4CroCEE Shaking Table Challenge

Izazov u dizajnu potresno otpornih konstrukcija

PRAVILA NATJECANJA

PRIJEDLOG v4 — 15. listopada 2026.

Organizator: Organizacijski odbor 4. Hrvatske konferencije o potresnom inženjerstvu (4CroCEE)

Mjesto i vrijeme: upisati

Napomena. Žuto označene vrijednosti podložne su promjeni i potvrđuju se prije objave Pravila. Prateće datoteke: proračunska tablica bodovanja i popis zadataka organizatora.

Sadržaj

1. Zadatak i načela 2
2. Timovi, rokovi i posterska prezentacija 2
3. Materijal i izrada 2
4. Pravila za model 3
5. Opterećenje i ispitivanje 5
6. Numeričko predviđanje frekvencije 8
7. Posterska prezentacija 8
8. Pregled i vaganje 8
9. Bodovanje i poredak 9
10. Povjerenstvo 10
11. Sažetak 10

1. Zadatak i načela

Zadatak tima je osmisliti, numerički proračunati i na natjecanju izraditi što lakšu konstrukciju desetetažne zgrade od drveta balze koja pri dva potresna ispitivanja na potresnoj platformi ima što manje pomake i ubrzanja i ne prelazi dopuštena oštećenja, unaprijed predvidjeti njezinu prvu vlastitu frekvenciju te predstaviti svoje rješenje na posteru.

- **Malo pravila, puno slobode.** Propisani su samo materijal, tlocrt i etažne razine, položaj masa, razmak i preklop elemenata te spoj s temeljnom pločom. Sve ostalo slobodno je i vrednuje se kroz masu i izmjereni odziv modela.
- **Jednaki uvjeti.** Sav materijal osigurava organizator, a model se izrađuje na natjecanju, pod nadzorom.
- **Sve se mjeri.** Bodovi za konstrukciju i stanja oštećenja proizlaze iz vaganja, optičkog praćenja, akcelerometra i izmjerene vlastite frekvencije, a ne iz procjene. Jedino poster ocjenjuje Povjerenstvo, prema smjernicama iz poglavlja 7.

2. Timovi, rokovi i posterska prezentacija

- Sudjeluje najviše 10 timova od po 4 studenta; svaki tim izrađuje jedan model.
- Tim imenuje jednog predstavnika, koji je jedina službena veza s Povjerenstvom.
- Koncept, numerički model i izrada rad su studenata. Mentori mogu davati opće savjete, ali ne smiju predlagati rješenje, izrađivati model ni proračun. Povreda povlači isključenje.
- Na posterskoj prezentaciji timovi predstavljaju svoje rješenje (poster formata A0). Prezentacija se boduje s 10 bodova (poglavlje 7).

Tablica 1. Rokovi

Obveza	Izvršitelj	Rok
Prijava tima i predstavnika	tim	datum
Objava potresnog i kalibracijskog zapisa, svojstava materijala te mase sklopova masa	Organizacijski odbor	8 tjedana prije natjecanja
Narudžba letvica: broj letvica svake vrste (poglavlje 3)	tim	4 tjedna prije natjecanja
Predaja predviđene frekvencije, geometrije modela i snimki zaslona rezultata (poglavlje 6)	tim	7 dana prije natjecanja
Predaja postera (PDF; poglavlje 7)	tim	datum
Izrada, pregled, vaganje, posterska prezentacija i ispitivanje	tim i Povjerenstvo	prema rasporedu natjecanja

3. Materijal i izrada

Svaki tim dobiva komplet materijala iz tablice 2. Broj letvica svake vrste tim procjenjuje sam i naručuje u roku iz tablice 1. Letvice se svim timovima dodjeljuju nasumično iz iste zalihe, a dodatne letvice tijekom izrade dobivaju se na zahtjev, nasumično iz pričuve.

