

3CroCEE Shaking Table Challenge 2025

Izazov u dizajnu potresno otpornih konstrukcija

Pravila za izradu modela konstrukcije od drveta balze

1. Uvod

1.1. Ciljevi natjecanja

Zadatak vašeg tima je osmisliti projekt višekratne zgrade i provjeriti njezinu otpornost na dvije razine potresne pobude. Model zgrade izrađuje se u umanjenoj verziji koristeći balza drvo te će se ispitivati na **Quanser Shake Table II**, edukacijskoj potresnoj platformi na **Fakultetu građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu (FGAG)** tijekom **3. Hrvatske konferencije o potresnom inženjerstvu (3CroCEE)**.

Ključni cilj natjecanja je osigurati da vaš model uspješno izdrži oba testiranja bez urušavanja odnosno kolapsa. Model mora ostati strukturalno stabilan i funkcionalan nakon svih ispitivanja.

Vizualno uređivanje modela je dopušteno (npr. postavljanje zastavica, logotipa tima ili drugih oznaka), ali pod uvjetom da te izmjene ne utječu na nosivost, stabilnost i funkcionalnost konstrukcije.

Kao dio procesa dizajniranja i analize modela konstrukcije, od svakog tima se očekuje izrada postera formata **A0** prema zadanom predlošku. Poster treba sadržavati opis modela, uključujući zanimljivosti vezane za provedene analize i proračune. Organizacijski odbor će osigurati ispis postera u Splitu. Datoteke PDF i PPTX trebaju biti dostavljene organizacijskom odboru najkasnije do **ponedjeljka, 10. ožujka 2025.**

Općeniti ciljevi natjecanja **3CroCEE Shaking Table Challenge 2025** su:

- Podizanje svijesti o riziku od potresa u Hrvatskoj i regiji.
- Promicanje potresnog inženjerstva te znanja i vještina potrebnih za izradu seizmički otpornih konstrukcija među studentima diplomskih studija.
- Omogućavanje studentima građevinarstva praktično iskustvo u dizajniranju i gradnji okvirnih zgrada otpornih na potrese te poticanje međusobne suradnje.
- Jačanje profesionalnih odnosa između studenata i inženjera na akademskoj i profesionalnoj razini.

2. Model

2.1. Materijal i geometrija

Pravila i ograničenja za izradu modela uključuju sljedeće dimenzije:

- **Dimenzije tlocrta:** 25 x 25 cm
- **Visina zgrade:** 160 cm
- **Visina prizemlja:** 25 cm
- **Karakteristična visina etaže (osim prizemlja):** 15 cm
- **Ukupan broj katova:** 10 katova
- **Maksimalni broj vertikalnih elemenata po etaži:** 16 elemenata

Visina modela mjeri se od vrha osnovne temeljne ploče do najvišeg dijela konstrukcije, bez uključivanja akcelometra. Kvadratna OSB ploča koristit će se za pričvršćivanje modela na potresnoj platformi.

Model se izrađuje od balza drveta, s ovim poprečnim dimenzijama elemenata duljine 1 m:

- **Pravokutni stup:** 8 mm x 8 mm
- **Greda:** 5 mm x 8 mm
- **Dijagonala (ukruta):** 5 mm x 5 mm
- **Zid za smicanje:** 5 mm x 20 mm

Model mora biti izravno pričvrstiti na temeljnu ploču; dodatni elementi za izolaciju temelja nisu dopušteni. Stupovi se smiju pričvrstiti na krajeve posmičnih zidova. Spojevi elemenata izrađuju se isključivo pomoću vrućeg ljepila.

2.1.1. Materijalna svojstva balze

Iako nisu eksperimentalno dokazana, navedena svojstva mogu se ispitati po želji.

