slika 6. Uz date upute koje su bitne za sigurnost i pouzdanost prostorne rešetkaste konstrukcije. Bez obzira na to, što uticaj seizmike nije dominantan, ne može se tolerisati

paušalan odnos veza, konstruktivnih štapova i načina oslanjanja. Moraju se poštovati određeni kriteriji što je dato kroz sistem proračuna, te ilustracijske primjere.

## ZAKLJUČNA VREDNOVANJA GRAĐEVINSKE SKELE SLOBODNOG SASTAVA

Sigurnost i pouzdanost razmatrane skele zahtjeva dosljednost, te na taj način vrednovanje datog prostornog rešetkastog sistema – rešetkaste konstrukcije skele. U prilog tome slijede određena zaključna vrednovanja datog sistema. " Nosivi štapovi bez obzira na konstrukcioni materijal (čelik, aluminij ili neki treći – budući), usloženi su tako da u vertikalnom i horizontalnom smislu mogu primiti strahovito opterećenje te u sprezi sa odgovarajućim ukrućenjima prenijeti ga na "čvrstu podlogu"! Oni, svi skupa čine prostornu rešetkasti konstrukciju. Osnovicu za analizu nosivosti štapova skele čine čvorovi u kojima su štapovi povezani – uvezani. Svaki čvor skele predstavlja mjesto gdje se povezuje više štapova te isti mora da zadovolji osnovni uslov, a to je nepomjerljivost u troosnom koordinatnom sistemu:  $x - y - z$ !

Iz datog razmatranja slijedi:

- nepovezani štapovi skele predstavljaju podupiranje, a ne skelu,
- geometrijsko odličje koje čine štapovi u jednoj ravni mora biti predstavljeno kao statički određen sistem/trougao, prosta greda, itd.
- niz povezanih štapova u jednoj ravni nije "skela" obzirom na to da nisu ispunjeni uslovi osiguranja horizontalnog pomjeranja u pravcu treće "z" ose,
- ukoliko realizujemo povezivanje štapova poprečno kroz dvije horizontalne ravni osigurati ćemo sprječavanje horizontalnog pomjeranja u trećem pravcu, tako zapravo dobivamo osnovnu konstrukciju skele pod jedinstvenim nazivom – jaram,
- jaram se dakle realizuje od najmanje tri štapa, i to u svakoj od dvije paralelne ravni, poprečno na ravan,
- svaki čvor u jarmu je nepomjerljiv, jer je osigurana nepomjerljivost u sva tri ortogonalna pravca,
- vertikalni/visinski razmak čvorova štapa je relativan i ovisan je o statičkom proračunu skele (opterećenja, vrsta i kvalitet konstrukcionog materijala i dr.), a globalno iznosi za čelične štapove 20-2,3 (m),
- razmak između vertikalnih štapova je u funkciji potrebne manipulacije – rada na skeli iznosi najmanje 60 (cm),
- dijagonale, kao ukrute štapova skele postavljaju se na razmak 2,0 – 2,3 (m)." [1]

Treba istaći i to da uticaj žive sile građevinskog radnika na skeli "u većem broju" nema negativnog efekta na sigurnost i pouzdanost prostorne konstrukcije fasadne skele, što se moglo zaključiti iz priloženog-reálnih pretpostavki. Sve naprijed istaknuto mora biti u cjelosti ispoštovano bez obzira na to što uticaj seizmike na skelu nema značajnijeg vrednovanja kako je dato iz priloženog.

## LITERATURA

1. Čaušević M.: Potresno inženjerstvo. Školska knjiga Zagreb, 2001.
2. Hadžić R.: Tehnologija izvođenja oplata, skela i lansirnih konstruktivnih sistema. Građevinski fakultet, Sarajevo, 2008.
3. Korčinski I.L.: Osnovi projektovanja zgrada u zemljotresnim oblastima. Građevinska knjiga. Beograd, 1964.
4. Trkulja D., Begović P.: Inženjerska geologija i seizmologija u građevinarstvu. Zavod za izgradnju Banja Luka, 2009.
5. Aseizmičko građenje M. Hrasnica. Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, 2005.
6. Eurokod EC8.: Projektovanje seizmički otpornih konstrukcija. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 1998.
7. Seizmička analiza zgrade/ M. Hrasnica// Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, 2005.