Tablica 2. Komplet materijala

Stavka	Opis	Količina
Letvice S / G / D / Z	balza 8 × 8 / 5 × 8 / 5 × 5 / 5 × 20 mm, duljina 1000 mm, označene bojom na krajevima	prema narudžbi tima
Vruće ljepilo	pištolj i štapići ljepila istog proizvođača za sve timove	prema potrebi
Temeljna ploča	OSB dimenzije, izvagana i žigosana	1
Oznake razina	ispisane oznake koje osigurava Organizacijski odbor	10

- Model se izrađuje samo na mjestu natjecanja, u 8 sati, uz stalni nadzor Povjerenstva.
- Timovi smiju donijeti nacrte, ručni alat i pomoćne naprave (šablone, kalupe) koje ne sadrže balzu ni ljepilo. Balza, ljepila, premazi i unaprijed izrađeni dijelovi ne smiju se unositi.
- Organizator timovima osigurava pribor za provjeru: visak (uzica s malim utegom), predložak tlocrta u mjerilu 1 : 1 s položajem šipke i oznake razine, mjernu traku i kontrolnu kocku 10 × 10 × 10 mm.
- Nakon izrade model se predaje Povjerenstvu i do kraja ispitivanja čuva u nadziranom prostoru (karantena). Tim ga više ne smije mijenjati, osim pri otklanjanju nesukladnosti (poglavlje 8).
- Izmjerena svojstva balze (gustoću i modul elastičnosti) objavljuje Organizacijski odbor.
- Probni modeli izvan natjecanja dopušteni su, ali se ne unose u prostor za izradu.

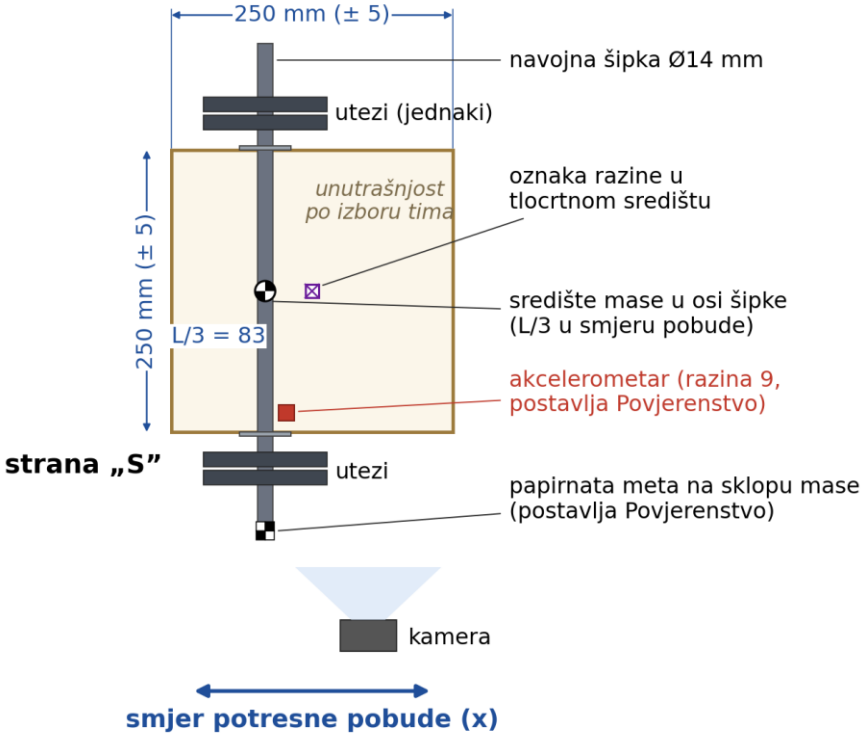
4. Pravila za model

Model mora zadovoljiti samo sljedećih šest pravila:

