

University  
of Ljubljana

Faculty of *Civil and  
Geodetic Engineering*

*Institute of Structural Engineering,  
Earthquake Engineering and  
Construction IT*



## **Eksperimentalne raziskave temeljnega sklopa konstrukcijskega sistema JUBHome BASE in priporočila za potresnoodporno projektiranje**

Naročnik:  
Št. naročnika:

JUB d.o.o.  
4100000811

Izvajalec:

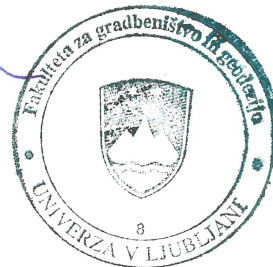
Univerza v Ljubljani, FGG, IKPIR

Vodja študije:

prof. dr. Matjaž Dolšek

Predstojnik IKPIRa:

prof. dr. Matej Fischinger



Ljubljana, 30. september 2015

## IZVAJALCI ŠTUDIJE

Vodenje študije: prof. dr. Matjaž Dolšek, univ. dipl. ing. grad.

Izvajalci: prof. dr. Matjaž Dolšek, univ. dipl. ing. grad.  
asist. dr. Jure Snoj, univ. dipl. ing. grad.  
Jure Žižmond, univ. dipl. ing. grad.

## VSEBINA

|                                                                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Povzetek</b>                                                                                              | <b>4</b>  |
| <b>2. Uvod</b>                                                                                                  | <b>6</b>  |
| <b>3. Zasnova preizkušancev in preizkuševališča</b>                                                             | <b>7</b>  |
| <b>4. Rezultati preiskav</b>                                                                                    | <b>12</b> |
| 4.1 Monotone preiskave zdrsa temeljnega sklopa                                                                  | 12        |
| 4.1.1 Prvi sklop – zdrs med HI in ploščo EPS400 (preizkušanca T1Z in T2Z)                                       | 13        |
| 4.1.2 Drugi sklop – zdrs med HI in prilepljeno ploščo EPS400 (preizkušanca T3Z in T4Z)                          | 15        |
| 4.1.3 Histereze zaradi zdrsa v temeljnem sklopu                                                                 | 17        |
| 4.2 Ciklične preiskave striga homogenega in sklopljenega EPSa                                                   | 19        |
| 4.2.1 Tretji sklop – nosilnost čepastega stika med ploščama EPS400 (2x15 cm) (preizkušanca T5S in T6S)          | 20        |
| 4.2.2 Četrty sklop – nosilnost čepastega stika med ploščama EPS300 (2x7 cm) (preizkušanca T7S in T8S)           | 22        |
| 4.2.3 Peti sklop – strižna nosilnost homogenega materiala EPS300 (1x14 cm) (preizkušanca T9S in T10S)           | 24        |
| 4.3 Preiskave tlačne trdnosti EPSa                                                                              | 26        |
| 4.3.1 Šesti sklop – tlačna trdnost temeljnega sklopa iz dveh plošč EPS400 (2x15 cm) (preizkušanca T11C in T12C) | 27        |
| 4.3.2 Sedmi sklop – tlačna trdnost homogenega materiala EPS400 (1x14 cm) (preizkušanca T13C in T14C)            | 29        |
| <b>5 Navodila za projektiranje: Omejitev razmerja med višino in širino objekta ter določitev mejnega zdrsa</b>  | <b>30</b> |
| 5.1 Omejitev razmerja med višino in širino objekta                                                              | 30        |
| 5.2 Račun mejnega zdrsa                                                                                         | 32        |
| 5.2.1 Definicija sprejemljive zanesljivosti za dosego kriterija po omejitvi poškodb in kriterija po neporušitvi | 33        |
| 5.2.2 Verjetnostna analiza potresnih zahtev v smislu zdrsa objekta                                              | 34        |
| <b>6 VIRI</b>                                                                                                   | <b>50</b> |

## 1. POVZETEK

V poročilu so predstavljeni rezultati preiskav temeljnega sklopa JUBHome BASE. Podane so tudi omejitve in ukrepi pri gradnji s katerimi zadostimo osnovnim zahtevam standarda EN 1998-1. Rezultati študije se nanašajo na objekte do dveh etaž (pritličje, nadstropje) nad katerimi je lahko še mansarda.

Kapaciteto temeljnega sklopa na potresno obtežbo smo ugotovili z eksperimentalnimi rezultati. Izkaže se, da je kritično mesto za zdrs objekta stik med hidroizolacijo in toplotno izolacijo. V primeru prosto položene toplotne izolacije znaša minimalni izmerjen koeficient lepenja 0.61, v primeru toplotne izolacije lepljene s Hidrozolom pa se minimalna vrednost koeficienta lepenja zviša na 0.96. Te vrednosti smo uporabili pri verjetnostni analizi potresnih zahtev, pri čemer smo zdrs modelirali z elasto-plastičnim histereznim pravilom, ki se dobro ujema z rezultati eksperimentov.

Nosilnost čepastega stika je bila pri enakih pogojih obremenjevanja vedno bistveno večja od nosilnosti na zdrs (vsaj za faktor 1.8 v primeru stika lepljenega s Hidrozolom oziroma za faktor 3.1 v primeru prosto položene toplotne izolacije). Strižna nosilnost enoslojne toplotne izolacije je bila za faktor 2 večja od dvoslojne toplotne izolacije stikovane s čepastim stikom, kar je približno enako razmerju površine homogenega materiala in efektivne površine čepastega stika. Izkazalo se je, da stikovanje toplotne izolacije s čepastim stikom praktično nima vpliva na tlačno trdnost temeljnega sklopa, saj smo v primeru enoslojne in dvoslojne toplotne izolacije dobili skoraj identične rezultate. Izmerjene tlačne trdnosti EPSa so v vseh primerih znašale več kot nominalna tlačna trdnost.

Pri razvoju navodil za zagotovitev ustrezne varnosti proti zdrs u smo izhajali iz primerne zanesljivosti, ki smo jo definirali z verjetnostjo prekoračitve mejnega stanja v dobi enega leta. Izkaže še, da je zahteva po omejitvi poškodb zaradi pojava zdrsa vedno izpolnjena, saj znaša povprečna vrednost za pojav zdrsa v dobi enega leta približno 0.1 %, maksimalna izračunana verjetnost za pojav zdrsa pa ni nikoli prekoračila sprejemljive zanesljivosti (1 % na leto), ki smo jo ocenili na osnovi zahtev standarda EN 1998-1. Zaradi tega kontrola po omejitvi poškodb zaradi zdrsa ni potrebna.

Za zadostitev zahteve po neporušitvi, ki je v standard EN 1998-1 vpeljana z namenom zaščite človeških življenj, predlagamo dva ukrepa. Prvi ukrep se nanaša na omejitev razmerja med višino in krajšo stranico tlorisa. Ta ukrep temelji na enostavni kontroli prevrnitve objekta, in je nekoliko strožji od kontrole tlačnih napetosti pod temeljno ploščo. Projektant lahko to kontrolo izvede na osnovi podatka o tipu tal, kategorije pomembnosti objekta in referenčnega pospeška tal za povratno dobo potresa 475 let (10 % v 50 letih). Drugi ukrep predvideva izvedbo kritičnih inštalacij, ki potencialno ogrožajo človeška življenja (npr. elektrika, plin), na način, da v primeru pojava mejnega zdrsa niso ogrožena človeška življenja. Mejni zdrs je zdrs (merjen le v eni smeri), ki se pojavi z letno verjetnostjo nastopa  $5 \cdot 10^{-5}$  (0.005 % na leto,

0.25 % v 50 letih). Potrebno je zagotoviti, da se omogoči drsenje objekta v vse smeri do velikosti mejnega zdrsa, ne da bi odpoved kritičnih inštalacij predstavljala grožnjo za izgubo človeških življenj. Mejni zdrs je določen na osnovi verjetnostne analize potresnih zahtev in je predstavljen v obliki preglednic in grafov v odvisnosti od nihajnega časa sistema ter elastičnega spektralnega pospeška, ki ustreza povratni dobi 475 let. Predlagamo tudi model mejnega zdrsa, po katerem lahko projektant enostavno določi vrednost mejnega zdrsa.

## 2. UVOD

Podjetje JUBHome d.o.o. je razvilo energijsko varčen sistem temeljenja JUBHome BASE. Sestava temeljnega sklopa obsega podložni beton, hidroizolacijo, toplotno izolacijo in temeljno ploščo. Toplotna izolacija se lahko izvede v dveh slojih, ki sta med seboj povezana s čepastim stikom. Običajno je toplotna izolacija prosto položena na hidroizolacijo, kar omogoča enostavno gradnjo. V posebnih primerih, se lahko toplotna izolacija tudi prilepi na hidroizolacijo. Ker način temeljenja objektov po sistemu JUBHome BASE ni predviden v predpisih za potresnoodporno gradnjo, je potrebno razviti navodila za projektiranje, s čimer bi zadostili osnovnim zahtevam standarda EN 1998-1.

Razvoj navodil za potresnoodporno projektiranje objektov mora obsegati tako eksperimentalne kot tudi numerične raziskave z namenom, da bi s postopki projektiranja objektov zadostili osnovni zahtevi po omejitvi poškodb in osnovni zahtevi po neporušitvi objekta. Obe osnovni zahtevi morata biti izpolnjeni z določeno stopnjo zanesljivosti, ki pa jo standard EN 1998-1 ne predpisuje.

V okviru študije smo zasnovali več preizkušancev temeljnega sklopa JUBHome BASE. Z monotonimi in cikličnimi preiskavami smo ugotavljali kapaciteto temeljnega sklopa na horizontalno obtežbo, kapaciteto čepastega stika med slojema toplotne izolacije ter tlačno in strižno kapaciteto EPSa. V poročilu je najprej predstavljena zasnova preizkušancev in preizkuševališča. V poglavju 4 so nato predstavljeni rezultati preiskav zdrsa temeljnega sklopa in koeficienti lepenja za primer, ko je toplotna izolacije prosto položena ali lepljena na hidroizolacijo s Hidrozolom. Predstavljeni so tudi rezultati preiskav kapacitete čepastega stika med slojema toplotne izolacije ter rezultati preizkusov homogenega materiala.

V zadnjem poglavju 5 so predlagana navodila za potresnoodporno projektiranje temeljnega sklopa JUBHome BASE. Predlagana je omejitev višine objekta v odvisnosti od dolžine krajše stranice tlorisa objekta. Sledi še predstavitev verjetnostne analize potresnih zahtev s katero smo izračunali verjetnost za pojav zdrsa v temeljnem sklopu ter mejne zdrs, ki ustrezajo sprejemljivi zanesljivosti. Na koncu predlagamo še model za izračun mejnega zdrsa, ki je odvisen od nihajnega časa objekta, koeficienta lepenja za stik med toplotno izolacijo in hidroizolacijo ter pospeška iz elastičnega spektra pospeškov po EN 1998-1.

### 3. ZASNOVA PREIZKUŠANCEV IN PREIZKUŠEVALIŠČA

Sestavni del sistema gradnje JUBHome BASE vključuje toplotno izolacijo EPS (ekspandirani polistiren) pod temeljno ploščo objekta, ki jo je potrebno zaščititi pred vlago. Takšen način gradnje ni predviden v predpisih za potresnoodporno projektiranje objektov, zato je bilo potrebno določiti kapaciteto temeljnega sklopa JUBHome BASE. Poleg tega je bil cilj preiskave ovrednotiti strižno in tlačno nosilnost homogenega sloja EPSa oziroma dvoslojnega EPSa, kjer sta sloja med seboj povezana s čepastim stikom. Opisani cilji so narekovali zasnovo preizkusov za ugotavljanje koeficienta lepenja in zdrsa ter strižne in tlačne nosilnosti temeljnega sklopa.

Pri zasnovi preizkušancev temeljnega sklopa JUBHome BASE smo upoštevali naslednje omejitve:

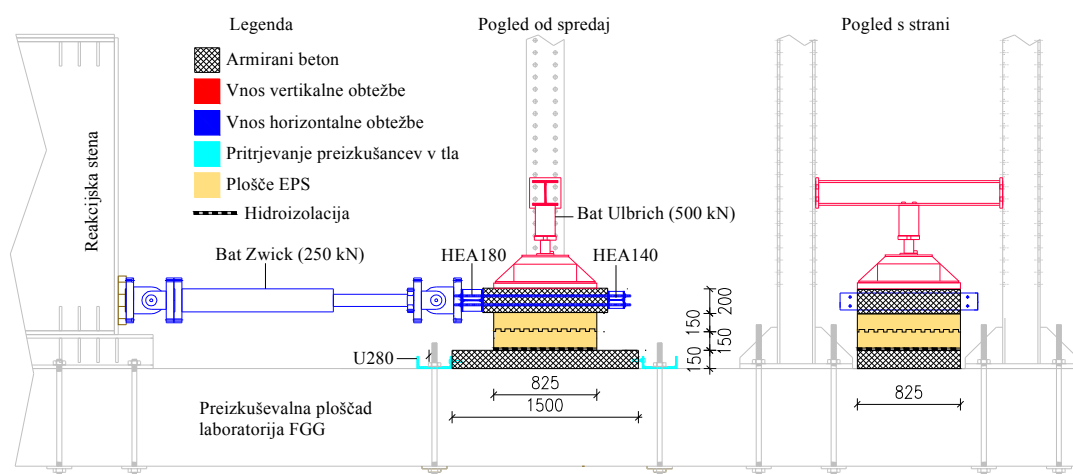
- Rezanje plošč EPS je omejeno na dolžine plošče  $l = 120 \text{ cm} - a \cdot 7.5 \text{ cm}$  oziroma širine  $\bar{s} = 90 \text{ cm} - b \cdot 7.5 \text{ cm}$ , kjer sta  $a$  in  $b$  mnogokratnika razdalje med čepi.
- Zaradi velikega števila preizkušancev smo se odločili, da v tla sidramo jeklena profila U280, med katera se potem pritrdi vsak preizkušanec. Raster lukenj v temeljni plošči preizkuševališča v laboratoriju FGG ( $60 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$ ) ter razdalja med pomožnima stebroma za vnos vertikalne obtežbe ( $90 \text{ cm}$ ), sta določali tlorisne dimenzije spodnje AB plošče preizkušanca.
- Največja obtežba, ki jo lahko ciklično vsiljuje hidravlični bat v laboratoriju FGG je  $250 \text{ kN}$ , zato je bilo potrebno določiti takšne dimenzije preizkušanca, da bo v njem prišlo do porušitve pri manjši sili v bat. Maksimalni hod bata je  $\pm 20 \text{ cm}$  glede na ravnotežno lego, kar dodatno določa dimenzije pomožne konstrukcije za raznos obtežbe iz bata v preizkušanec. Najnižja višina, na kateri lahko deluje bat je  $55 \text{ cm}$  od tal, kar je določalo višini spodnje in zgornje AB plošče.
- Preveriti je bilo potrebno vpliv enega oziroma dveh slojev toplotne izolacije (enoslojni EPS debeline  $14 \text{ cm}$ , dvoslojni EPS debeline  $2 \times 15 \text{ cm}$  in  $2 \times 7 \text{ cm}$ ) ter vpliv nazivne tlačne trdnosti EPS ( $300 \text{ kPa}$  oziroma  $400 \text{ kPa}$ ) na obnašanje temeljnega sklopa v strigu in tlaku.

Na podlagi navedenih omejitev in zahtev smo izbrali dimenzije preizkušancev:

- Spodnja AB plošča preizkušanca, ki pod dejanskim objektom predstavlja podložni beton, ima dimenzije  $l/\bar{s}/h$  bodisi  $150 / 82.5 / 15 \text{ cm}$  bodisi  $150 / 82.5 / 31 \text{ cm}$ . Odvisne so od debeline toplotne izolacije in pogojene z najnižjo pozicijo bata.
- Spodnja in zgornja plošča EPS oziroma enoslojni EPS imajo tlorisne dimenzije  $l/\bar{s}$  bodisi enake  $82.5 / 82.5 \text{ cm}$  pri strižnih preizkusih bodisi  $60 / 60 \text{ cm}$  pri tlačnih preizkusih. Tlorisne dimenzije plošč EPS, ki so sestavni del preizkušanca, so pogojene predvsem s kapaciteto bata.
- Zgornja AB plošča preizkušanca, ki pod dejanskim objektom predstavlja temeljno ploščo, ima dimenzije  $l/\bar{s}/h$   $100 / 82.5 / 20 \text{ cm}$ , ki so pogojene z najnižjo pozicijo bata in s sistemom za raznos horizontalne obtežbe v preizkušanec.