- Gustoća, 0,13 g/cm³
- Modul elastičnosti, paralelno s vlaknima, 3,0 GPa
- Tlačna čvrstoća, paralelno s vlaknima, 8,0 MPa
- Vlačna čvrstoća, paralelno s vlaknima, 14,0 MPa
- Vlačna deformacija pri slomu, paralelno s vlaknima, 1,2 %
- Poissonov koeficijent, 0,35

Nije dopušteno izrađivati krute dijafragme na razini etaža (kao stropne ploče). Organizacijski tim 3CroCEE pričvrstit će dodatne mase na modele kako bi simulirali stalno i korisno opterećenje etaža.

Spojena površina odnosi se na dio površine elementa okvira ili zida koji je u izravnom kontaktu s drugim elementom okvira ili zida. Ljepilo se mora nanositi samo između ovih spojenih površina.

2.1.2. Ograničenja za korištenje ljepila

- Zabranjeno je prekrivati cijeli element ili veći dio elementa ljepilom.
- U čvorovima se preporučuje nanos ljepila u duljini do 5 mm od ruba pojedinog elementa (**slika 1b**).
- Vodite računa o količini ljepila jer dodatno povećava masu modela. Masa modela bit će izmjerena prije ispitivanja.

Ljepljenje vertikalnih elemenata za temeljnu ploču treba biti izvedeno na način koji osigurava njihovu trajnu povezanost s pločom, kako bi se spriječilo odvajanje elemenata tijekom ispitivanja. Prijedlog načina ljepljenja prikazan je na **slici 1**. Temeljna ploča biti će učvršćena za potresnu platformu bravarskim stegama kako je prikazano **slikama 3 i 4**.

Napomena:

- Letvice od balza drveta dolaze u duljini od 100 cm.
- Sav potrebni materijal (balza drvo, ploče) i alati za izradu modela osigurava organizacijski tim 3CroCEE.
- Model se ne smije izrađivati na matičnom fakultetu.

2.2. Opterećenje

2.2.1. Stalno opterećenje (inercijska masa)

Stalna opterećenja i inercijske mase bit će instalirane pomoću čeličnih navoja opremljenih maticama, podloškama i utezima (**slika 5 i 6**). Ovisno o broju vertikalnih elemenata na pojedinoj etaži, mogu se koristiti dvije metode postavljanja masa:

- jedna centralno smještena masa ili
- dvije simetrično postavljene mase po etaži. Ako se koriste dvije mase po etaži, njihov ukupan zbroj mora odgovarati predviđenoj ukupnoj masi za tu etažu.

Mase će biti raspoređene na etažama 1, 3, 5, 7 i 9, što ukupno čini pet masa, po jednu na svakoj drugoj etaži. Svaka etaža mora preuzeti masu od 8 kg, što dovodi do ukupno 40 kg dodatne mase koja se dodaje modelu.

Tehničke karakteristike čeličnih navoja i pripadajućih elemenata uključuju:

- čista duljina navoja s maticama i podloškama na krajevima iznosi 250 mm,
- promjer navoja je 14 mm,
- vanjski promjer podloški je 46 mm.

Čelični navoji bit će čvrsto pričvršćeni na okvir modela u smjeru okomitom na djelovanje potresa. Matice i podloške zatezat će se ručno kako bi se osigurala pravilna raspodjela i stabilnost opterećenja tijekom ispitivanja. Ovo zatezanje može prouzročiti savijanje elemenata konstrukcije ukoliko konstrukcija nije dovoljno ukrućena. Na **slici 6** prikazana su preporučena mjesta za postavljanje dodatnih greda, čija je svrha sprječavanje savijanja elemenata konstrukcije uslijed pričvršćivanja masa.