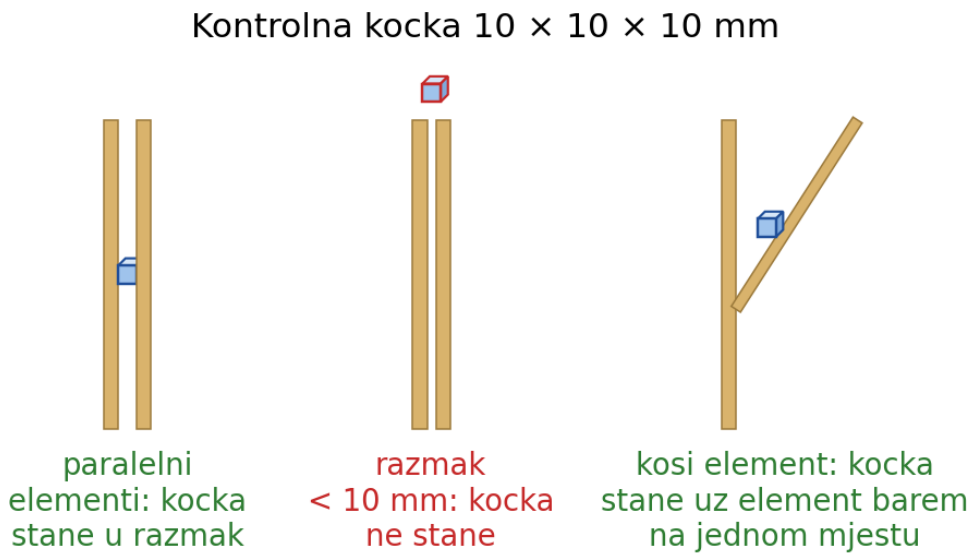
1. **Materijal.** Model se sastoji samo od letvica i vrućeg ljepila iz kompleta te oznaka razina. Letvice se smiju obrađivati na bilo koji način (rezati, cijepati, brusiti).
2. **Tlocrt.** Na svakoj etažnoj razini tlocrt modela ima vanjske dimenzije 250 × 250 mm (± 5 mm), a nijedan dio modela ne izlazi izvan tog tlocrta. Provjerava se šablonom svijetlog otvora 255 × 255 mm, koja se bez sile provlači preko modela po cijeloj visini, i mjerilom na etažnim razinama (najmanje 245 mm).
3. **Etaže.** Model ima 10 etažnih razina na visinama $h(f) = 250 + 150 \cdot (f - 1)$ mm iznad temeljne ploče (± 5 mm). Na svakoj razini tim postavlja oznaku razine u tlocrtno središte (± 10 mm). Nijedan dio modela ne smije biti viši od 1610 mm.
4. **Razmak i preklop elemenata.** Elementi se smiju spajati na bilo koji način; za provjeru služi kontrolna kocka 10 × 10 × 10 mm (slike 2 i 3). (a) Između dvaju paralelnih elemenata (kut među osima najviše 15°) kocka mora stati na cijeloj duljini, osim na mjestu preklopa. (b) Preklop paralelnih elemenata — postavljanjem jednog uz drugi ili bilo kakvom obradom krajeva — dug je najviše 3a, gdje je a veća dimenzija presjeka manjeg od dvaju elemenata (npr. 24 mm za letvice 8 × 8 mm). (c) Uz svaki kosi element (kut prema elementima na koje se spaja veći od 15°) kocka mora stati barem na jednom mjestu duž elementa, kako gusto ukriženi elementi ne bi oponašali zid.
5. **Prihvat masa.** Na razinama 1, 3, 5, 7 i 9 ugrađuje se navojna šipka Ø14 mm (slika 1): os šipke vodoravna, okomita na smjer pobude, na udaljenosti 83 mm (L/3) od lijevog lica modela gledano sa strane „S”, na visini razine (± 5 mm); matice s podloškama Ø46 mm nalaze se na krajevima šipke na međusobnom razmaku od 250 mm. Način pridržavanja šipke oblikuje tim, uz uvjet da je masa čvrsto pričvršćena za konstrukciju i da se ne pomiče u odnosu na nju.

6. **Temeljna ploča.** Horizontalni pomak između dna modela i temeljne ploče nije dopušten. Ploča se smije bušiti radi sidrenja modela; bušena ploča važe se nakon bušenja, prije spajanja s modelom, jer se njezina masa oduzima pri vaganju. Obris i debljina ploče ne mijenjaju se, a pojas širine 30 mm uz rub ostaje slobodan za stege. Na ploču se upisuju naziv tima i slovo „S”.