V preglednici 3.1 je podan spisek preizkušancev, s katerimi smo preverili obnašanje temeljnega sklopa JUBHome BASE v strigu, tlaku in pri zdrsu. Preizkušanci so razdeljeni v 7 sklopov, obnašanje vsakega sklopa pa smo preverili z dvema enakima preizkušancema. Toplotno izolacijo predstavljajo plošče EPS z različno nazivno tlačno trdnostjo (EPS300 ali EPS 400). Izolacija je bodisi v enem – homogenem sloju bodisi v dveh slojih pri čemer sta sloja povezana s čepastim stikom. Iz preglednice je razvidno, kakšen je stik med obema slojema izolacije, dodatno pa so navedene še oznake vseh preizkušancev ter debelina spodnje AB plošče, ki v resnici predstavlja podložni beton. Slednja se pri preizkušancih spreminja zaradi upoštevanja dodatne omejitve preizkuševališča FGG, to je najnižje možne horizontalne lege bata.

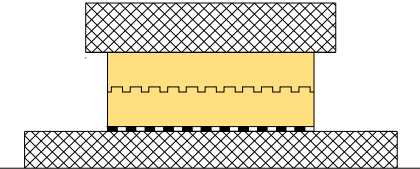
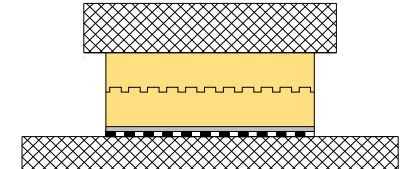
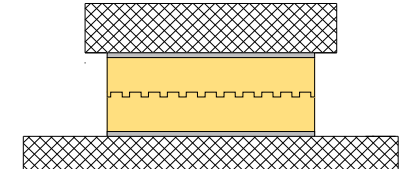
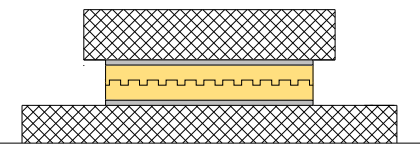
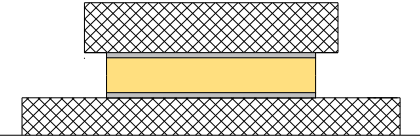
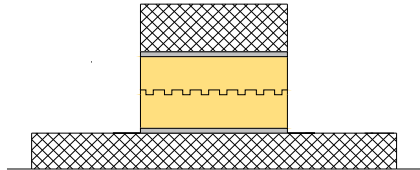
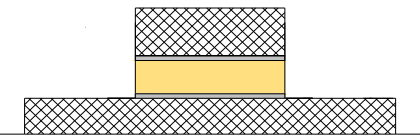
Temeljni sklopi so bili preiskani na preizkuševališču FGG, ki je shematično prikazano na sliki 3.1. Preizkušance smo obremenili s ciklično spreminjajočo se vodoravno obtežbo, ki je delovala v višini zgornje AB plošče preizkušanca, in/ali z vertikalno obtežbo. V preizkuševalno ploščad smo z ustrezno silo vpeli dva jeklena profila U280, med katera smo pritrdili spodnjo AB ploščo preizkušanca, ki smo ji tako preprečili zdrse in zasuke. Navpično obtežbo smo v preizkušanelec vnašali z batom znamke Ulbrich zmogljivosti 500 kN, ki je bil pritrdjen na jekleno okvirno konstrukcijo. Za raznos koncentrirane navpične obtežbe sta bila pod bat vstavljena jeklena elementa (glej sliki 3.1 in 3.5), za zmanjšanje trenja pa so bila med jeklena elementa in zgornjo AB ploščo preizkušanca vstavljena valjčna ležišča. Navpično silo v batu smo med preiskavo krmilili ročno, tako da je bila med celotnim preizkusom čim bolj konstantna. Glede na to, da se bo sistem JUBHome BASE uporabil za gradnjo enostanovanjskih objektov (npr. P+1+M), smo za vertikalno napetost pod temeljno ploščo upoštevali 50 kPa, kolikor približno znaša povprečna napetost pod takšnimi objekti. Zaradi ugotavljanja vpliva negotovosti, smo v nekaterih primerih vertikalno napetost povečali na 100 kPa.



Slika 3.1: Shema preizkuševališča FGG.



Preglednica 3.1: Spisek preizkušancev za preverjanje obnašanja temeljnega sklopa JUBHome BASE.

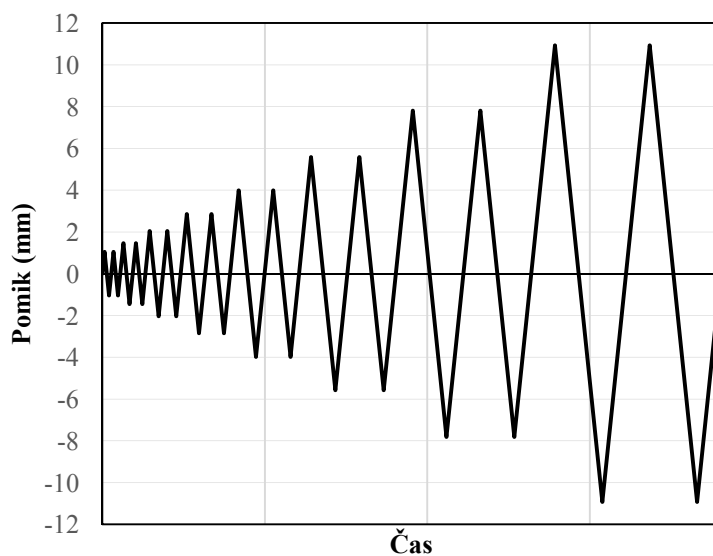
| Tip preizkusa            | Sklop | Oznaka preizkušancev | $\sigma_{10}$ EPS (kPa) | Toplotna izolacija $h_{EPS}$ (cm), tip stika | $h_{spodnjaAB}$ (cm) | Vezni sloj                                                                                                | Shematični prikaz temeljnega sklopa                                                   |
|--------------------------|-------|----------------------|-------------------------|----------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Zdrs                     | 1     | T1Z in T2Z           | 400                     | 2 x 15<br>čepast                             | 15                   | zgoraj: AB plošča kontaktno betonirana na TI<br>spodaj: varjena bitumenska HI 4mm, prosto položena TI     |    |
|                          | 2     | T3Z in T4Z           | 400                     | 2 x 15<br>čepast                             | 15                   | zgoraj: AB plošča kontaktno betonirana na TI<br>spodaj: varjena bitumenska HI 4mm, lepljena TI - Hidrozol |    |
| Strig<br>(ciklični test) | 3     | T5S in T6S           | 400                     | 2 x 15<br>čepast                             | 15                   | zgoraj: lepljeno z epoksi lepilom SikaForce<br>spodaj: lepljeno z epoksi lepilom SikaForce                |    |
|                          | 4     | T7S in T8S           | 300                     | 2 x 7<br>čepast                              | 31                   | zgoraj: lepljeno z epoksi lepilom SikaForce<br>spodaj: lepljeno z epoksi lepilom SikaForce                |    |
|                          | 5     | T9S in T10S          | 300                     | 14<br>čepast                                 | 31                   | zgoraj: lepljeno z epoksi lepilom SikaForce<br>spodaj: lepljeno z epoksi lepilom SikaForce                |   |
| Tlak<br>(ciklični test)  | 6     | T11C in T12C         | 400                     | 2 x 15<br>čepast                             | 15                   | zgoraj: lepljeno z epoksi lepilom SikaForce<br>spodaj: lepljeno z epoksi lepilom SikaForce                |  |
|                          | 7     | T13C in T14C         | 400                     | 14<br>čepast                                 | 31                   | zgoraj: lepljeno z epoksi lepilom SikaForce<br>spodaj: lepljeno z epoksi lepilom SikaForce                |  |

Ciklično vodoravno obtežbo v obliki programiranih pomikov smo vnašali z dvosmerno delujočim programskim hidravličnim batom znamke Zwick zmogljivosti 250 kN, ki smo ga členkasto pritrdili na reakcijsko steno. Sila se je iz bata v zgornjo AB ploščo prenašala preko sistema ojačenih jeklenih profilov HEA180 in HEA140, ki sta bila med seboj vijadena oziroma povezana s prednapetimi jeklenimi palicami. Na ta način je bilo preizkušance mogoče »potisniti« in »vleči« v horizontalni smeri.

Amplitudo vsiljenih pomikov in število ciklov smo določili skladno s priporočili FEMA 461 (FEMA, 2007). Izhodiščni pomik je predstavljal pomik 30 mm, pri katerem smo pričakovali močne poškodbe. Manjše amplitude pomikov smo izračunali tako, da smo predhodno amplitudo pomika delili s faktorjem 1.4, večje amplitude pomikov pa smo določili z inkrementom 1.3. Amplitudo smo povečevali po fazah, navedenih v preglednici 3.2, vse dokler v temeljnem sklopu ni prišlo do porušitve. V vsaki fazi smo obremenjevanje pri enaki amplitudi dvakrat ponovili, shema programa obremenjevanja pa je prikazana na sliki 3.2.

Preglednica 3.2: Amplitude programiranih pomikov v posameznih fazah obremenjevanja temeljnih sklopov.

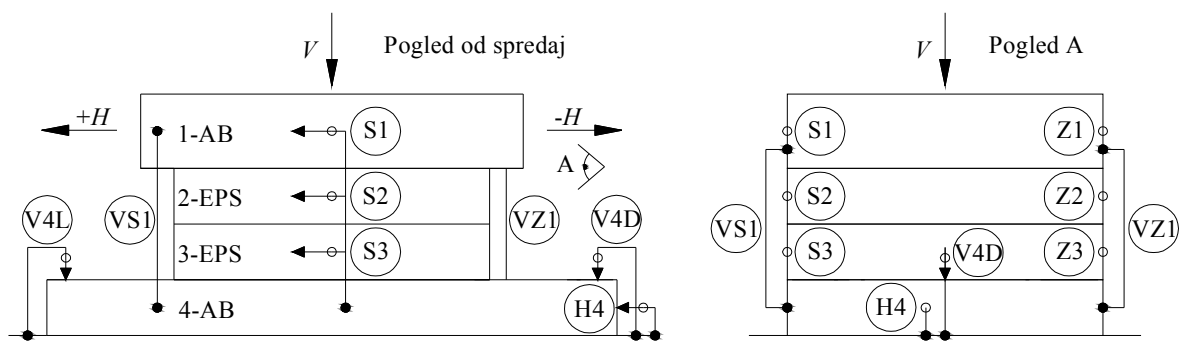
| Faza       | 1    | 2    | 3    | 4           | 5    | 6    | 7    |
|------------|------|------|------|-------------|------|------|------|
| Pomik (mm) | 1.0  | 1.4  | 2.0  | 2.8         | 4    | 5.6  | 7.8  |
| Faza       | 8    | 9    | 10   | 11          | 12   | 13   | 14   |
| Pomik (mm) | 10.9 | 15.3 | 21.4 | <b>30.0</b> | 39.0 | 48.0 | 57.0 |



Slika 3.2: Shema poteka in povečevanja amplitud vsiljenih vodoravnih pomikov. Pri vsaki amplitudi, smo v temeljni sklop vsilili dva cikla pomikov.

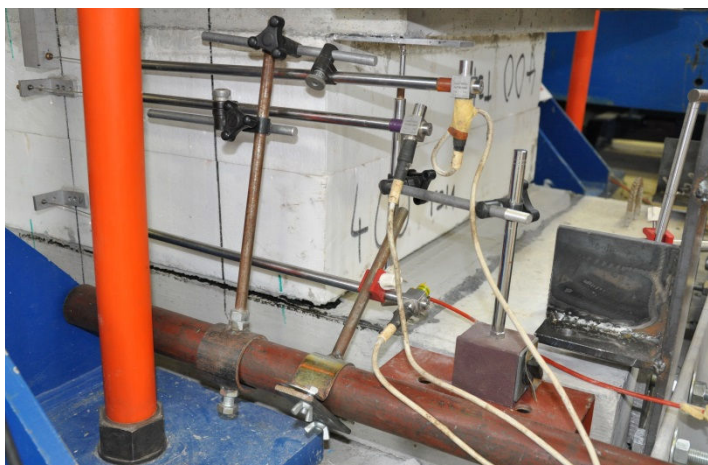
Meritve pomikov in sil smo izvajali v horizontalni in vertikalni smeri, kot je shematično prikazano na sliki 3.3. Sile smo merili v dveh točkah in sicer v batu na višini zgornje AB plošče preizkušance ter na sredini zgornje AB plošče preizkušancev v tlorisu (oznaki *H* in *V* na sliki 3.3). Pomike smo merili z induktivnimi merilniki pomikov. Z merilniki S1-S3 oziroma Z1-Z3 smo merili relativne pomike na sredini zgornje AB plošče (1), zgornje plošče EPS (2) in spodnje plošče EPS (3) relativno glede na spodnjo AB ploščo (4) na sprednji (S)

oziroma zadnji (Z) strani preizkušanca. Z merilnikom H4 smo merili morebitne zdrse spodnje AB plošče (4) po preizkuševalni ploščadi, z merilnikoma V4L in V4D pa navpični odklik spodnje AB plošče (4) od tal. Z merilnikoma VS1 in VZ1 smo merili relativni vertikalni pomik robov zgornje AB plošče (1) glede na spodnjo AB ploščo (4).



Slika 3.3: Shematski prikaz postavitev merilnih mest – pogled od spredaj in s strani.

Med preiskavo smo vizualno opazovali nastanek in širjenje poškodb, ki smo jih v vsaki fazi grafično registrirali in fotografirali. Merilna mesta S1-S3 ter izgled preizkušanca T4Z med preiskavo so prikazani na slikah 3.4 in 3.5.



Slika 3.4: Postavitev merilnih mest – pogled od spredaj.



Slika 3.5: Preizkuševališče za monotone in ciklične strižne preizkuse temeljnega sklopa JUBHome BASE.

## 4. REZULTATI PREISKAV

### 4.1 Monotone preiskave zdrs temeljnega sklopa

Pri monotoni preiskavi zdrs v temeljnih sklopih smo želeli določiti koeficiente lepenja in trenja med toplotno izolacijo (plošče EPS) in hidroizolacijo (varjena bitumenska), ki se bosta najpogosteje uporabljali pri gradnji hiš JUBHome BASE. V primeru preizkušancev T1Z in T2Z je bila toplotna izolacija prosto položena na hidroizolacijo, v primeru preizkušancev T3Z in T4Z pa je bila prilepljena z lepilom Hidrozol. Pri vseh preizkušancih je pričakovano prišlo do porušitve stika med toplotno izolacijo in hidroizolacijo, ko je bila presežena sila lepenja, pri večjih pomikih pa je prišlo do drsenja na omenjenem stiku.

V poglavjih 4.1.1 – 4.1.3 so rezultati iz eksperimentov izraženi s strižnimi napetostmi  $\tau$ , tlačnimi napetostmi  $\sigma$  ter z strižnimi deformacijami  $\gamma$ . Tlačna napetost v preizkušancu je definirana z enačbo 4.1:

$$\sigma = \frac{F_v}{A} \quad (4.1)$$

kjer je  $A$  enak bruto površini plošč EPS,  $F_v$  pa je osna sila na stiku toplotne izolacije in hidroizolacije, v kateri je zajet prispevek osne sile v vertikalnem batu ( $F_{bv}$ ), jeklenih elementov za raznos vertikalne obtežbe (3.7 kN) ter zgornje AB plošče (3.9 kN). Eksperimente smo izvedli pri dveh stopnjah tlačne napetosti v ploščah EPS,  $\sigma = 50$  kPa ter  $\sigma = 100$  kPa.