2.2.2. Dinamičko (potresno) opterećenje

Modeli će se opterećivati sa 3 signala na potresnoj platformi, sljedećim redoslijedom:

1. **Sine-Sweep, Test 1:**
 - Sinusni val koji povećava frekvenciju od 1 Hz do 30 Hz linearno u 60 sekundi s vrlo malim amplitudama.
 - Cilj je dokazati prvu vlastitu frekvenciju.
2. **POTRES 1 - Potresno opterećenje 1: (50 % intenziteta)**
3. **Sine-Sweep, Test 2:**
 - Sinusni val koji povećava frekvenciju od 1 Hz do 30 Hz linearno u 60 sekundi s vrlo malim amplitudama.
 - Cilj je dokazati razliku u krutosti modela nakon 1. potresa (ukoliko model nije doživio urušavanje odnosno kolaps).
4. **POTRES 2 - Potresno opterećenje 2: (100 % intenziteta)**
5. **Sine-Sweep, Test 3:**
 - Sinusni val koji povećava frekvenciju od 1 Hz do 30 Hz linearno u 60 sekundi s vrlo malim amplitudama.
 - Cilj je dokazati razliku u krutosti modela nakon 2. potresa (ukoliko model nije doživio urušavanje odnosno kolaps).

Napomena:

Natjecatelji će, uz ove upute, dobiti datoteke koje prikazuju ubrzanja tijekom trajanja sva tri signala. Te datoteke bit će izražene u mjernim jedinicama gravitacijskog ubrzanja (g) s frekvencijom uzorkovanja od 100 Hz.

2.3. Nedopušteni elementi na modelu konstrukcije

Konstruktivski uređaji za prigušenje, poput viskoznih sustava prigušivača, te bilo kakva izolacija temelja nisu dopušteni u dizajnu modela konstrukcije.

3. Mjerne veličine i mjerni instrumenti

Tijekom ispitivanja pojedinih modela konstrukcija mjerit će se sljedeće veličine:

- **Apsolutni pomak krova modela (Δ_k [mm])**, koji se mjeri beskontaktnim mjeračem pomaka.
- **Apsolutno ubrzanje krova modela (a_k [g])**, koje se mjeri akcelerometrom postavljenim na krov modela.
- **Pomak temeljne ploče modela (Δ_b [mm])**, koji odgovara pomaku potresne platforme i mjeri se mjeračem pomaka.
- **Ubrzanje temeljne ploče modela (a_b [g])**, koje je jednako ubrzanju potresne platforme i mjeri se akcelerometrom postavljenim na samu platformu.

Na **slici 7** shematski je prikaz modela konstrukcije s položajem mjernih instrumenata i prikazom mjerenih veličina. Od svih navedenih instrumenata, jedini uređaj koji će biti postavljen na sam model konstrukcije je krovni akcelerometar, a instalaciju će osigurati Organizacijski tim 3CroCEE.

4. Bodovanje

Organizacijski tim 3CroCEE provesti će bodovanje zbrajanjem svih podova prema sljedećim pojedinačnim kriterijima.

R.br.	Opis kriterija	Min.	Max.
1.	Razlika između proračunske i stvarne prve vlastite frekvencije (Sine-Sweep)	0	10
2.	Apsolutna vrijednost maksimalnog relativnog krovnog pomaka [mm] - Potres 1	1	9
3.	Apsolutna vrijednost maksimalnog relativnog krovnog pomaka [mm] - Potres 2	1	9
4.	Apsolutna vrijednost maksimalnog apsolutnog krovnog ubrzanja - Potres 1	1	9
5.	Apsolutna vrijednost maksimalnog apsolutnog krovnog ubrzanja - Potres 2	1	9
6.	Urušavanje / kolaps konstrukcije - Potres 1 (min. 0, max. 9, a djelomično 4,5)	0	9
7.	Urušavanje / kolaps konstrukcije - Potres 2 (min. 0, max. 9, a djelomično 4,5)	0	9
8.	Prva vlastita frekvencija nakon 1. potresa – usporedba s numeričkim proračunom	1	8
9.	Prva vlastita frekvencija nakon 2. potresa – usporedba s numeričkim proračunom	1	8
10.	Promjena krutosti nakon 1. potresa (slabiji)	1	7
11.	Promjena krutosti nakon 2. potresa (jači)	1	7
12.	Korisna tlocrtna površina	1	3
13.	Estetika i cjelokupni dojam, bodovan od strane znanstvenika (subjektivno i nepristrano)	1	3
Bodovni raspon		10	100