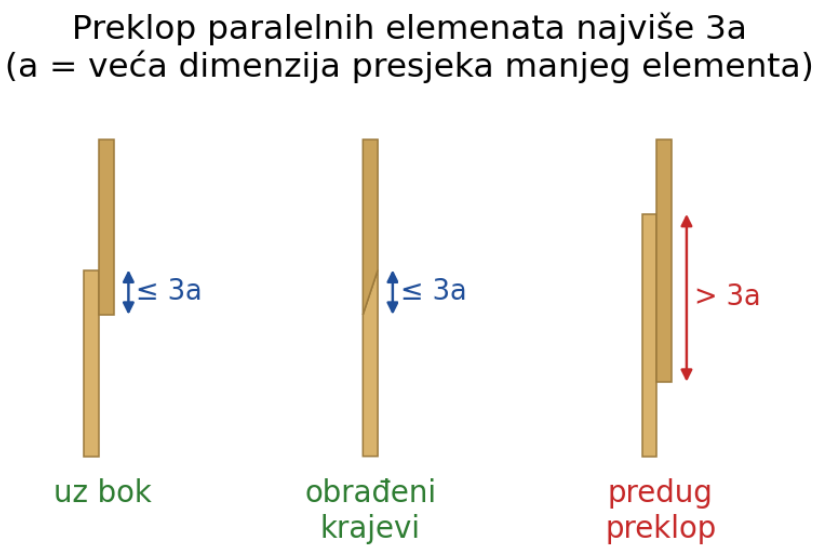
Sve ostalo je slobodno. Broj, raspored i presjek elemenata, stropovi i spregovi, vrsta spojeva, detalji prihvata masa i spoja s temeljnom pločom te količina ljepila prepušteni su timu. Svaki dodatni gram vrednuje se kroz masu modela.



Slika 1. Tlocrt etažne razine s masom: tlocrt 250 × 250 mm, položaj navojne šipke (L/3), jednaki utezi, oznaka razine i mjerna oprema



Slika 2. Pravilo 4 (a) i (c) — provjera kontrolnom kockom 10 × 10 × 10 mm



Slika 3. Pravilo 4 (b) — preklop paralelnih elemenata najviše 3a

5. Opterećenje i ispitivanje

5.1. Inercijske mase

Mase se ostvaruju navojnim šipkama s maticama, podloškama i utezima (tablica 3). Na oba kraja šipke nalaze se jednaki utezi, pa središte mase leži u osi šipke: na L/3 u smjeru pobude i u sredini tlocrta u okomitom smjeru (slika 1). Točnu masu svakog sklopa objavljuje Organizacijski odbor.

Tablica 3. Inercijske mase (uključuju šipku, matice, podloške i utege)

Razina	1	3	5	7	9	Ukupno
Masa	8 kg	8 kg	8 kg	4 kg	4 kg	32 kg

Sklopove ugrađuje Povjerenstvo, pri svakoj ugradnji na isti način. Ako podloške naliježu na konstrukciju, matice se ručno pritežu do dodira i zatim za četvrtinu okretaja; u suprotnom se samo osiguravaju od odvijanja. Predlaže se osigurati aksijalnu krutost konstrukcije na mjestu pritezanja masa, radi dobrog prianjanja.



Slika 4. Sastavni dijelovi sklopa mase: navojna šipka s maticama i podloškama; utezi

5.2. Postupak mjerenja i ispitivanja

Svaki model prolazi isti postupak (tablica 4). Između koraka model se čuva u karanteni, a mase su na njemu samo tijekom mjerenja frekvencije i potresnih ispitivanja. Redoslijed ispitivanja na platformi određuje se ždrijebom.