Strižno napetost  $\tau$  smo definirali z razmerjem med horizontalno silo v batu  $F_b$  in površino tlorisa plošč EPS  $A$  (0.68 m<sup>2</sup>).

$$\tau = \frac{F_b}{A} \quad (4.2)$$

Strižno deformacijo  $\gamma$  zaradi zdrs ter deformacije toplotne izolacije smo definirali z razmerjem med horizontalnim pomikom zgornje plošče  $u_b$  in višino toplotne izolacije  $h_{EPS}$ .

$$\gamma = \frac{u_b}{h_{EPS}} \quad (4.3)$$

Na podlagi začetnih ciklov smo določili tudi sekantno togost sklopa  $K_{30}$ , ki je bila izračunana pri pomiku, ki ga povzroči sila  $F = 0.3F_{max}$ . Temeljni sklopi so bili namreč do omenjenega pomika praktično nepoškodovani. Togost temeljnega sklopa smo izrazili na enoto površine toplotne izolacije pod temeljno ploščo, zato ima enoto kN/m/m<sup>2</sup>.

$$K_{30} = \frac{F_{30}}{A} = \frac{0.3 \cdot F_{\max}}{u(F = 0.3 \cdot F_{\max})} \quad (4.4)$$

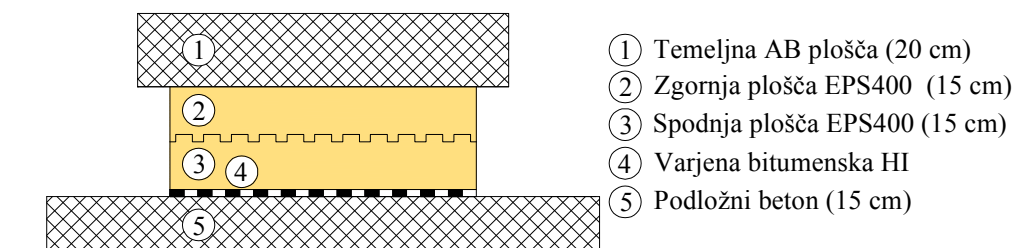
Na podlagi zgornjih izrazov lahko definiramo koeficient zdrs  $k$  kot razmerje med strižnimi in normalnimi napetostmi na stiku toplotne izolacije in hidroizolacije.

$$k = \frac{\tau}{\sigma} \quad (4.5)$$

Tisto vrednost koeficienta zdrs, pri kateri se toplotna izolacija odlepi od hidroizolacije, imenujemo koeficient lepenja  $k_l$ . Na grafu odnosa med strižno napetostjo in strižno deformacijo se običajno to vidi z močno spremembo naklona v grafu strižne napetosti, dodatno pa smo ob tem dogodku zaznali izenačitev hitrosti premikanja vseh slojev toplotne izolacije ter zgornje AB plošče. Koeficient trenja smo definirali kot minimalno vrednost koeficienta zdrs po trenutku, ko se plošča EPS odlepi od hidroizolacije. V večini primerov se to vidi pri večjih pomikih, ko strižne napetosti ne naraščajo več kljub povečevanju strižnih deformacij. V tem trenutku celoten temeljni sklop enakomerno drsi na stiku toplotne in hidroizolacije, pri čemer sta v ravnotežju sila trenja in sila v batu.

#### 4.1.1 Prvi sklop – zdrs med HI in ploščo EPS400 (preizkušanca T1Z in T2Z)

Preizkušanca sta bila sestavljena iz dveh medsebojno čepasto stikovanih plošč EPS debeline 15 cm z nazivno tlačno trdnostjo 400 kPa. Spodnja plošča EPS je bila prosto položena na bitumensko hidroizolacijo, ki je bila privarjena na podložni beton. Nad zgornjo ploščo EPS je bila kontaktno zabetonirana temeljna AB plošča (Slika 4.1).

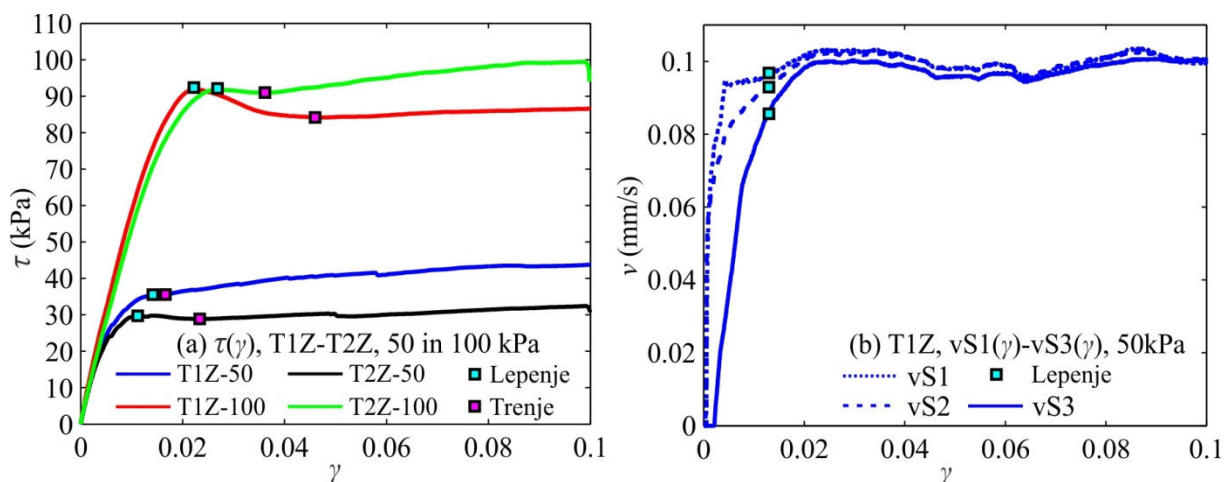


Slika 4.1: Skica prvega konstrukcijskega sklopa – zdrs v temeljnem sklopu.

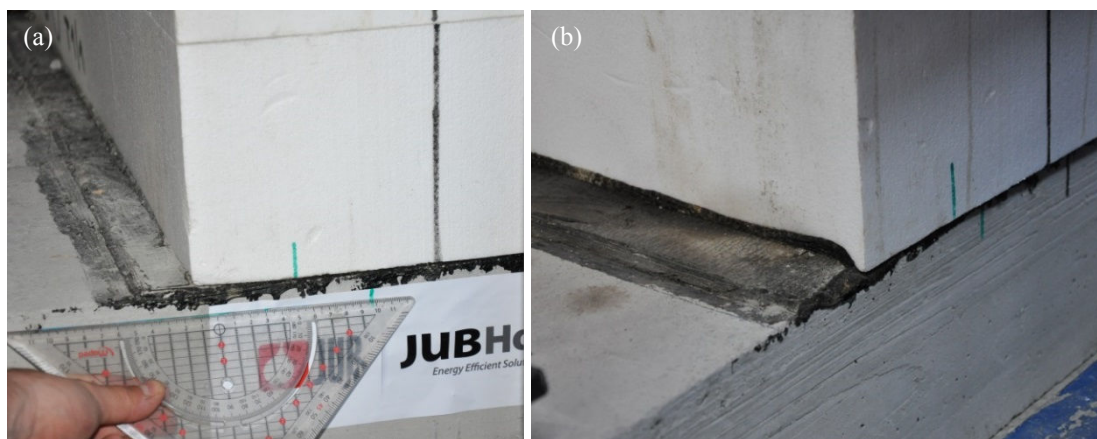
Na sliki 4.2a prikazujemo izmerjen odziv preizkušancev T1Z in T2Z pri dveh stopnjah vertikalne obremenitve izražen z odnosom med strižno napetostjo  $\tau$  in strižno deformacijo  $\gamma$ . Vsak od preizkušancev je bil najprej potisnjen v eno smer pri vertikalni obremenitvi 50 kPa, nato pa še v drugo smer pri vertikalni obremenitvi 100 kPa. Ko je bila presežena sila lepenja, je pri obeh preizkušancih prišlo do zdrs na stiku med bitumensko hidroizolacijo in spodnjo ploščo EPS, kar se na krivuljah vidi v močni spremembi naklona (slika 4.3a). Dodatno je zdrs razviden tudi na grafu hitrosti (odvod pomikov po času, slika 4.2b), saj so po zdrs hitrosti



premikanja slojev 1, 2 in 3 skoraj enake, kar pomeni, da je drsenje v vseh slojih približno enako. Pri nadaljnjem povečevanju vsiljenih pomikov smo pričakovali, da bo sila v preizkušancu ostala enaka oziroma bo malenkostno upadla, saj se po zdrsu začne enakomerno drsenje preizkušanca, ko premaguje konstantno silo trenja. To se je zgodilo le v primerih T1Z-100 in T2Z-50, pri T1Z-50 in T2Z-100 pa je prišlo do »utrjevanja«, saj je sila tudi po zdrsu nekoliko naraščala. Razlog za omenjeno obnašanje je vtiskanje spodnje plošče EPS v hidroizolacijo, ki se je posledično močno nagubala (Slika 4.3b), ter tako oteževala drsenje.



Slika 4.2: (a) Odziv preizkušancev T1Z in T2Z pri tlačni napetosti 50 in 100 kPa, pri katerih je prišlo do zdrsa na stiku med spodnjo ploščo EPS in hidroizolacijo ter (b) graf hitrosti gibanja plasti 1-3 preizkušanca T1Z (50 kPa) v odvisnosti od strižne deformacije, na katerem je razvidno kdaj se spodnja plošča EPS odlepi od hidroizolacije.



Slika 4.3: (a) Zdrs na stiku spodnje plošče EPS in bitumenske HI ter (b) nagubanje bitumenske HI kot posledica vtiskanja spodnje plošče EPS, kar je povzročilo povečanje strižnih napetosti v preizkušancu po zdrsu.

V preglednici 4.1 so prikazani koeficienti lepenja in trenja med varjeno bitumensko hidroizolacijo in ploščo EPS, ki je nanjo prosto položena. Strižna napetost  $\tau_{lepenja}$  je napetost pri kateri je prišlo do zdrsa, napetost  $\tau_{trenja}$  pa je bila določena kot minimalna napetost po zdrsu. Pri tem smo torej zanemarili »utrjevanje« zaradi vtiskanja plošče EPS, ki je bilo še bolj izrazito pri večji vertikalni obremenitvi, kar se odraža tudi v večjih vrednostih koeficientov trenja in lepenja. Zaradi majhnega števila preizkušancev smo za merodajne vrednosti privzeli minimalne vrednosti koeficientov lepenja in trenja. Za bolj točno oceno na osnovi statistične

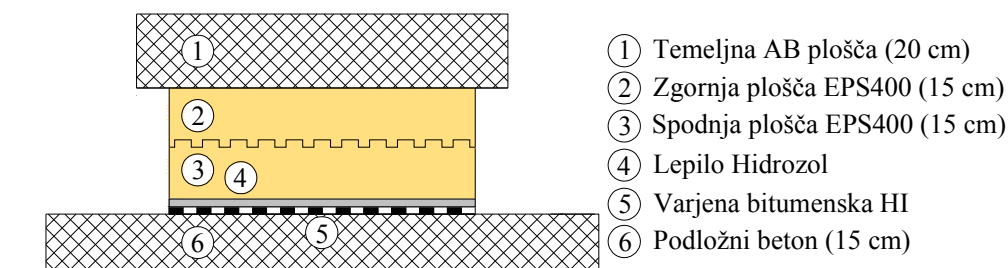
obdelave podatkov bi bilo potrebno narediti večje število eksperimentov. Pri tlačni napetosti 50 kPa je v preizkušancih do odlepljenja na stiku med spodnjo ploščo EPS in hidroizolacijo prišlo pri strižni deformaciji okrog 1.3 %, pri tlačni napetosti 100 kPa pa pri strižni deformaciji okrog 2.5 %. Togost obravnavanega konstrukcijskega sklopa je približno 21000 kN/m/m<sup>2</sup>. Ko smo preizkušane porinili v drugo smer pri večji stopnji tlačne obremenitve, ni bilo videti bistvenega upada togosti, kljub že poškodovanem stiku.

Preglednica 4.1: Koeficienti lepenja in trenja pri vertikalnih obremenitvah 50 in 100 kPa ter togost konstrukcijskega sklopa.

| Vertikalna napetost $\sigma$ (kPa) | Preizkušanec | $K_{30}$ (kN/m/m <sup>2</sup> ) | $\gamma_{lepenja}$ (%) | $\tau_{lepenja}$ (kPa) | $\tau_{trenja}$ (kPa) | $k_l$ | $k_t$ |
|------------------------------------|--------------|---------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-------|-------|
| 50                                 | T1Z          | 21500                           | 1.4                    | 35                     | 35                    | 0.71  | 0.71  |
| 50                                 | T2Z          | 20100                           | 1.2                    | 30                     | 29                    | 0.61  | 0.58  |
| 100                                | T1Z          | 21800                           | 2.4                    | 92                     | 84                    | 0.92  | 0.84  |
| 100                                | T2Z          | 19100                           | 2.6                    | 92                     | 91                    | 0.92  | 0.91  |
| Minimum                            |              |                                 |                        |                        |                       | 0.61  | 0.58  |

#### 4.1.2 Drugi sklop – zdrs med HI in prilepljeno ploščo EPS400 (preizkušanca T3Z in T4Z)

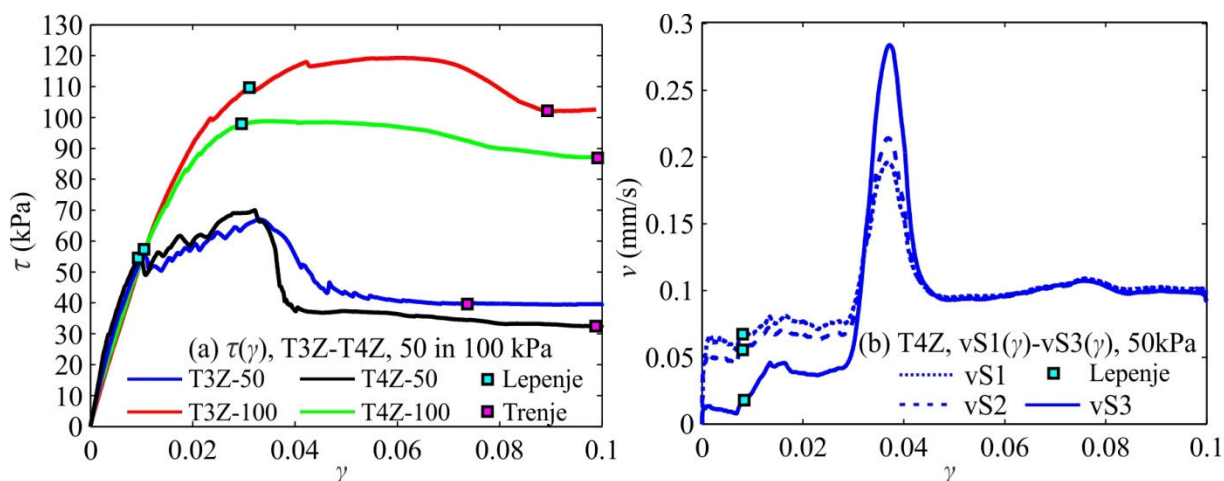
Drugi konstrukcijski sklop temeljnega sistema JUBHome BASE sta sestavljali dve čepasto stikovani plošči EPS debeline 15 cm z nazivno tlačno trdnostjo 400 kPa. Spodnja plošča EPS je bila z lepilom JUB Hidrozol prilepljena na bitumensko hidroizolacijo, ki je bila varjena na podložni beton. Namen takšne gradnje je izboljšati horizontalno nosilnost stika med toplotno izolacijo in hidroizolacijo ter tako povečati koeficient lepenja. Nad zgornjo ploščo EPS je bila kontaktno zabetonirana temeljna AB plošča (Slika 4.4).



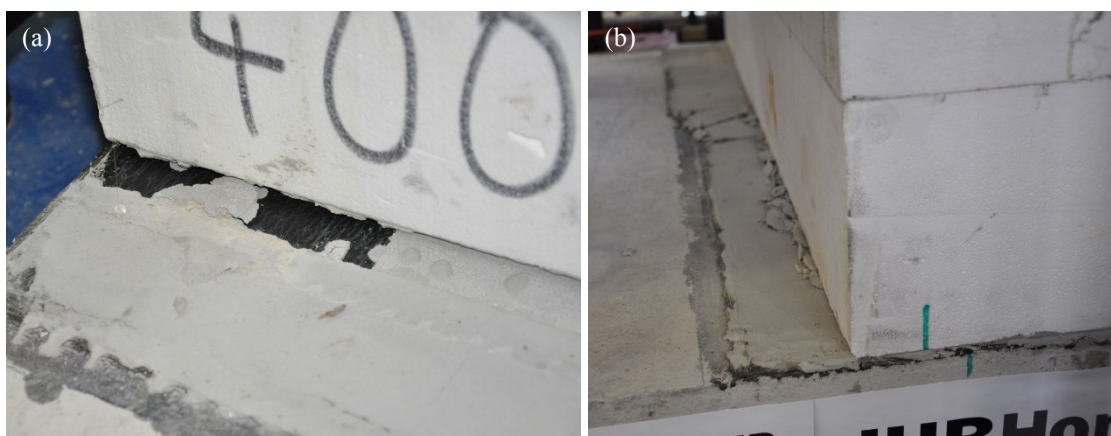
Slika 4.4: Skica drugega konstrukcijskega sklopa – zdrs v temeljnem sklopu.