Opisne napomene vezane za pojedine kriterije:

1. Razlika između proračunske i stvarne prve vlastite frekvencije (Sine-Sweep)

- Bodovi se dodjeljuju na temelju odstupanja između proračunate i stvarno izmjerene prve vlastite frekvencije modela. Manje odstupanje ukazuje na veću točnost modeliranja i većoj preciznost u izradi modela. Ovo pokazuje koliko je tim uspješno predvidio dinamičke karakteristike modela.

2. Apsolutna vrijednost maksimalnog relativnog krovnog pomaka [mm] - Potres 1

- Manji relativni krovni pomak pri prvom potresu ukazuje na bolju otpornost modela na manje intenzivne potrese. Bodovi se smanjuju proporcionalno povećanju pomaka.

3. Apsolutna vrijednost maksimalnog relativnog krovnog pomaka [mm] - Potres 2

- Maksimalni pomak pri drugom potresu mjeri sposobnost modela da izdrži intenzivniji potres. Ovaj kriterij ocjenjuje ukupnu nosivost modela konstrukcije.

4. Apsolutna vrijednost maksimalnog apsolutnog krovnog ubrzanja - Potres 1

- Niže apsolutno ubrzanje na krovu pri prvom potresu ukazuje na manje potresne sile i eventualno bolje prigušenje. Ovo ocjenjuje sposobnost modela da smanji dinamiku gibanja zgrade pri nižim intenzitetima.

5. Apsolutna vrijednost maksimalnog apsolutnog krovnog ubrzanja - Potres 2

- Slično prethodnom kriteriju, ovdje se procjenjuje odziv modela pri maksimalnom intenzitetu potresa.

6. Urušavanje / kolaps konstrukcije - Potres 1

- Model dobiva maksimalne bodove ako ostane neoštećen tijekom prvog potresa. Djelomično urušavanje dodjeljuje polovinu bodova, dok potpuni kolaps nosi 0 bodova. Ovaj kriterij ocjenjuje osnovnu otpornost modela.

7. Urušavanje / kolaps konstrukcije - Potres 2

- Nakon intenzivnijeg potresa, model mora pokazati sposobnost zadržavanja stabilnosti. Maksimalni bodovi se dodjeljuju za potpuni izostanak kolapsa, djelomično urušavanje dodjeljuje polovinu bodova, dok potpuni kolaps nosi 0 bodova.

8. Prva vlastita frekvencija nakon 1. potresa - usporedba s numeričkim proračunom

- Razlike u vlastitoj frekvenciji nakon prvog potresa odražavaju promjene u krutosti modela. Precizni proračuni i dobra izvedba dobivaju više bodova.

9. Prva vlastita frekvencija nakon 2. potresa - usporedba s numeričkim proračunom

- Razlike u vlastitoj frekvenciji nakon drugog potresa također odražavaju promjene u krutosti modela. Precizni proračuni i dobra izvedba dobivaju više bodova. Stabilna vlastita frekvencija ukazuje na kvalitetnu izradu i otpornost konstrukcije na oštećenja pri većim intenzitetima.

10. Promjena krutosti nakon 1. potresa (Sine-Sweep)

- Manja promjena krutosti nakon slabijeg potresa pokazuje visoku otpornost modela na manje intenzitete potresa.

11. Promjena krutosti nakon 2. potresa (Sine-Sweep)

- Promjene krutosti nakon intenzivnijeg potresa pokazuju sposobnost modela da očuva strukturnu cjelovitost uz eventualno manja oštećenja. Bodovi nagrađuju modele s minimalnim promjenama.

12. Korisna tlocrtna površina

- Veća korisna tlocrtna površina modela nagrađuje se s više bodova, čime se potiče funkcionalnost uz poštivanje tehničkih ograničenja.