Tablica 4. Postupak mjerenja i ispitivanja

Korak	Postupak	Utvrđuje se
1. Vaganje ploča	Prije natjecanja Povjerenstvo važe (točnost 1 g) i žigosa sve temeljne ploče. Ploča izbušena tijekom izrade ponovno se važe nakon bušenja, prije spajanja s modelom.	masa ploče
2. Pregled i vaganje	Nakon izrade Povjerenstvo pregledava model (poglavlje 8) i važe ga zajedno s temeljnom pločom.	m
3. Vlastita frekvencija	Na mjernom mjestu temeljna se ploča pritegne na krutu podlogu; Povjerenstvo ugrađuje mase, mjeri vlastitu frekvenciju (poglavlje 5.3) i zatim skida mase.	f_0
4. Postavljanje na platformu	Model se pritegne na potresnu platformu; Povjerenstvo ponovno ugrađuje mase, lijepi mete i postavlja akcelerometar (poglavlje 5.5).	početni položaj meta
5. POTRES 1	potresni zapis, 50 % intenziteta	d_1, a_1, θ_1; stanje oštećenja
6. POTRES 2	potresni zapis, 100 % intenziteta	d_2, a_2, θ_2; stanje oštećenja

Ispitivanje modela nastavlja se sve dok je to sigurno, i za eliminirane modele; o prekidu odlučuje Povjerenstvo. Između koraka nisu dopušteni nikakvi popravci ni izmjene modela (povreda: isključenje).

5.3. Mjerenje vlastite frekvencije

Vlastita frekvencija f_0 mjeri se prije potresnih ispitivanja, na mjernom mjestu izvan platforme: temeljna ploča pritegnuta je stegama na krutu podlogu, a mase su ugrađene kao pri ispitivanju. Model se pobuđuje kratkim ručnim impulsom (laganim udarcem) u smjeru pobude, okomito na šipke, a f_0 se određuje iz spektra zapisa slobodnog titranja (akcelerometar Povjerenstva) kao frekvencija prvog izraženog vrha. Mjerenje se provodi tri puta; mjerodavna je srednja vrijednost. Frekvencija se mjeri samo prije potresnih ispitivanja.

5.4. Potresna pobuda

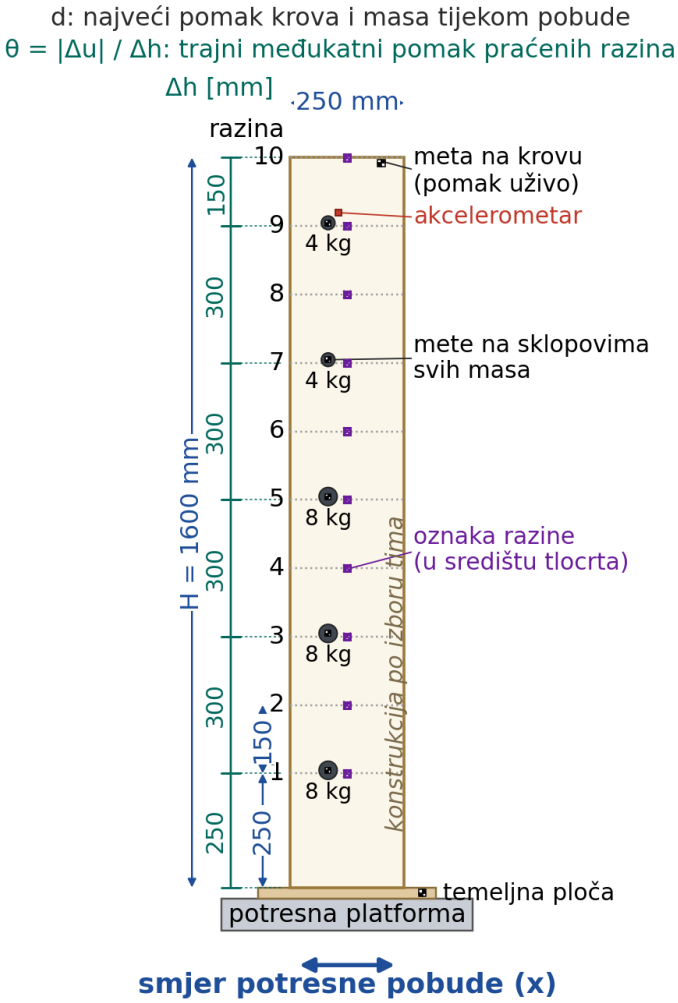
Svi se modeli ispituju istim, unaprijed objavljenim potresnim zapisom na dvije razine: POTRES 1 (50 % intenziteta) i POTRES 2 (100 %). Uz zapis se objavljuje i kalibracijski zapis — izmjereno gibanje platforme s opterećenjem od 32 kg.