Na sliki 4.5a prikazujemo odnos med strižno napetostjo in strižno deformacijo v temeljnem sklopu preizkušancev T3Z in T4Z pri dveh stopnjah vertikalne obremenitve. Vsak od preizkušancev je bil najprej potisnjen v eno smer pri vertikalni obremenitvi 50 kPa, nato pa še v drugo smer pri vertikalni obremenitvi 100 kPa. Pri obeh preizkušancih je prišlo do zdrsa na stiku med bitumensko hidroizolacijo in prilepljeno spodnjo ploščo EPS (slika 4.6a), ko je bila presežena sila lepenja približno pri strižni deformaciji 1 % ( $\sigma = 50$  kPa). Na krivuljah se to vidi v močni spremembi naklona. Silo lepenja je v tem primeru težje določiti na osnovi hitrosti premikanja slojev preizkušanca (slika 4.5b). Pri nadaljnjem povečevanju vsiljenih

pomikov je sila v batu tudi po zdrsu še naraščala. To je ponovno posledica vtiskanja plošče EPS in pretrganih koščkov lepila v bitumensko hidroizolacijo, ta efekt pa je bil še bolj izrazit, kot pri prvem sklopu preizkušancev (Slika 4.6b). Približno pri strižni deformaciji 3 % je strižna napetost v preizkušancih T3Z in T4Z hitro upadla na vrednost 39.6 kPa oziroma 32.4 kPa, kar znaša nekoliko več kot v primeru preizkušancev T1Z in T2Z, ko so bile strižne napetosti med drsenjem 35.3 kPa oziroma 28.9 kPa. V tem trenutku dokončno popusti stik, kar se je odrazilo tudi v izrazitem povečanju hitrosti gibanja vseh plasti. Kasneje se hitrost gibanja vseh plasti izenači in ustali na 0.1 mm/s, strižna napetost pa upade na nižji nivo, kjer smo konzervativno določili silo trenja v poškodovanem sklopu. Pri lepljenem stiku med toplotno in hidroizolacijo je spet mogoče opaziti, da pri večji tlačni napetosti v preizkušancu do odlepljenja pride pri večjih deformacijah (približno 3 %), kar je tudi več kot v primeru nelepljenega stika (T1Z in T2Z).



Slika 4.5: (a) Odziv preizkušancev T3Z in T4Z pri tlačni napetosti 50 in 100 kPa, pri katerih je prišlo do zdrsa na stiku med spodnjo ploščo EPS in hidroizolacijo ter (b) graf hitrosti gibanja plasti 1-3 preizkušanca T4Z v odvisnosti od strižne deformacije, na katerem je razvidno kdaj se spodnja plošča EPS odlepi od hidroizolacije.



Slika 4.6: (a) Zdrs na lepljenem stiku spodnje plošče EPS in bitumenske hidroizolacije ter (b) vtiskanje spodnje plošče EPS in lepila v bitumensko hidroizolacijo, kar je povzročilo povečanje napetosti v preizkušancu po zdrsu.

V preglednici 4.2 so prikazani koeficienti lepenja in trenja lepljenega stika med varjeno bitumensko hidroizolacijo ter spodnjo ploščo EPS. Strižna napetost  $\tau_{lepenja}$  je napetost pri



kateri je prišlo do zdrsa, napetost  $\tau_{trenja}$  pa je bila določena kot minimalna napetost po zdrsu. Pri tem smo torej zanemarili »utrjevanje« zaradi vtiskanja plošče EPS in koščkov lepila v hidroizolacijo, ki je bilo še bolj izrazito pri večji vertikalni obremenitvi, kar se odraža tudi v povečanih vrednostih koeficientov trenja (12%) in lepenja (55 %) v primerjavi z nelepljenim stikom. Izmed obeh preizkušancev smo kot merodajne privzeli minimalne vrednosti koeficientov lepenja in trenja, saj smo preizkusili le dva preizkušanca. Povprečna togost obravnavanega sklopa je približno 27000 kN/m, kar je za približno 30 % več kot v primeru nelepljenega stika. Ko smo preizkušane porinili v drugo smer pri večji stopnji tlačne obremenitve, se je togost poškodovanega lepljenega stika zmanjšala za približno 30 % in je bila podobna togosti nelepljenega stika.

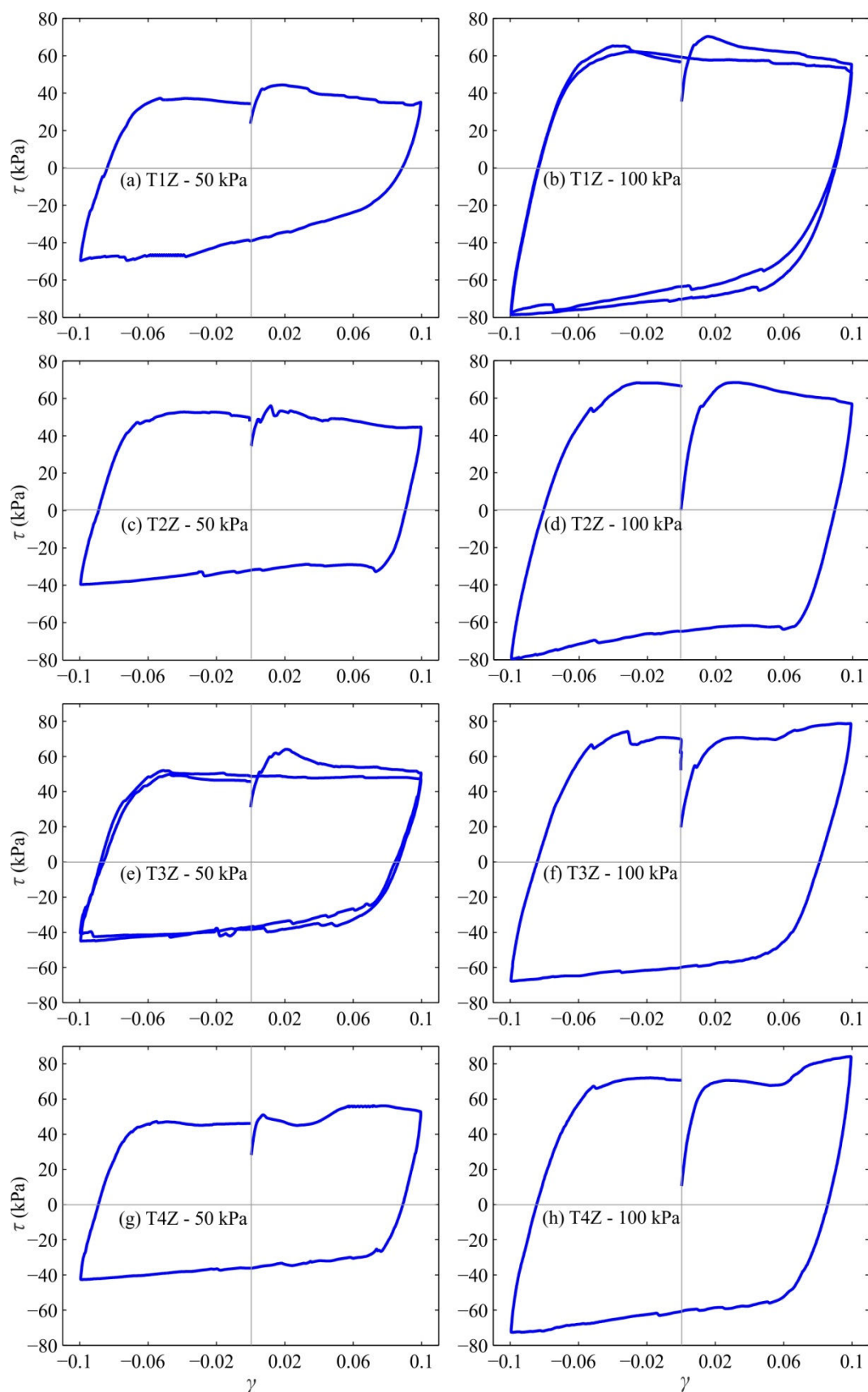
Preglednica 4.2: Koeficienti lepenja in trenja pri vertikalnih obremenitvah 50 in 100 kPa ter togost konstrukcijskega sklopa.

| Vertikalna napetost $\sigma$ (kPa) | Preizkušanec | $K_{30}$ (kN/m/m <sup>2</sup> ) | $\gamma_{lepenja}$ (%) | $\tau_{lepenja}$ (kPa) | $\tau_{trenja}$ (kPa) | $k_l$ | $k_t$ |
|------------------------------------|--------------|---------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-------|-------|
| 50                                 | T3Z          | 24000                           | 1.0                    | 56                     | 40                    | 1.12  | 0.79  |
| 50                                 | T4Z          | 30500                           | 1.1                    | 54                     | 32                    | 1.09  | 0.65  |
| 100                                | T3Z          | 18400                           | 3.2                    | 110                    | 102                   | 1.10  | 1.02  |
| 100                                | T4Z          | 19600                           | 3.0                    | 96                     | 87                    | 0.96  | 0.87  |
| Minimum                            |              |                                 |                        |                        |                       | 0.96  | 0.65  |

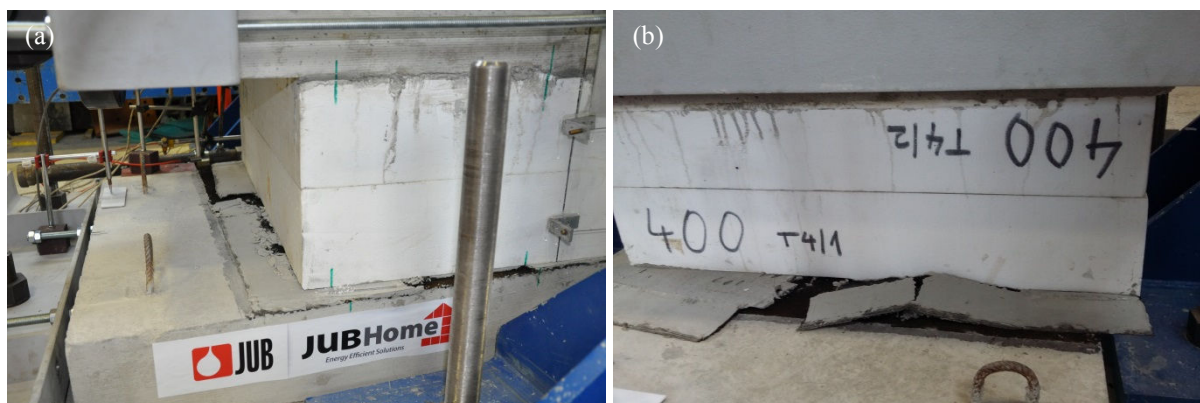
#### 4.1.3 Histereze zaradi zdrsa v temeljnem sklopu

Za določitev potresnega tveganja v smislu prekoračitve določene meje zdrsa so potrebne tudi simulacije zdrsa. Zato je potrebno definirati histerezne krivulje stika med toplotno izolacijo in hidroizolacijo v prvem in drugem temeljnem sklopu. Histerezne krivulje smo določili na osnovi rezultatov približnih cikličnih testov. Rezultati so približni, saj nismo preprečili rotacije zgornje plošče okrog vertikalne osi. Pri analizi zdrsa so bile namreč poškodbe nesimetrične, kar je povzročilo manjši zasuk zgornjega dela preizkušancev okrog navpične osi (slika 4.8a). Pri vsaki spremembi smeri obremenitve se je spremenila tudi smer zasuka, kar je pri večjem številu ciklov povzročilo translacijski premik zgornjega dela preizkušanca pravokotno na smer obremenjevanja (slika 4.8b). Zaradi tega je prišlo do ekscentričnosti vertikalne in horizontalne obtežbe, obenem pa bi se lahko poškodovala tudi občutljiva merilna oprema, zato smo pri cikličnih preiskavah v večini primerov izvedli samo en cikel obremenjevanja pri vsaki stopnji tlačne napetosti v preizkušancih.

Na sliki 4.7 so prikazane histerezne krivulje iz cikličnih testov preizkušancev T1Z-T4Z. Določene so bile na že poškodovanem stiku, to je šele potem, ko smo najprej temeljni sklop porinili v eno smer pri tlačni napetosti 50 kPa in nato še v drugo smer pri tlačni napetosti 100 kPa. Izkazuje se, da lahko histerezno obnašanje stika dovolj dobro aproksimiramo z enostavnim elasto-plastičnim odnosom med silo in pomikom oziroma med strižno napetostjo in deformacijo.



Slika 4.7: Histerezne krivulje iz cikličnih testov za preizkušance T1Z-T4Z pri vertikalni obremenitvi 50 kPa (slike (a), (c), (e) in (g)) ter histerezne krivulje iz cikličnih testov preizkušancev T1Z-T4Z pri vertikalni obremenitvi 100 kPa (slike (b), (d), (f) in (h)).



Slika 4.8: (a) Sukanje zgornjega dela preizkušanca T4Z okrog vertikalne osi, ki je povzročilo (b) translacijski premik zgornjega dela preizkušanca T4Z pravokotno na smer obremenjevanja.

## 4.2 Ciklične preiskave striga homogenega in sklopljenega EPSa

Tri sklope preiskav smo namenili določitvi strižne nosilnosti čepastega stika med sloji toplotne izolacije in njene strižne trdnosti. Predvsem pri preizkušancih, kjer je toplotna izolacija sestavljena iz dveh slojev je bilo pričakovano, da bo do porušitve prišlo v stiku med toplotnima izolacijama. Stik je sestavljen iz moškega (spodnja plošča EPS s čepi) ter ženskega dela (zgornja plošča EPS s prekati), njegova dejanska površina pa je zaradi čepov v toplotni izolaciji manjša od tlorisne površine plošč EPS.

V poglavju 4.2 so rezultati iz eksperimentov izraženi s strižnimi napetostmi  $\tau$  in strižnimi deformacijami  $\gamma$ , ki so definirane z enačbama 4.2 in 4.3. Dodatno v tem poglavju definiramo strižno nosilnost čepastega stika oziroma strižno trdnost toplotne izolacije  $\tau_{max}$  kot maksimalno strižno napetost, ki je bila dosežena v preizkušancu

$$\tau_{max} = \max(\tau). \quad (4.6)$$

Potrebno je poudariti, da je tako določena strižna nosilnost pravzaprav efektivna strižna nosilnost, saj se v preizkušancu deloma pojavijo tudi momenti, kar pa bolj odraža dejansko stanje napetosti v temeljnih tleh v primeru odziva enodružinskih hiš med potresi. Zaradi približno trikotne razporeditve potresnih sil po višini objekta se rezultanta sil pojavi približno na 2/3 višine objekta. Pri dvoetažnih stanovanjskih objektih je zato razmerje med višino prijemališča rezultante potresnih sil in dolžino tlorisa približno enako razmerju med višino vnosa horizontalne sile in daljše dimenzije stične površine EPSa v obravnavanih preizkušancih. Takšen način definicije strižne nosilnosti omogoča poenostavljeno kontrolo strižne nosilnosti čepastega stika v primeru potresne obtežbe.

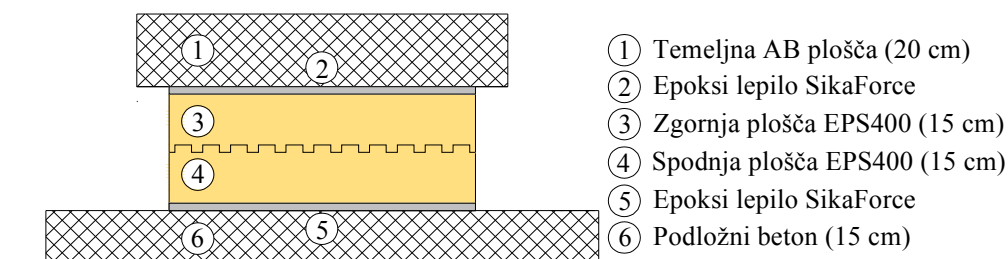
Posledično je strižna deformacija prav tako efektivna strižna deformacija, saj zasuki na zgornji AB plošči preizkušancev niso preprečeni. Deformacijsko kapaciteto smo definirali glede na mejno stanje blizu porušitve, pri čemer je to stanje določeno pri deformaciji, kjer nosilnost upade na 80 % maksimalne strižne napetosti v preizkušancu

$$\gamma_u = \gamma (0.8 \cdot \tau_{\max}) . \quad (4.7)$$

Takšen način določitve deformacijske kapacitete je v skladu z definicijo Evrokoda 8-3.