13. Estetika i cjelokupni dojam, bodovan od stručnjaka

- Subjektivna ocjena stručnjaka temelji se na vizualnoj prezentaciji, inovativnosti i preciznosti izrade. Naglasak je na profesionalnom dojmu modela.

Razdioba bodova je linearna, za svaki kriterij posebno:

Primjer za **Kriterij 1. Razlika (odstupanje) između proračunske i stvarne prve vlastite frekvencije (Sine-Sweep)**

- | | |
|------------------------------|--|
| • Odstupanje do 10%: | 10 bodova (na bazi od max. 10 bodova) |
| • Odstupanje od 10% do 20%: | 9 bodova |
| • Odstupanje od 20% do 30%: | 8 bodova |
| • Odstupanje od 30% do 40%: | 7 bodova |
| • Odstupanje od 40% do 50%: | 6 bodova |
| • Odstupanje od 50% do 60%: | 5 bodova |
| • Odstupanje od 60% do 70%: | 4 bodova |
| • Odstupanje od 70% do 80%: | 3 bodova |
| • Odstupanje od 80% do 90%: | 2 bodova |
| • Odstupanje od 90% do 100%: | 1 bodova |
| • Odstupanje preko 100%: | 0 bodova |

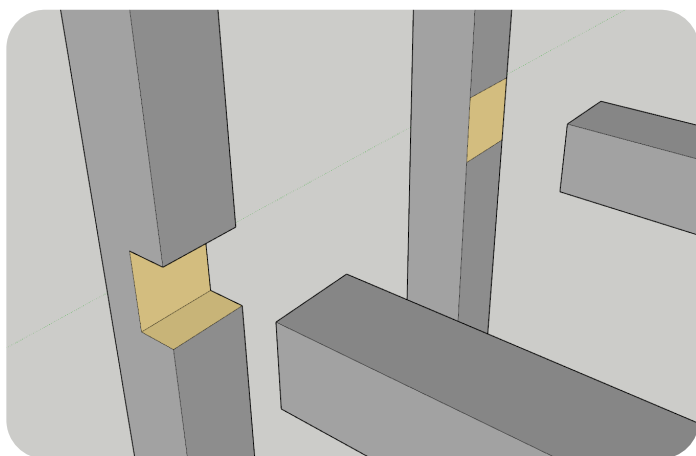
5. Dodaci

5.1. Dopunske datoteke ovim uputama

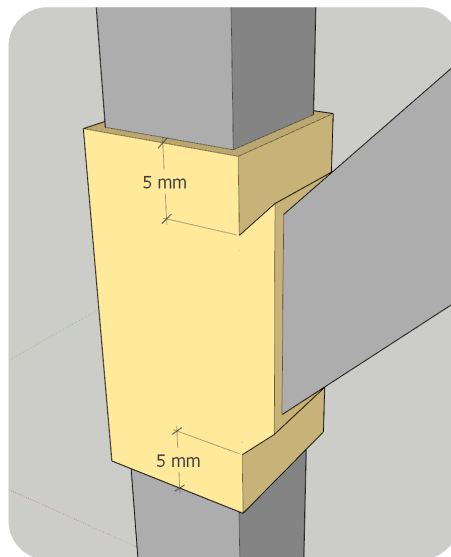
Ove upute dopunjuju tri dodatne datoteke:

1. Datoteka **3CroCEE_Challenge_2025_Potresni_zapisi.ZIP**
 - Zip datoteka sa zapisima ubrzanja od dvaju potresa koji će se koristiti za ispitivanje svih modela. Svi zapisi ubrzanja dani su s vremenskim korakom $dt = 0.005$ sekunde ($F_s = 200$ Hz).
2. Datoteka **3CroCEE_Challenge_2025_Bodovanje.XLSX**
 - Excel datoteka s prikazom raspodjele bodova za pojedine kriterije
3. Datoteka **3CroCEE_Challenge_2025_Poster.PPTX**
 - PowerPoint datoteka kao predložak za izradu postera formata A0.