5.5. Mjerenja

Prije POTRESA 1 Povjerenstvo lijepi papirnate mete za optičko praćenje na krov modela, na sklopove svih masa i na temeljnu ploču, na strani okrenutoj kameri, te postavlja akcelerometar na konstrukciju uz šipku razine 9. Položaj određuje Povjerenstvo; tim ne treba ništa predvidjeti. Pomaci meta mjere se u smjeru pobude, u odnosu na temeljnu ploču. Za potresno ispitivanje n (n = 1, 2) određuju se:

- d_n [mm] — najveći pomak tijekom pobude, od svih meta na krovu i na masama;
- a_n [g] — najveće apsolutno ubrzanje akcelerometra (Butterworthov filtar 4. reda, 20 Hz, bez faznog pomaka);
- θ_n [%] — najveći trajni međukatni pomak nakon pobude (poglavlje 5.6).

Trajni pomak mete u je srednja vrijednost njezina pomaka u posljednje 2 s nakon prestanka pobude, u odnosu na položaj prije POTRESA 1. Pomak krova prikazuje se uživo tijekom ispitivanja. Sirovi zapisi svih ispitivanja dostavljaju se timovima nakon natjecanja.



Slika 5. Shematski prikaz: etažne razine, mase, mjerna oprema i odsječci za trajni međukatni pomak

5.6. Stanja oštećenja i eliminacija

Oštećenje se iskazuje trajnim međukatnim pomakom. Za svaki par susjednih praćenih razina — temeljna ploča, mase na razinama 1, 3, 5, 7 i 9 te krov — računa se

$$\theta = | u_{gornja} - u_{donja} | / \Delta h$$

gdje je Δh visinska razlika tih razina: 250, 300, 300, 300, 300 i 150 mm (slika 5). Najveća od tih vrijednosti nakon potresnog ispitivanja n jest θ_n; ona određuje stanje oštećenja (tablica 5).

Tablica 5. Stanja oštećenja (granične vrijednosti podložne su promjeni)

Stanje	Trajni međukatni pomak θ	Ilustracija: trajni pomak krova pri jednolikom θ	Opis
DS0	θ ≤ 0,1 %	≤ 1,6 mm	bez oštećenja
DS1	0,1 % < θ ≤ 1 %	1,6 mm – 16 mm	ograničeno oštećenje
DS2	θ > 1 %	> 16 mm	teško oštećenje ili kolaps

Ako masa ispadne ili se osloni na platformu, ili se model prevrne, model je u stanju DS2.

Nakon POTRESA 1 model mora biti u stanju DS0, a nakon POTRESA 2 smije biti najviše u stanju DS1. Model koji nakon POTRESA 1 dosegne DS1 ili DS2, odnosno nakon POTRESA 2 dosegne DS2, je **eliminiran** (poglavlje 9.3).

6. Numeričko predviđanje frekvencije

U roku iz tablice 1 tim predaje, jednokratno i bez kasnijih izmjena:

- predviđenu prvu vlastitu frekvenciju modela s ugrađenim masama, u smjeru pobude, f_{pro} [Hz];
- geometriju modela: tlocrte i poglede s rasporedom i presjecima elemenata te dimenzijama;
- snimke zaslona numeričkog modela i rezultata proračuna (prvi oblik titranja s pripadajućom frekvencijom).

Datoteka numeričkog modela ne predaje se, pa izbor programa nije ograničen. Tim koji ne preda f_{pro} u roku ne boduje se po kriteriju F.