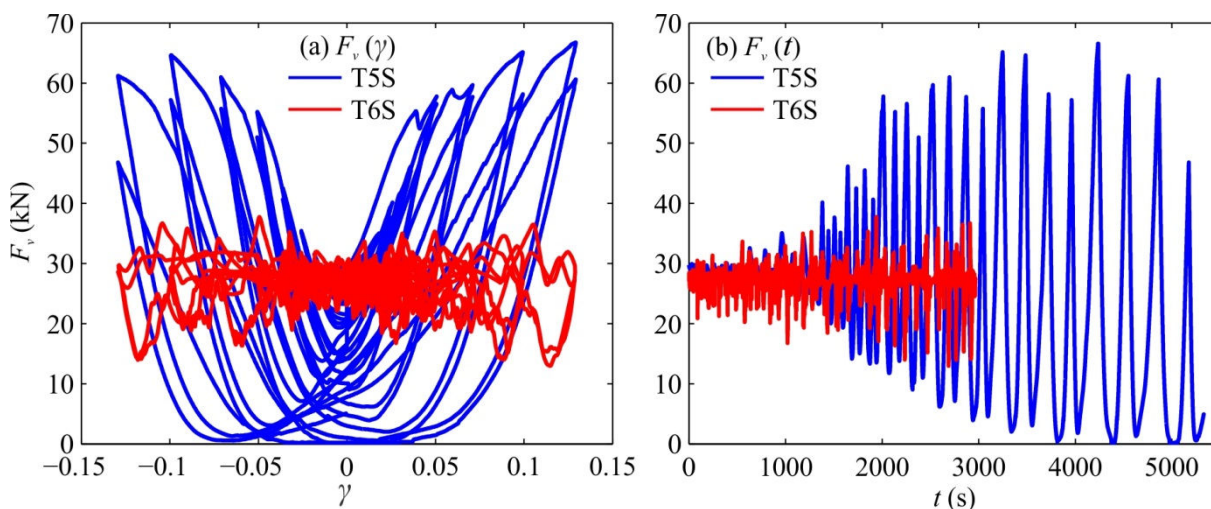
#### 4.2.1 Tretji sklop – nosilnost čepastega stika med ploščama EPS400 (2x15 cm) (preizkušanca T5S in T6S)

Tretji konstrukcijski sklop temeljnega sistema JUBHome BASE sta sestavljali dve čepasto stиковani plošči EPS debeline 15 cm z nazivno tlačno trdnostjo 400 kPa. Plošči EPS400 sta bili prilepljeni na spodnjo in zgornjo AB ploščo z epoksi lepilom SikaForce, z namenom, da bi do porušitve prišlo v čepastem stiku med ploščama EPS400 (Slika 4.9).



Slika 4.9: Skica tretjega konstrukcijskega sklopa – strižna nosilnost čepastega stika med ploščama EPS400.

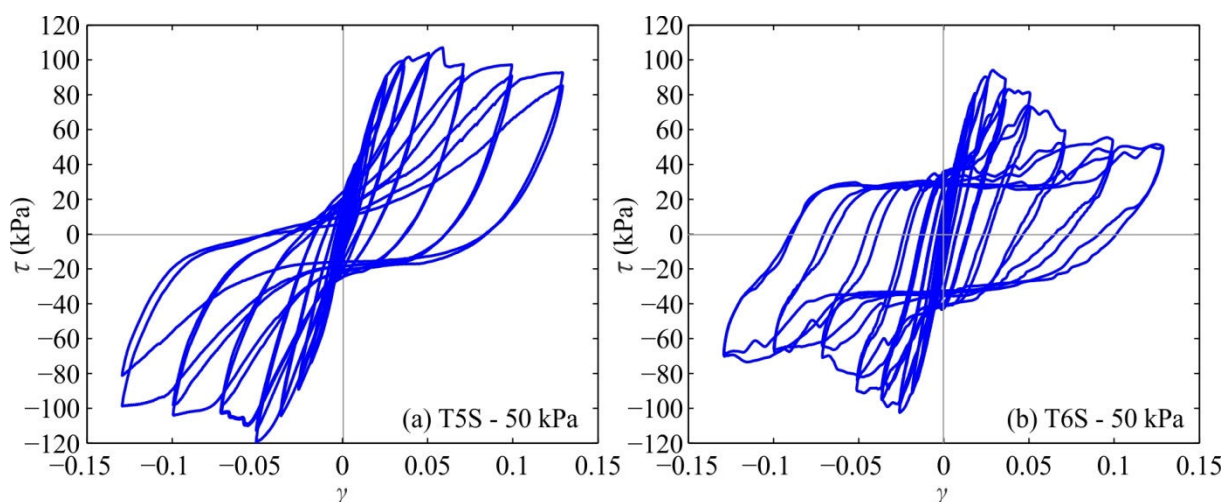
Preizkušane T5S, ki je bil preizkušen prvi, je bil edini, pri katerem nismo krmilili osne sile v vertikalnem batu. Pred začetkom preizkusa smo nastavili osno silo v batu  $F_{bv}$  na vrednost 27 kN (z dodatno obtežbo znaša ekvivalentno  $\sigma = 50$  kPa), ob povečevanju vsiljenih horizontalnih pomikov pa se je vertikalna sila v batu močno spreminjala med 0 in 65 kN zaradi vertikalnih pritiskov preizkušanca na bat (slika 4.10). Pri ostalih preizkušancih je bilo nihanje osne sile v vertikalnem batu in posledično tlačne napetosti bistveno manjše.



Slika 4.10: Spreminjanje osne sile v vertikalnem batu  $F_{bv}$  med eksperimentom pri preizkušancih T5S in T6S v odvisnosti od (a) strižnih deformacij ter (b) časa.

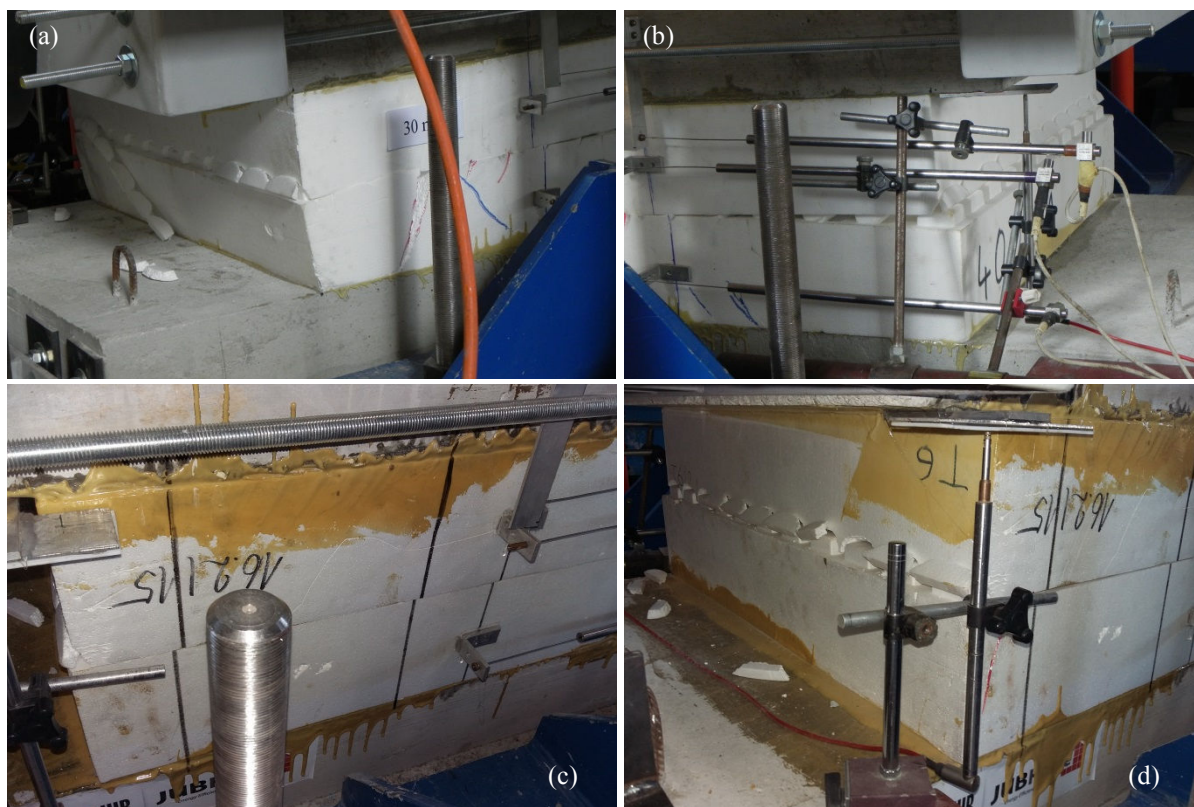


Na sliki 4.11a prikazujemo odnos med strižnimi napetostmi in deformacijami v preizkušancu T5S. Iz histerezne krivulje je razvidno, da je bilo obnašanje malenkostno nesimetrično pri obremenjevanju v pozitivni (negativni) smeri, maksimalna strižna napetost 107 kPa (-119 kPa) pa je nastopila pri strižni deformaciji 5.9 % (-5.1 %). Zanimivo je, da nosilnost tudi pri strižni deformaciji 13 % ni upadla pod 80 %  $\tau_{max}$ , kar je posledica velikih nihanj v osni sili. Pri velikih deformacijah, se je osna sila v preizkušancu močno povečala, kar je hkrati povečalo tudi njegovo nosilnost, zato je potrebno rezultate pri preizkušancu T5S jemati z rezervo. Glavni vzrok za porušitev preizkušanca je bil prestrig čepov na stiku med zgornjo in spodnjo ploščo EPS. Izrazit je bil tudi prispevek upogibnega obnašanja v preizkušancu, kar se je odrazilo v precejšnjem dvigovanju dela prereza preizkušanca v nategu (slika 4.12b) ter pri poškodbah v tlačnem delu prereza, kjer je prišlo do tlačne razpoke v spodnji plošči EPS (slika 4.12a). Prva tlačna razpoka v spodnji plošči se je pojavila pri strižni deformaciji 7 %, pri večjih deformacijah pa se je število razpok in njihova širina le še povečevalo.



Slika 4.11: Odziv preizkušancev T5S (a) in T6S (b) pri vertikalni obremenitvi 50 kPa, pri katerih je prišlo do prestriga na čepastem stiku med spodnjo in zgornjo ploščo EPS400 debeline 14 cm.

Kot že omenjeno smo pri preizkušancu T6S ročno krmilili vertikalno silo v batu, ki je posledično nihala bistveno manj (slika 4.10) kot pri preizkušancu T5S. To se je poznalo tudi pri razvoju poškodb, saj je pri preizkušancu T6S prevladovalo strižno obnašanje, pri katerem je prišlo do prestriga na stiku spodnje in zgornje plošče EPS, torej po čepastem stiku, manj pa je bilo dvigovanja v nateznem delu prereza. Postopoma so se trgali krajni prekatni v zgornji plošči EPS (začetek pri strižni deformaciji 5 %), pri večjih strižnih deformacijah pa so se prestrigli tudi čepi na vrhu spodnje plošče EPS (sliki 4.12c in 4.12d). Iz histezne krivulje obnašanja je razvidno, da je bila strižna nosilnost stika pri preizkušancu T6S 94 kPa (-102 kPa), dosežena pa je bila pri strižni deformaciji 2.9 % (-2.6 %). Deformacijska kapaciteta stika, ko strižna napetost pade za več kot 20 %, je bila dosežena pri strižni deformaciji 5.1 % (-5.1 %).



Slika 4.12: (a) Prikaz zdrsa na mestu čepastega stika plošč EPS in porušitev v spodnji plošči EPS (T5S), (b) dvigovanje zgornje plošče EPS – upogibno obnašanje (T5S), (c) zdrs v čepastem stiku plošč EPS (T6S) ter (d) trganje prekatov v zgornji plošči EPS ob prestrigu čepastega stika (T6S).

V preglednici 4.3 so podane maksimalne strižne napetosti in deformacijske kapacitete čepastega stika v preizkušancih T5S in T6S. Za strižno nosilnost je bila konzervativno privzeta minimalna vrednost izmed obeh količin v obeh smereh obremenjevanja. Izkazalo se je, da je pri enaki stopnji vertikalne obremenitve strižna nosilnost čepastega stika večja od strižne napetosti lepenja  $\tau_{lepenja}$ , pri kateri pride do zdrsa med toplotno izolacijo in hidroizolacijo, zato je izključena porušitev v čepastem stiku med ploščami EPSa.

Preglednica 4.3: Maksimalna strižna napetost in deformacijska kapaciteta čepastega stika v preizkušancih T5S in T6S pri tlačni napetosti 50 kPa. V oklepajih so podane vrednosti za negativno smer obremenjevanja.

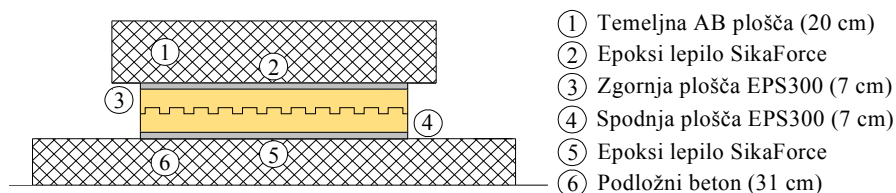
| Vertikalna napetost $\sigma$<br>(kPa) | Preizkušanec | Strižna nosilnost<br>$\tau_{max}$ (kPa) | Deformacija $\gamma_{max}$<br>(%) | Deformacijska<br>kapaciteta $\gamma_u$ (%) |
|---------------------------------------|--------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------|
| 50                                    | T5S          | 107 (-119)                              | 5.9 (-5.1)                        | -                                          |
| 50                                    | T6S          | 94 (-102)                               | 2.9 (-2.6)                        | 5.4 (-5.8)                                 |
| <b>Minimum</b>                        |              | <b>94</b>                               | <b>2.6</b>                        | <b>5.4</b>                                 |

#### 4.2.2 Četrti sklop – nosilnost čepastega stika med ploščama EPS300 (2x7 cm) (preizkušanca T7S in T8S)

Četrti konstrukcijski sklop temeljnega sistema JUBHome BASE sta sestavljali dve čepasto stikovani plošči EPS debeline 7 cm z nazivno tlačno trdnostjo 300 kPa. Plošči EPS300 sta bili prilepljeni na spodnjo iz zgornjo AB ploščo z epoksi lepilom SikaForce, z namenom, da bi do

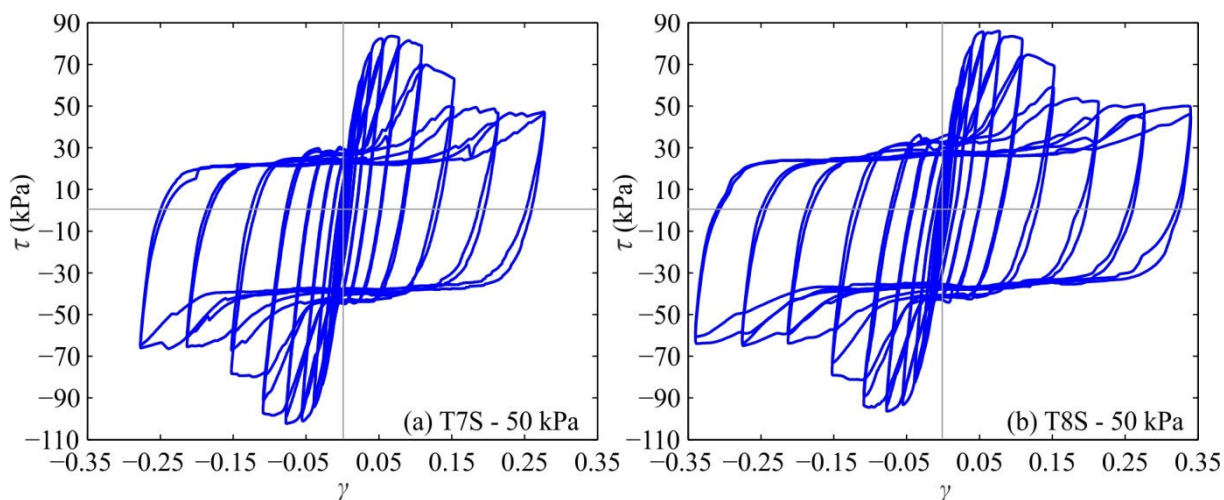


porušitve prišlo v čepastem stiku med ploščama EPS300 (slika 4.13). S tem preizkusom smo preverjali, kolikšen je vpliv debeline in materiala toplotne izolacije na nosilnost čepastega stika.