5.2. Detalji spojeva elemenata (stup, greda, zid, spreg)

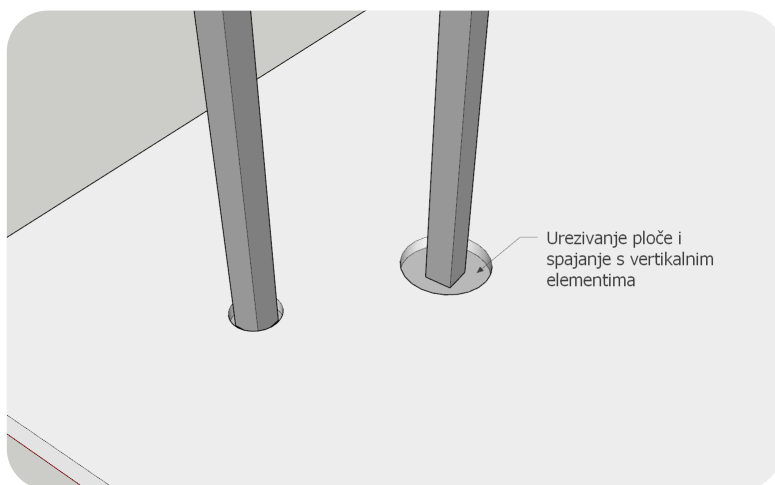


Slika 1a. Karakteristični detalj okomitog spoja dvaju elemenata

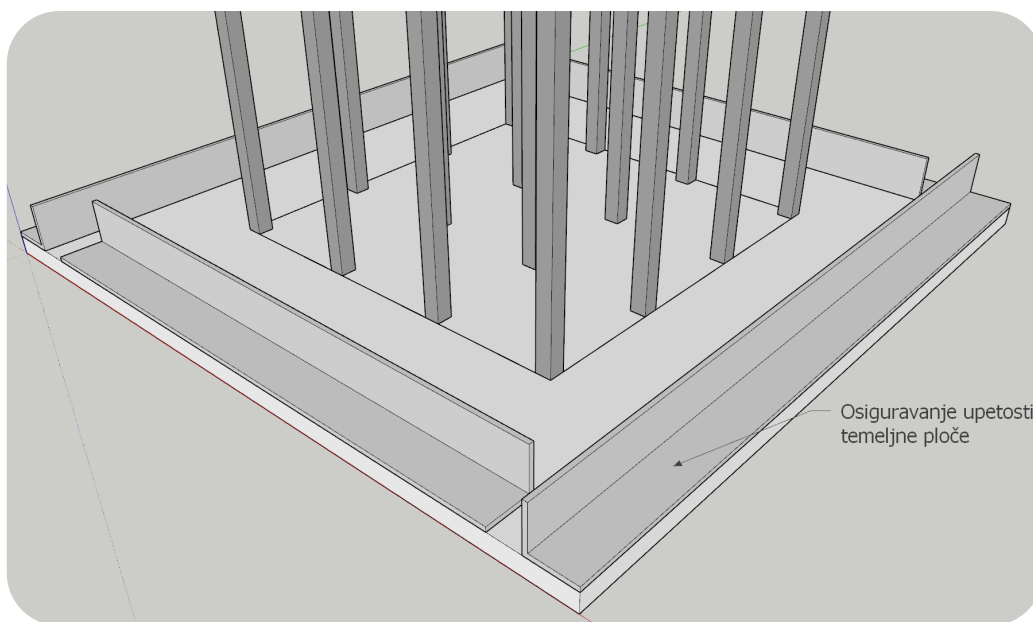


Slika 1b. Preporuka o ograničavanju ljepila na duljini do 5 mm od ruba pojedinog elementa

5.3. Detalji spoja modela s temeljnom pločom



Slika 2. Primjer urezivanja temeljne ploče za sigurno spajanje s vertikalnim elementima