7. Posterska prezentacija

Tim predstavlja svoje rješenje posterom formata A0, koji u PDF obliku predaje u roku iz tablice 1, i kratkim izlaganjem uz poster na natjecanju. Svaki tim ima jednako vrijeme: 5 minuta za izlaganje i 3 minute za pitanja.

7.1. Smjernice za poster

Poster prikazuje:

- **Očekivanu masu** modela m, bez temeljne ploče i sklopova masa.
- **Predviđenu vlastitu frekvenciju** f_{pro} s ugrađenim masama, jednaku predanoj (poglavlje 6).
- **Zamišljeno ponašanje konstrukcije** pri potresnoj pobudi (npr. kako se prenosi horizontalno opterećenje) i očekuje li se oštećenje (DS1) pri POTRESU 2.
- **Spoj masa s konstrukcijom:** kako su oblikovani prihvat šipki i pritezanje masa.
- **Konstrukcijske detalje:** kako su odabrani i oblikovani (npr. spojevi elemenata, sidrenje u temeljnu ploču).
- **Broj elemenata:** kako je odabran konačni broj elemenata.
- **Optimizaciju mase:** kako je masa konstrukcije optimizirana.
- **Numerički model:** program, ključne pretpostavke (krutost spojeva, svojstva materijala, modeliranje masa) i prvi oblik titranja.
- **Varijante i probna ispitivanja:** razmatrane varijante rješenja i razloge njihova odbacivanja te provedena probna ispitivanja (probni modeli, ispitivanja spojeva).
- **Narudžbu letvica i plan izrade:** broj naručenih letvica svake vrste i način procjene te plan izrade u 8 sati.

7.2. Ocjenjivanje postera

Postere ocjenjuje Povjerenstvo prije potresnih ispitivanja. Svaki član svakom posteru daje ocjenu od 0 do 10, uzimajući u obzir potpunost sadržaja prema smjernicama, inženjersko obrazloženje odluka te jasnoću postera i izlaganja. Član u sukobu interesa ne ocjenjuje poster tog tima. Srednja ocjena određuje mjesto tima po kriteriju P (veća je bolja), a bodovi se dodjeljuju prema mjestu, kao i za ostale kriterije (poglavlje 9.2). Tim koji ne preda ili ne predstavi poster po kriteriju P dobiva 0 bodova.

8. Pregled i vaganje

Nakon izrade Povjerenstvo, u nazočnosti predstavnika tima, provjerava pravila 1–6 (šablona 255 × 255 mm, mjerna traka, kontrolna kocka 10 × 10 × 10 mm, probna šipka) i važe model (korak 2 u tablici 4).

- Nesukladnost s pravilima 2–6 tim otklanja pod nadzorom u najviše 30 minuta, uklanjanjem materijala, dodavanjem ljepila ili ponovnim postavljanjem oznaka razina; model se važe nakon ispravka. Ako to nije moguće, model se ispituje **izvan konkurencije** (ne rangira se, a rezultati su informativni).
- Povreda pravila 1, izrada izvan mjesta natjecanja ili izmjena modela u karanteni povlače isključenje.
- Masa modela m [g] = masa modela s temeljnom pločom − evidentirana masa ploče (za bušenu ploču: masa nakon bušenja); vaga razlučivosti 1 g.

9. Bodovanje i poredak

9.1. Kriteriji

Tablica 6. Kriteriji bodovanja

Kriterij	Mjerodavna veličina	Bodovi
M — masa modela	m	50
F — točnost predviđene frekvencije	$e = \lvert \ln(f_{pro} / f_0) \rvert$	10
D1 — pomak, POTRES 1	d_1	5
A1 — ubrzanje, POTRES 1	a_1	5
D2 — pomak, POTRES 2	d_2	10
A2 — ubrzanje, POTRES 2	a_2	10
P — poster	srednja ocjena Povjerenstva	10
Ukupno		**100**

$$B = M + F + D1 + A1 + D2 + A2 + P$$

Kod kriterija P bolja je veća vrijednost, a kod svih ostalih manja.