Slika 4.13: Skica četrtega konstrukcijskega sklopa – vpliv debeline toplotne izolacije na strižno nosilnost čepastega stika med ploščama EPS300.

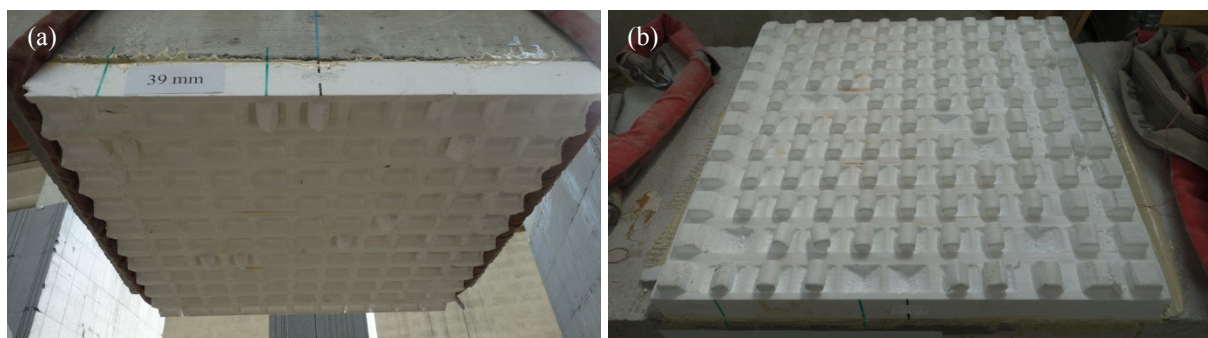
Obnašanje preizkušancev T7S in T8S je bilo zelo podobno, kar se odraža tudi v zelo podobnih histereznih krivuljah (slika 4.14). Maksimalna strižna napetost pri preizkušancu T7S je bila 84 kPa (- 102 kPa), dosežena pri strižni deformaciji 6.9 % (-7.8 %), pri preizkušancu T8S pa je bila maksimalna strižna napetost 86 kPa (- 96 kPa), dosežena pri strižni deformaciji 7.6 % (-7.8 %). Deformacijska kapaciteta, določena skladno z enačbo 4.7, je bila 13.5 % (-14.5 %) za preizkušanec T7S oziroma 15.2 % (-16.5 %) za preizkušanec T8S. Vse količine so prikazane tudi v preglednici 4.4, kjer je kot minimalna izmed vseh maksimalnih strižnih napetosti v preizkušancu, določena tudi strižna nosilnost čepastega stika. Izračunana strižna nosilnost stika je manjša kot v primeru preizkušancev T5S in T6S z debelejšima slojema toplotne izolacije in hkrati boljšim materialom (EPS400), hkrati pa spet bistveno večja kot strižna napetost ob zdrsu ( $\tau_{lepenja}$ ) pri enaki stopnji tlačne napetosti.



Slika 4.14: Odziv preizkušancev (a) T7S in (b) T8S pri vertikalni obremenitvi 50 kPa, pri katerih je prišlo do prestriga na čepastem stiku med spodnjo in zgornjo ploščo EPS300 debeline 7 cm.

Oba preizkušanca sta se porušila na stiku med ploščama EPS zaradi prestriga čepastega stika. Pri obeh preizkušancih so se na robovih pričeli trgati prekati ženskega dela (zgornja plošča EPS) pri strižni deformaciji 5.6 %, pri večjih vsiljenih deformacijah pa so se prestrigli tudi čepi na spodnji plošči EPS. Na sliki 4.15 sta prikazani spodnja in zgornja plošča EPS300 po preiskavi, ko smo odprli preizkušanec T7S. Presenetljivo se je izkazalo, da so prekati v

zgornji plošči EPS300 (ženski del) ostali praktično nepoškodovani z izjemo robnih prekatov, ki so se pretrgali. Vsi čepi na spodnji plošči EPS300 z izjemo čepov na krajiščih plošč EPS pa so se pretrgali ter deformirali v obliko valja (»usvaljkali«).



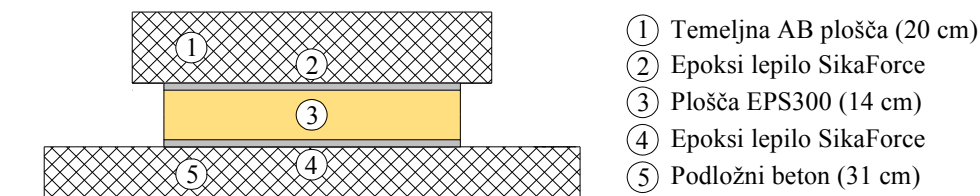
Slika 4.15: (a) Zgornja plošča EPS400 s skoraj nepoškodovanimi prekat ženskega dela plošče ter (b) spodnja plošča EPS300 s porušenimi čepi moškega dela po opravljeni preiskavi. Obe plošči EPS sta bili del preizkušanca T7S.

Preglednica 4.4: Maksimalna strižna napetost in deformacijska kapaciteta čepastega stika v preizkušancih T7S in T8S pri tlačni napetosti 50 kPa. V oklepajih so podane vrednosti za negativno smer obremenjevanja.

| Vertikalna napetost $\sigma$ (kPa) | Preizkušanec | Strižna nosilnost $\tau_{max}$ (kPa) | Deformacija $\gamma_{max}$ (%) | Deformacijska kapaciteta $\gamma_u$ (%) |
|------------------------------------|--------------|--------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|
| 50                                 | T7S          | 84 (-102)                            | 6.9 (-7.8)                     | 13.5 (-14.5)                            |
| 50                                 | T8S          | 86 (-96)                             | 7.6 (-7.8)                     | 15.2 (-16.5)                            |
| Minimum                            |              | 84                                   | 6.9                            | 13.5                                    |

#### 4.2.3 Peti sklop – strižna nosilnost homogenega materiala EPS300 (1x14 cm) (preizkušanca T9S in T10S)

Peti konstrukcijski sklop temeljnega sistema JUBHome BASE je sestavljala homogena plošča EPS debeline 14 cm z nazivno tlačno trdnostjo 300 kPa, ki je bila prilepljena na spodnjo iz zgornjo AB ploščo z epoksi lepilom SikaForce (slika 4.16). S tem preizkusom smo določili strižno trdnost toplotne izolacije, kar služi za primerjavo s strižno nosilnostjo stika v temeljnem sklopu z dvema čepasto stikovanim ploščama EPS300 (T7S in T8S). Razmerje med površino čepov in bruto površino plošč EPS v preizkušancih je enako 0.44.



Slika 4.16: Skica petega konstrukcijskega sklopa – strižna nosilnost toplotne izolacije - plošča EPS300.

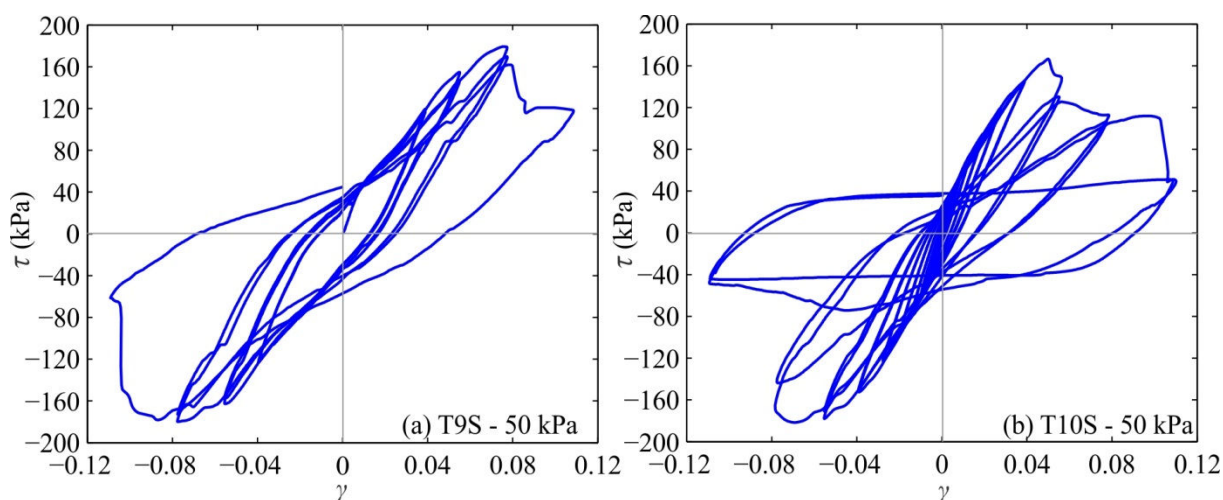
Histerezni krivulji, ki odražata odnos med strižnimi napetostmi in deformacijami preizkušancev T9S in T10S, sta prikazani na sliki 4.17. Maksimalna strižna napetost pri

preizkušancu T9S je bila 179 kPa (-179 kPa), dosežena pri strižni deformaciji 7.6 % (-7.8 %), pri preizkušancu T10S pa je bila maksimalna strižna napetost 166 kPa (-182 kPa), dosežena pri strižni deformaciji 5.0 % (-7.0 %). Deformacijska kapaciteta, določena skladno z enačbo 4.7, je bila 8.5 % (-9.2 %) za preizkušanece T9S oziroma 5.5 % (-8.5 %) za preizkušanece T10S. Vse količine so prikazane tudi v preglednici 4.5, kjer je kot minimalna izmed vseh maksimalnih strižnih napetosti v preizkušancu, določena tudi strižna trdnost toplotne izolacije EPS300. Izmerjena strižna trdnost je za skoraj 100 % večja kot strižna nosilnost čepastega stika v primeru preizkušancev T7S in T8S z dvema slojema toplotne izolacije, čeprav je bil material toplotne izolacije enak v obeh primerih (EPS300). To je posledica dejstva, da ima čepasti stik manjšo efektivno površino materiala kot homogen sloj toplotne izolacije. Izmerjena efektivna strižna trdnost je nekoliko manjša kot nominalna vrednost strižne trdnosti plošč EPS z nazivno tlačno trdnostjo 300 kPa, ki po standardu EN 13163 (CEN, 2001) znaša  $\tau_{max} = 225$  kPa. Hkrati je efektivna strižna trdnost toplotne izolacije spet bistveno večja kot strižna napetost ob zdrsu ( $\tau_{lepenja}$ ) pri enaki stopnji tlačne napetosti.

Oba preizkušanca sta se porušila podoben način. Najprej se je blizu spodnje lepljene ploskve plošče EPS300 na stiku s podložnim betonom pojavila horizontalna razpoka pri strižni deformaciji okrog 7 %. Ta se je z večanjem deformacij postopoma povečevala, dokler se ni pri naslednjem koraku vsiljene deformacije strižno pretrgala celotna plošča EPS. Na sliki 4.18b je prikazan preizkušanec T10S med preizkusom, strižna deformacija (slika 4.18a) ter nastanek porušne ravnine blizu podložnega betona (sliki 4.18c in 4.18d).

Preglednica 4.5: Maksimalna strižna napetost in deformacijska kapaciteta čepastega stika v preizkušancih T9S in T10S pri tlačni napetosti 50 kPa. V oklepajih so podane vrednosti za negativno smer obremenjevanja.

| Vertikalna napetost $\sigma$ (kPa) | Preizkušanec | Strižna nosilnost $\tau_{max}$ (kPa) | Deformacija $\gamma_{max}$ (%) | Deformacijska kapaciteta $\gamma_u$ (%) |
|------------------------------------|--------------|--------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|
| 50                                 | T9S          | 179 (-179)                           | 7.6 (-7.8)                     | 8.5 (-9.2)                              |
| 50                                 | T10S         | 166 (-182)                           | 5.0 (-7.0)                     | 5.5 (-8.5)                              |
| <b>Minimum</b>                     |              | <b>166</b>                           | <b>5.0</b>                     | <b>5.5</b>                              |



Slika 4.17: Odziv preizkušancev T9S in T10S pri vertikalni obremenitvi 50 kPa, pri katerih je prišlo do prestriga v enoslojni toplotni izolaciji EPS300 debeline 14 cm.





Slika 4.18: (a) Strižna deformacija v preizkušancu T9S, (b) preizkušanec T10S med preiskavo, (c) in (d) prestrig preizkušanca T10S po plošči EPS300, na podlagi česar je bila določena strižna trdnost materiala.

### 4.3 Preiskave tlačne trdnosti EPSa

Zadnja dva sklopa preiskav smo namenili določitvi tlačne nosilnosti čepastega stika med sloji toplotne izolacije in njene tlačne trdnosti. V poglavju 4.3 so rezultati iz eksperimentov izraženi s tlačnimi napetostmi  $\sigma$ , ki so definirane z enačbo 4.2, ter z osnimi deformacijami  $\varepsilon$ . Slednje smo definirali z razmerjem med skrčkom (ekvivalentno pomiku vertikalnega bata  $u_{bv}$ ) in začetno debelino toplotne izolacije  $h_{EPS}$ .

$$\varepsilon = \frac{u_{bv}}{h_{EPS}} \quad (4.8)$$

Za izvedbo cikličnih tlačnih preiskav smo popolnoma spremenili preizkuševališče, ki je prikazano na sliki 4.21a. Tokrat smo uporabili jekleni okvir, v katerega smo pritrdili enosmerni bat znamke Ulbrich zmogljivosti 3000 kN. Spremenili smo tudi protokol obremenjevanja, saj smo pomike vsiljevali tako, da smo v prvih fazah obremenjevanja v preizkušanec vsilili osne deformacije 2 %, 4 %, 6 %, 8 % in 10 %, nato pa smo deformacijo povečevali s korakom 10 %. Po vsaki fazi smo preizkušanec razbremenili. Amplitude programiranih pomikov po fazah so prikazane v preglednici 4.6. Vertikalne pomike vrhnjih točk plasti 1 in 3 smo merili na treh vogalih preizkušanca, torej s šestimi induktivnimi merilci. Na podlagi izmerjenih pomikov smo po enačbi 4.8 določili osne deformacije.

Preglednica 4.6: Amplitude programiranih pomikov v posameznih fazah obremenjevanja temeljnih sklopov pri cikličnih tlačnih preiskavah.

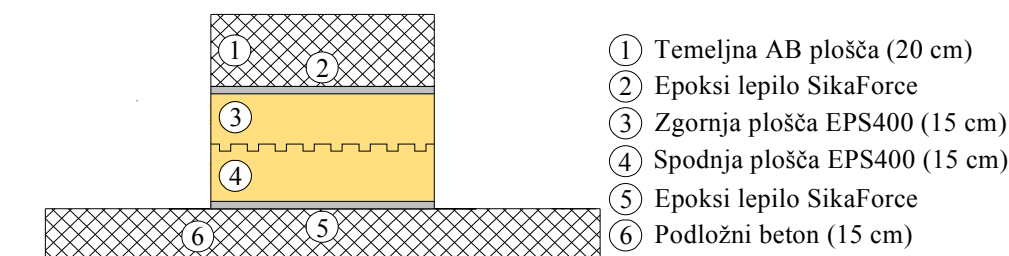
| Faza            | 1   | 2   | 3   | 4   | 5  | 6  | 7   |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|
| Deformacija (%) | 2.0 | 4.0 | 6.0 | 8.0 | 10 | 20 | 30  |
| Faza            | 8   | 9   | 10  | 11  | 12 | 13 | 14  |
| Deformacija (%) | 40  | 50  | 60  | 70  | 80 | 90 | 100 |

Tlačno trdnost materiala smo določili podobno, kot je predpisano v standardu EN 13163 (CEN, 2001), pri 10 % osni deformaciji.

$$\sigma_{10} = \sigma(\varepsilon = 10 \%) \quad (4.9)$$

#### 4.3.1 Šesti sklop – tlačna trdnost temeljnega sklopa iz dveh plošč EPS400 (2x15 cm) (preizkušanca T11C in T12C)

Šesti temeljni konstrukcijski sklop sistema JUBHome BASE sta sestavljali dve čepasto stikovani plošči EPS debeline 15 cm z nazivno tlačno trdnostjo 400 kPa. Plošči EPS400 sta bili prilepljeni na spodnjo iz zgornjo AB ploščo z epoksi lepilom SikaForce, z namenom, da bi do porušitve prišlo v toplotni izolaciji (Slika 4.19). S tem preizkusom smo določili tlačno nosilnost temeljnega sklopa.