Slika 3. Prikaz osiguravanja upetosti temeljne ploče za potresnu platformu

5.4. Pričvršćivanje temeljne ploče s potresnom platformom

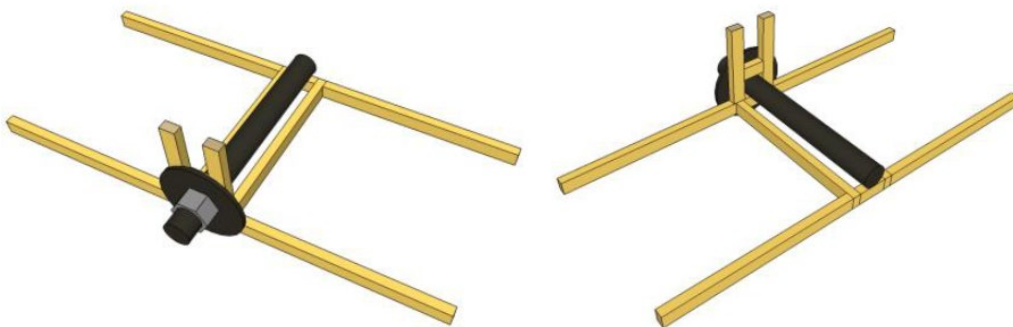


Slika 4. Tipična bravarska stega za pričvršćivanje temeljne ploče s potresnom platformom

5.5. Detalji masa i njihovih prihvata

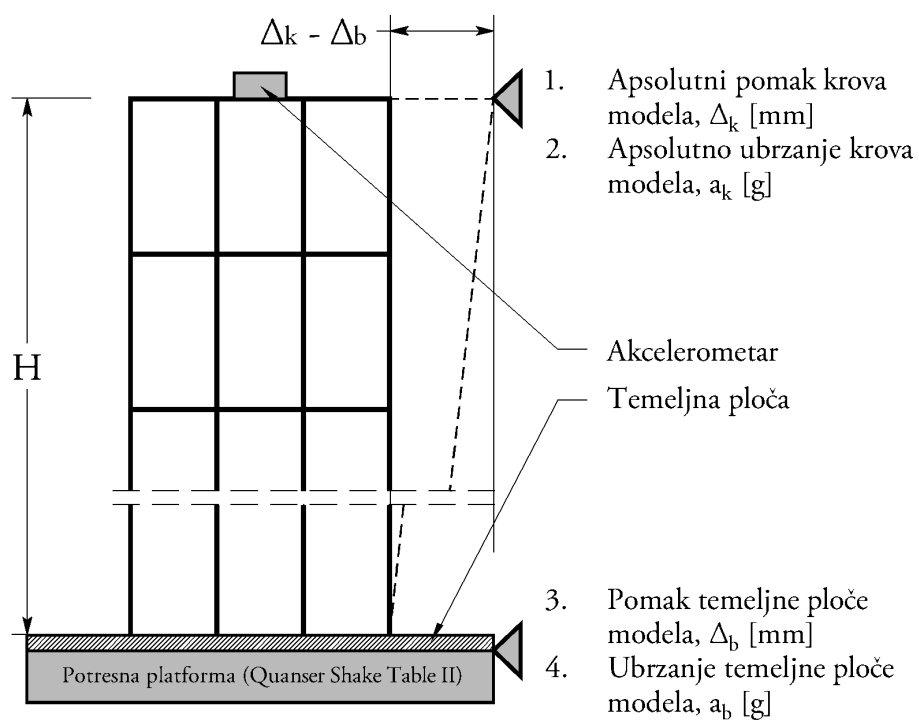


Slika 5. Inercijske mase kao dodatno opterećenje na modelima konstrukcija



Slika 6. Karakteristični detalj prihvata inercijskih masa na modelima konstrukcija

5.6. Položaj mjernih instrumenata



Slika 7. Shematski prikaz modela konstrukcije s položajem mjernih instrumenata i prikazom mjerenih veličina