9.2. Bodovi prema mjestu

Za svaki kriterij timovi se rangiraju od najboljeg (r = 1) prema najlošijem. Tim na mjestu r dobiva

$$bodovi = W \cdot (N + 1 - r) / N$$

gdje je W broj bodova kriterija, a N broj timova koji se rangiraju. Pri jednakim rezultatima timovi dijele prosjek pripadajućih mjesta. Tim bez rezultata za neki kriterij (npr. nije predao f_{pro} ili poster, ili ispitivanje nije provedeno) za taj kriterij dobiva 0 bodova. Za N = 10:

Tablica 7. Bodovi prema mjestu (N = 10)

Mjesto	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
M (W = 50)	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5
F, D2, A2, P (W = 10)	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
D1, A1 (W = 5)	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5

9.3. Poredak i eliminirani modeli

- Eliminirani modeli u svakom se kriteriju rangiraju iza svih neeliminiranih modela, pa ne utječu na njihove bodove.

- U ukupnom poretku najprije se navode neeliminirani timovi prema bodovima B, a zatim eliminirani timovi prema bodovima B. Pri jednakom broju bodova bolji je tim s više bodova F, a zatim tim s manjom masom.
- Eliminirani timovi ne mogu pobijediti ni osvojiti nagradu; njihov je plasman informativan.
- Modeli ispitani izvan konkurencije ne rangiraju se i ne ulaze u N.

9.4. Kvar opreme

Kvar mjerne opreme koji nije na strani tima ne smije mu biti na štetu. Mjerenje frekvencije se ponavlja; ako mjerenje potresnog ispitivanja nije moguće ponoviti, pripadajući kriteriji se za taj tim izuzimaju, a njegov zbroj bodova preračunava se razmjerno na 100 bodova.

10. Povjerenstvo

Povjerenstvo (najmanje tri člana) nadzire izradu, provodi pregled, ispitivanja i bodovanje, utvrđuje stanja oštećenja i ocjenjuje postere. Član u sukobu interesa izuzima se iz odlučivanja o tom timu.

11. Sažetak

Tablica 8. Pravila na jednoj stranici

Stavka	Pravilo
Materijal	samo letvice i vruće ljepilo iz kompleta; broj letvica naručuje tim; obrada letvica slobodna
Tlocrt	točno 250 × 250 mm (± 5 mm) na svakoj razini
Etaže	10 razina, h(f) = 250 + 150 · (f − 1) mm; oznaka razine u središtu tlocrta; najviše 1610 mm
Razmak i preklop	kocka 10 mm stane između paralelnih elemenata i uz svaki kosi element; preklop ≤ 3a
Mase	8, 8, 8, 4, 4 kg na razinama 1, 3, 5, 7, 9; šipka na L/3 u smjeru pobude, jednaki utezi; masa čvrsto pričvršćena za konstrukciju
Temeljna ploča	bez horizontalnog pomaka dna modela; bušenje dopušteno
Slobodno	sve ostalo — vrednuje se masom
Postupak	vaganje → vlastita frekvencija s masama (ručni impuls, izvan platforme) → mase se skidaju → platforma: POTRES 1 → POTRES 2; ispitivanje se nastavlja dok je sigurno
Oštećenje	trajni međukatni pomak θ: DS0 do 0,1 % (krov ≈ 1,6 mm), DS1 do 1 % (krov ≈ 16 mm), DS2 više. Nakon POTRESA 1 DS0, nakon POTRESA 2 najviše DS1 — inače eliminacija
Predaja	narudžba letvica — 4 tjedna prije; f_{pro}, geometrija modela i snimke zaslona — 7 dana prije; poster (PDF) — datum
Bodovi	M 50 + F 10 + D1 5 + A1 5 + D2 10 + A2 10 + P 10, prema mjestu u svakom kriteriju
Poster	A0 i izlaganje prema smjernicama; srednja ocjena Povjerenstva (0–10) određuje mjesto