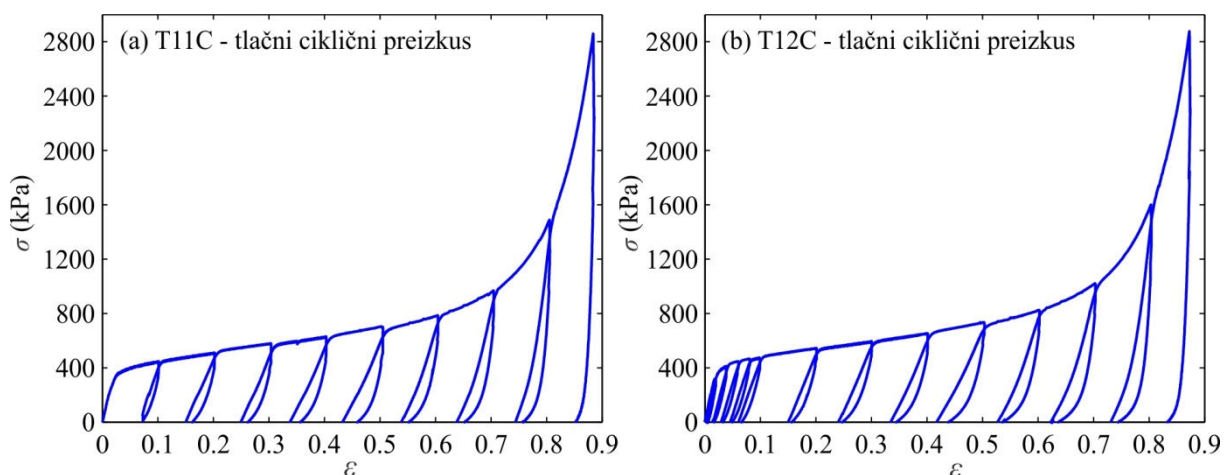


Slika 4.19: Skica šestega temeljnega konstrukcijskega sklopa – tlačna nosilnost temeljnega sklopa iz dveh čepastih plošč EPS400 z debelino 15 cm.

Na sliki 4.20 prikazujemo izmerjen odziv preizkušancev T11C in T12C, izražen z odnosom med tlačno napetostjo in deformacijo. Dejanski tlačni trdnosti obeh preizkušancev pri 10 % deformaciji, sta bili 440 kPa oziroma 467 kPa. Pri deformacijah nad 1 % nismo zaznali elastičnega obnašanja EPSa, saj pride namreč v toplotni izolaciji tudi pri deformacijah tega velikostnega reda do iztiska zraka iz določenih por, kar vodi do nastanka nepovratnih deformacij. Res je sicer, da pri razbremenjevanju nismo čakali dalj časa, da bi se lahko EPS povrnil v začetno stanje, vendar je tako tudi med dejanskim potresom, zato pri teh deformacijah ne gre računati na elastično obnašanje stiropora. Do razpok v toplotni izolaciji ni prišlo pri nobenem izmed preizkušancev, sta se pa oba preizkušanca izjemno močno stisnila in posledično tudi zgostila. Plošče EPSa tudi pri izredno velikih deformacijah ohranjajo trdnostno integriteto in se jim trdnost z večanjem deformacije celo zvišuje. Začetna debelina obeh plošč EPS je bila 30 cm, po preiskavi pa se je preizkušanec T11C skrčil na



zgolj 3.5 cm ( $\varepsilon_{max} = 88 \%$ ), preizkušane T12C pa na 3.8 cm ( $\varepsilon_{max} = 87 \%$ ). Približno do deformacije 60 %, je sila v batu in posledično tlačna napetost v obeh preizkušancih naraščala linearno do vrednosti približno 800 kPa. Pri večjih deformacijah, ko je bila večina por z zrakom že iztisnjenih, je tlačna napetost začela naraščati hitreje vse do vrednosti 2800 kPa ( $F_{bv} = 1000$  kN), ko smo prekinili s preiskavo. Deformacija tudi pri večjih tlačnih napetostih ne bi več bistveno naraščala.



Slika 4.20: Odziv preizkušancev T11C in T12C pri cikličnem tlačnem preizkusu, pri katerih sta se obe plošči EPS400 debeline 15 cm skrčili za skoraj 90 %.

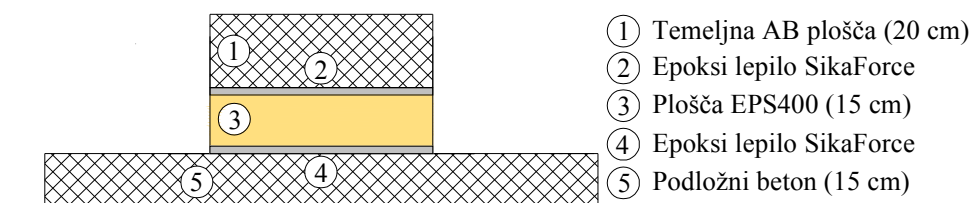


Slika 4.21: (a) Preizkuševališče za izvedbo cikličnega tlačnega preizkusa in preizkušanec T11C pred preiskavo, (b) preizkušanec T11C po preiskavi ( $\varepsilon_{max} = 88 \%$ ) in (c) prikaz odlepljenja induktivnih merilnikov na vogalih zaradi prečnih deformacij plošč EPS400.

Na sliki 4.21 je poleg preizkuševališča za ciklične tlačne preiskave prikazano tudi, kako je pri najvišjih tlačnih obremenitvah počila spodnja AB plošča ter težave z odlepljenjem induktivnih merilnikov zaradi velikih prečnih deformacij.

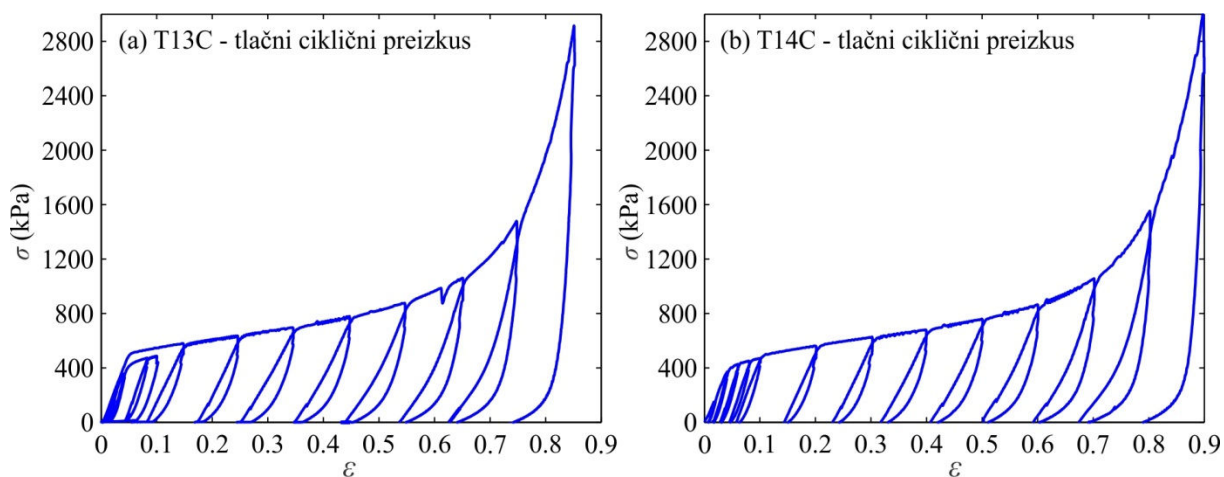
#### 4.3.2 Sedmi sklop – tlačna trdnost homogenega materiala EPS400 (1x14 cm) (preizkušanca T13C in T14C)

Sedmi konstrukcijski sklop temeljnega sistema JUBHome BASE je sestavljala homogena plošča EPS debeline 14 cm z nazivno tlačno trdnostjo 400 kPa, ki je bila prilepljena na spodnjo iz zgornjo AB ploščo z epoksi lepilom SikaForce (Slika 4.22). S tem preizkusom smo določili tlačno trdnost toplotne izolacije, kar služi za primerjavo s tlačno nosilnostjo temeljnega sklopa z dvema čepasto stikovanimi ploščama EPS400 (preizkušanca T11C in T12C).



Slika 4.22: Skica sedmega konstrukcijskega sklopa – tlačna trdnost toplotne izolacije - plošča EPS400.

Na sliki 4.23 je prikazan izmerjen odziv preizkušancev T13C in T14C, izražen z odnosom med tlačno napetostjo in deformacijo. Dejanski tlačni trdnosti obeh preizkušancev pri 10 % deformaciji, sta bili 487 kPa oziroma 472 kPa. Do razpok v toplotni izolaciji ni prišlo pri nobenem izmed preizkušancev, sta se pa oba preizkušanca izjemno močno stisnila in posledično tudi zgostila. Začetna debelina obeh plošč EPS je bila 14 cm, po preiskavi pa se je preizkušanec T13C skrčil na 2.1 cm ( $\epsilon_{max} = 85\%$ ), preizkušanec T14C pa na 1.4 cm ( $\epsilon_{max} = 90\%$ ). Približno do deformacije 60 %, je sila v batu in posledično tlačna napetost v obeh preizkušancih naraščala linearno do vrednosti približno 900 kPa. Pri večjih deformacijah, ko je bila večina por z zrakom že iztisnjenih, je tlačna napetost začela naraščati hitreje vse do vrednosti 2800 kPa ( $F_{bv} = 1000$  kN), ko smo prekinili s preiskavo. Deformacija tudi pri večjih tlačnih napetostih ne bi več bistveno naraščala.



Slika 4.23: Odziv preizkušancev T13C in T14C pri cikličnem tlačnem preizkusu, pri katerih se je homogena plošča EPS400 debeline 14 cm skrčila za skoraj 90 %.

## 5 NAVODILA ZA PROJEKTIRANJE: OMEJITEV RAZMERJA MED VIŠINO IN ŠIRINO OBJEKTA TER DOLOČITEV MEJNEGA ZDRSA

Osnovni namen potresnoodpornega projektiranja je zaščititi človeška življenja, omejiti škodo in zagotoviti, da ostanejo konstrukcije, pomembne za civilno zaščito, uporabne (SIST EN 1998-1). Te cilje je mogoče doseči le do neke stopnje zanesljivosti, kot to ugotavlja tudi standard SIST EN 1998-1 (droben tisk pod točko 1.1.1.1(P)). SIST EN 1998-1 smatra, da je osnovni namen potresno-odpornega projektiranja dosežen, če sta izpolnjeni zahtevi po neporušitvi in omejitvi poškodb. Obe zahtevi naj bi bili izpolnjeni s primerno stopnjo zanesljivosti, katere pa standard ne predpisuje.

Potresni odziv objektov s toplotno izolacijo pod temeljno ploščo po sistemu JUBHome BASE bi lahko bil potencialno problematičen zaradi pojava zdrsa objekta ter prevrnitve objekta. V smislu potresnoodpornega projektiranja je potrebno oba pojava preprečiti s primerno stopnjo zanesljivosti, kot to zahteva standard EN 1998-1.

Prevrnitev objekta na dobrih tleh pri potresni obtežbi je zelo malo verjetna, saj je potresna obtežba dinamična, poleg tega pa so predmet obravnave nizki objekti (P+1+M). Zaradi tega ocenjujemo, da prevrnitev praktično ni mogoča, če razmerje med višino in krajšo stranico tlorisa objekta ustreza običajnim družinskim hišam. Problem bi se lahko pojavil v primeru nenavadnega razmerja med višino in dolžino objekta ter v primeru velike potresne obtežbe, ki se predvideva za gradnjo bolj pomembnih objektov (npr. vrtec). Zato v nadaljevanju predlagamo poenostavljeno kontrolo omejitve razmerja med višino in krajšo stranico tlorisa objekta. Izhodišče za izpeljavo je kontrola prevrnitve objekta na osnovi statičnega ravnovesja momentov.

Drugi problem, ki ga je potrebno obravnavati pri potresnoodpornem projektiranju objektov s toplotno izolacijo pod temelji, je zdrs objekta. V splošnem, bi se lahko zdrs pod temeljno ploščo pojavil v kateremkoli sloju, vendar rezultati eksperimentov kažejo, da se zdrs pojavi med hidroizolacijo in prvim slojem toplotne izolacije, saj sta nosilnosti čepastega stika in homogenega materiala EPS bistveno večji od sile lepenja. Ker bi zdrs objekta povzročil ekonomsko škodo, ga je potrebno do neke mere preprečiti (zahteva po omejitvi poškodb). Zelo malo verjetno je, da bi zdrs objekta direktno ogrožal človeška življenja (zahteva po neporušitvi). Večji zdrs objekta bi lahko posledično povzročil odpoved funkcije določenih inštalacij (npr. električna, plin), ki bi potencialno lahko ogrozila človeška življenja. Obe negativni posledici je potrebno izključiti s primerno stopnjo zanesljivosti, kot je obravnavano v nadaljevanju tega poglavja.

### 5.1 Omejitev razmerja med višino in širino objekta

Glede na to, da obravnavamo le nizke objekte (P+1+M), je prevrnitev takšnih objektov zaradi potresa praktično nemogoča, če ima objekt normalno razmerje med višino in krajšo stranico

tlorisa. Zato je dovolj natančno, da se kontrola prevrnitve objekta zasnuje na determinističnem pristopu, predvsem z namenom, da se omeji gradnjo objektov, ki bi imeli nenavadno razmerje med višino in krajšo stranico tlorisa. Na ta način se tudi prepreči zelo velike koncentracije tlačnih napetosti v temelju in AB betonskih elementih, s čimer preprečimo lokalno porušitev objekta ter omejimo napetosti v temeljnih slojih EPSa.

Kontrolo smo zasnovali na principu statičnega ravnovesja, pri čemer potresna sila predstavlja potencial za prevrnitev objekta, teža objekta pa prevrnitev preprečuje. Predpostavimo, da se objekt v tem primeru vrti okoli daljše stranice tlorisa objekta ter da potresna sila deluje na sredini višine objekta  $H$ , ki je merjena od tal do kote zgornje plošče. Predpostavljena ročica potresne sile je nekoliko manjša od dejanske ročice potresne sile. Na ta način nekoliko omilimo kriterij za prevrnitev objekta, saj je potresna sila dinamična, kar z drugimi besedami pomeni, da je kontrola prevrnitve po principu statičnega ravnovesja sil precej konservativna. Pri računu prevrnitvenega momenta zaradi potresne sile upoštevamo, da se konstrukcija zaradi faktorja dodatne nosilnosti obnaša elastično v primeru projektnega potresa (povratna doba 475 let). Neenačba statičnega ravnovesja se lahko torej zapiše na sledeč način

$$F_b \cdot q \cdot \frac{H}{2} \leq W \cdot \frac{L}{2}. \quad (5.1)$$

kjer je  $F_b$  projektna potresna sila, določena po metodi z vodoravnimi silami (SIST EN 1998-1, točka 4.3.3.2.2),  $q$  faktor obnašanja, kot je za obravnavan objekt predpisan v SIST EN 1998-1,  $H$  višina objekta merjena od temeljev do kote zgornje plošče, ter  $L$  krajša stranica tlorisa.

Če konzervativno predpostavimo, da so nihajni časi obravnavanih objektov takšni, da se pojavi največja projektna potresna sila, ki je kar enaka potresni sili, ki bi bila določena na osnovi elastičnega spektra pospeškov (SIST EN 1998-1, točka 3.2.2.2), ter upoštevamo, da je korekcijski faktor  $\lambda=1$ , dobimo omejitev med višino in krajšo stranico tlorisa objekta

$$\frac{H}{L} \leq \frac{1}{2.5 \cdot S \cdot a_{gR} \cdot \gamma_I} \quad (5.2)$$

kjer je  $a_{gR}$  referenčna vrednost maksimalnega pospeška tal, ki za Slovenijo znaša med 0.1 g in 0.25 g,  $S$  faktor tal (1 za tip tal A do 1.7 za tip tal E) in  $\gamma_I$  faktor pomembnosti (1 za običajne objekte, 1.2 za vrtce in šole, 1.4 za bolnišnice).

Mejne vrednosti razmerja  $H/L$  za različne lokacije v Sloveniji so prikazane v preglednicah 5.1 in 5.2 in sicer za primer običajnih objektov (kategorija pomembnosti II) ter za objekte kategorije pomembnosti III (npr. vrtci, šole). Za običajne objekte ( $\gamma_I = 1$ ) locirane v Ljubljani, ( $a_{gR} = 0.25$  g) na tipu tal B (faktor tal  $S = 1.2$ ), znaša mejna vrednost  $H/L = 1.33$ . Če ima objekt pritličje, etažo in mansardo ter etažno višino 3 m, potem znaša višina objekta  $H = 6$  m, minimalna vrednost krajše stranice po enačbi 5.2 pa je enaka  $L = 6 \text{ m} / 1.33 = 4.5 \text{ m}$ . Za isto

vrsto objektov, ki bi bili locirani v Bovcu ( $a_{gR} = 0.225$  g na tipu tal E (faktor tal  $S = 1.7$ ), je kriterij nekoliko bolj strog, saj je minimalna dolžina krajše stranice tlorisa  $L = 5.7$  m.

Kontrola omejitve višine po neenačbi (5.2) ni potrebna, če gre za gradnjo običajnega objekta, kjer je  $H \leq L$ . Če bi se izkazalo, da je za določen objekt nemogoče izpolniti kotnrolo po neenačbi (5.2), je dovoljena je tudi natančnejša analiza kontrole prevrnitve v skladu z EN 1998-1 (točka 4.4.2.4).

Preglednica 5.1: Maksimalno dovoljeno razmerje med višino objekta (merjeno od tal do kote zgornje plošče) in dolžino krajše stranice tlorisa  $H/L$  za običajne objekte ( $\gamma_I = 1$ ) v odvisnosti od tipa tal in stopnje seizmičnosti lokacije objekta.

| tip tal/ $a_{g,R}$ | 0,25 g | 0,225 g | 0,20 g | 0,175 g | 0,15 g | 0,125 g | 0,10 g |
|--------------------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| A                  | 1,60   | 1,78    | 2,00   | 2,29    | 2,67   | 3,20    | 4,00   |
| B                  | 1,33   | 1,48    | 1,67   | 1,90    | 2,22   | 2,67    | 3,33   |
| C                  | 1,39   | 1,55    | 1,74   | 1,99    | 2,32   | 2,78    | 3,48   |
| D                  | 1,19   | 1,32    | 1,48   | 1,69    | 1,98   | 2,37    | 2,96   |
| E                  | 0,94   | 1,05    | 1,18   | 1,34    | 1,57   | 1,88    | 2,35   |

Preglednica 5.2: Maksimalno dovoljeno razmerje med višino objekta (merjeno od tal do kote zgornje plošče) in dolžino krajše stranice tlorisa  $H/L$  za vrtee in šole ( $\gamma_I = 1.2$ ) v odvisnosti od tipa tal in stopnje seizmičnosti lokacije objekta.

| tip tal/ $a_{g,R}$ | 0,25 g | 0,225 g | 0,20 g | 0,175 g | 0,15 g | 0,125 g | 0,10 g |
|--------------------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| A                  | 1,33   | 1,48    | 1,67   | 1,90    | 2,22   | 2,67    | 3,33   |
| B                  | 1,11   | 1,23    | 1,39   | 1,59    | 1,85   | 2,22    | 2,78   |
| C                  | 1,16   | 1,29    | 1,45   | 1,66    | 1,93   | 2,32    | 2,90   |
| D                  | 0,99   | 1,10    | 1,23   | 1,41    | 1,65   | 1,98    | 2,47   |
| E                  | 0,78   | 0,87    | 0,98   | 1,12    | 1,31   | 1,57    | 1,96   |

## 5.2 Račun mejnega zdrsa

Verjetnost za pojav zdrs objekta zaradi potresnega vpliva je majhna, saj eksperimentalni rezultati kažejo, da je koeficient lepenja na najbolj kritičnem mestu temeljnega sklopa, sorazmerno velik ( $k_f=0.6$ ) tudi v primeru, ko je toplotna izolacija prosto položena na hidroizolacijo. Ocenjujemo, da bodo objekti JUBHome sposobni prenesti zelo velike horizontalne sile, kar je s stališča majhnih poškodb na objektih ugodno, posledično pa so verjetnosti za zdrs vseeno tolikšne, da jih ni mogoče zanemariti. Na primer, potresne zahteve (v smislu horizontalne potresne sile) so za potres v Zgornjem Posočju (2004) za območje Bovca znašale precej več kot 60 % teže objekta (do 200 % teže), kar pomeni, da obstaja potencial za zdrs objekta. Ker obstaja neka verjetnost za zdrs objekta in ker bi lahko posledice zdrsa posredno ogrožale človeška življenja, v nadaljevanju predlagamo vrednosti mejnega zdrsa, ki smo jih določili z verjetnostno analizo potresnih zahtev. Pri gradnji je zato potrebno inštalacije, katerih odpoved bi lahko posredno ogrozila človeška življenja, izvesti na način, da



ne ogrožajo človeška življenja, vse dokler velikost zdrsa ne preseže mejnega zdrsa. Mejni zdrs med konstrukcijo in inštalacijo mora biti zagotovljen v vseh horizontalnih smereh.

### 5.2.1 Definicija sprejemljive zanesljivosti za doseg kriterija po omejitvi poškodb in kriterija po neporušitvi

V tej študiji je sprejemljiva zanesljivost definirana z verjetnostjo prekoračitve mejnega stanja v dobi enega leta. Standard SIST EN 1998-1 predvideva, da je zadoščeno stanju po omejitvi poškodb s primerno zanesljivostjo, če so etažni pomiki, ki ustrezajo potresu s povratno dobo 95 let (1 % v enem letu, 40 % v 50 letih) v okviru predpisanih mejnih vrednosti. Če izhajamo iz predpostavke, da je mejno stanje omejitve poškodb doseženo ravno pri potresu s povratno dobo 95 let ter upoštevamo poenostavljeno enačbo potresnega tveganja (Fajfar in Dolšek 2012), ugotovimo, da se sprejemljiva zanesljivost za doseg kriterija po omejitvi poškodb lahko oceni po naslednji enačbi

$$P_{t,DLR} \approx \frac{1}{T_{DLR}} \cdot \exp\left(\frac{k^2 \beta^2}{2}\right) \quad (5.3)$$

kjer je  $T_{DLR}$  referenčna povratna doba potresa za katero se kontrolira zahteva po omejitvi poškodb,  $k$  naklon funkcije potresne nevarnosti v logaritemskih koordinatah in  $\beta$  standardna deviacija logaritemskih vrednosti pospeškov, ki povzročijo stanje omejenih poškodb (zdrs). Ker je korekcijski faktor, ki je v enačbi (5.3) izražen z eksponentno funkcijo večji od 1, smo v smislu standarda SIST EN 1998-1 na varni strani, če definiramo, da znaša sprejemljiva verjetnost za pojav zdrsa v dobi enega leta  $P_{t,DLR} = 10^{-2}$  (1 % v enem letu). Ta zahteva je nekoliko strožja od zahteve po standardu SIST EN 1998-1.

Standard SIST EN 1998-1 smatra, da je zahteva po neporušitvi izpolnjena s primerno stopnjo zanesljivosti, če se dokaže, da je konstrukcija projektirana in zgrajena tako, da prenese projektni potresni vpliv, ne da bi prišlo do porušitve dela ali celote stavbe. Priporočena referenčna vrednost povratne dobe projektnega potresa za kontrolo zahteve po neporušitvi znaša  $T_{NCR} = 475$  let (0.2 % v enem letu, 10 % v 50 letih). V tem primeru sprejemljive zanesljivosti ne moremo oceniti po enačbi (5.3), saj se pri projektiranju nosilnosti v splošnem upoštevajo še dodatni projektni faktorji (npr. delni varnostni faktorji na material, minimalne zahteve za dimenzije in količino potrebne armature, princip načrtovanja nosilnosti), kar pomeni, da je projektna potresna obtežba le eden izmed projektnih faktorjev, ki vplivajo na varnost proti porušitvi objekta. Zato velja, da je sprejemljiva verjetnost za kontrolo kriterija po neporušitvi bistveno manjša od 0.2 %/leto. Deloma gre tudi za subjektivno oceno, saj točne sprejemljive verjetnosti ni mogoče določiti. Standard ASCE 7-05 (npr. Luco in soavtorji, 2007) izhaja iz ciljne letne verjetnosti porušitve  $2 \cdot 10^{-4}$  (1 % v 50 letih). Fajfar in Dolšek (2012) ter tudi Douglas in soavtorji (2013) so smatrali, da je ta takšna verjetnost porušitve za evropska merila prevelika. Dolšek in Fajfar (2012) sta predlagala, da bi bila bolj primerna vrednost za sprejemljivo letno verjetnost porušitve  $1 \cdot 10^{-5}$  (0.05% v 50 letih). Zelo

podobna vrednost je bila določena tudi na osnovi ankete, ki je bila v Sloveniji izvedena med strokovnjaki in nestrokovnjaki (Fajfar in soavtorja, 2014).

Ker zdrs objekta ne pomeni porušitve dela objekta, ki bi ogrozil človeška življenja, ali objekta kot celote, pravzaprav ni potrebno, da bi velikost zdrs omejili za kontrolo kriterija po neporušitvi. Vseeno smatramo, da je kontrola smiselna zaradi posrednega tveganja, saj se lahko v primeru zdrs pretrgajo nekateri vodi, ki bi lahko posledično ogrozili človeška življenja.

Ker ocenjujemo, da je verjetnost za izgubo življenja pri pogoju, da se zaradi zdrs objekta pretrgajo plinske ali električne inštalacije, manjša kot v primeru, da pride do porušitve dela ali celote objekta, smo v tej študiji predpostavili, da sprejemljiva verjetnost za mejno vrednost zdrs znaša  $5 \cdot 10^{-5}$  (0.25 % v 50 letih). Mejno vrednost zdrs je potrebno razumeti kot tisto vrednost zdrs objekta, za katerega obstaja velika verjetnost, da bi povzročil pretrg inštalacij, kar bi lahko potencialno ogrozilo človeška življenja. Ker je verjetnost za pojav mejne vrednosti zdrs enaka sprejemljivi zanesljivosti se smatra, da je zahteva po neporušitvi izpolnjena, če ključne inštalacije izvedemo na način, da njihova odpoved ne ogroža človeška življenja vse dokler ni mejni zdrs presežen.

## **5.2.2 Verjetnostna analiza potresnih zahtev v smislu zdrs objekta**

### **5.2.2.1 Predpostavke in model**

Pri simulacijah zdrs smo predpostavili, da delna vkopanost objekta ne preprečuje zdrs. Poleg tega smo predpostavili, da objekt drsi po podlagi, ne da bi prišlo do prevračanja. Ta predpostavka je verjetno dovolj natančna, saj je višina objekta omejena s kontrolo prevrnitve objekta, poleg tega pa smo pri eksperimentih za račun koeficienta lepenja upoštevali deloma tudi moment in ne le prečno silo, kar pomeni, da je ta efekt delno upoštevan pri določitvi koeficienta lepenja.

Za konstrukcijo smo uporabili model z eno prostostno stopnjo. Predpostavili smo, da se konstrukcija obnaša elastično. To je v nekaterih primerih nekoliko konservativna predpostavka, vendar ocenjujemo, da bodo JUBHome stavbe sposobne prenesti precej velike potresne sile ne da bi se poškodovale. Zdrs smo modelirali s strižno vzmetjo, katere togost in nosilnost smo izračunali iz rezultatov eksperimentov. Upoštevali smo idealno elasto-plastično histerezo obnašanje, kar prav tako dobro ustreza rezultatom eksperimentov. Ker je nosilnost na zdrs neposredno odvisna od teže objekta smo predpostavili, da geometrija temelja nima velikega vpliva na velikost zdrs objekta. Poleg tega smo predpostavili, da je koeficient lepenja neodvisen od napetosti pod temeljem ter praktično enak koeficientu trenja. Potresno analizo smo izvedli za sisteme, ki imajo nihajni čas približno enak 0.20 s, 0.15 s, 0.10 s in 0.05 s. V analizah smo upoštevali dva različna koeficienta lepenja 0.61 in 0.96. Manjša vrednost ustreza temeljnemu sklopu JUBHome BASE, ki je izveden na način, da je toplotna

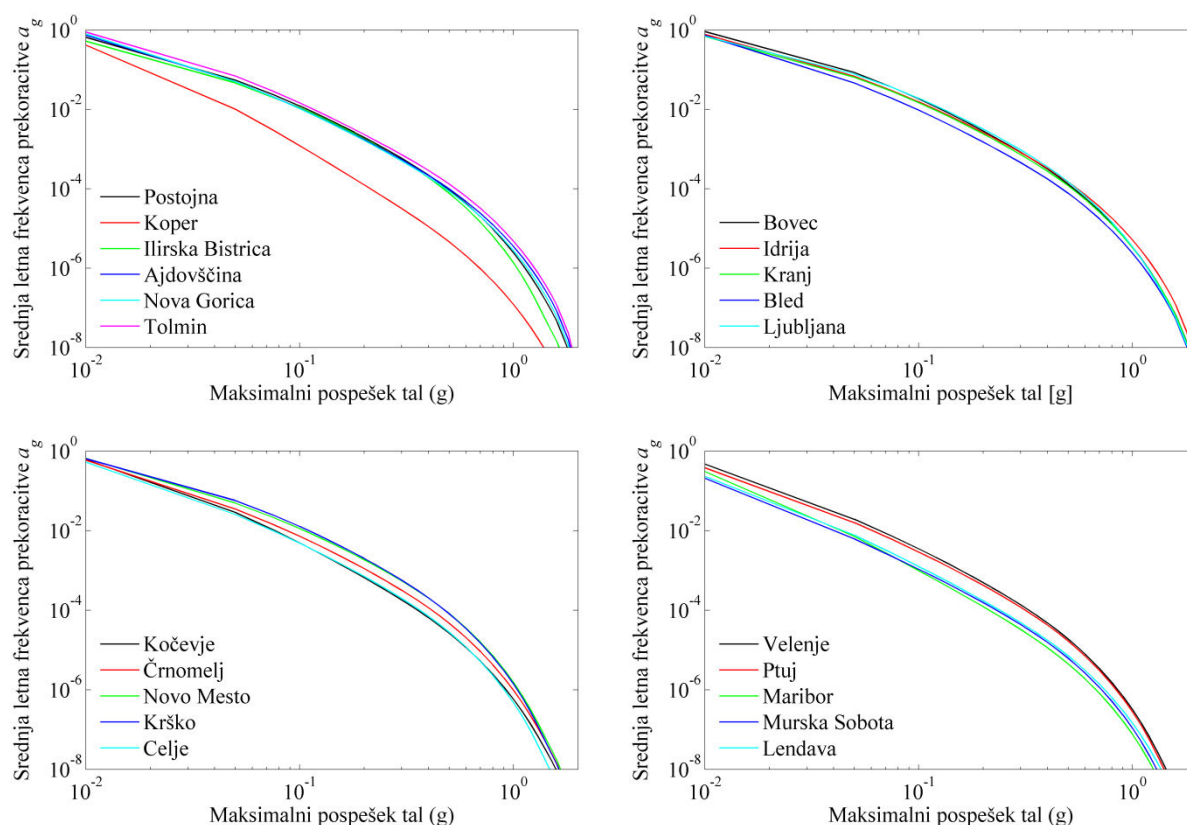
izolacija prosto položena na hidroizolacijo, slednja vrednost koeficienta lepenja pa ustreza izvedbi z lepljenim stikom (Hidrozol) med toplotno izolacijo in hidroizolacijo.

Vpliv slučajnosti potresne obtežbe smo simulirali z naborom 30ih akceleroگرامov, ki so ustrezali ciljnemu spektru. Za določitev ciljnega spektra smo uporabili koncept pogojnega spektra pospeškov (Baker, 2011), ki smo ga izračunali za povratno dobo 2475 let. Analiza konstrukcije na osnovi pogojnega spektra pospeškov, daje bolj realne rezultate v primerjavi z rezultati analiz pri katerih so akceleroگرامi izbrani na osnovi spektra enotne potresne nevarnosti. Izkaže se, da je pogojni spekter pospeškov, v območju kratkih period, po obliki precej podoben elastičnemu spektru pospeškov po SIST EN 1998-1. Akceleroگرامe smo izbrali za tipe tal A, B, C in D na osnovi baz akceleroagramov, ki ustrezajo dejanskim potresom na določenem tipu tal. Pri analizi za tip tal E smo uporabili kar akceleroagrame za tip tal A, vendar smo upoštevali korekcijo zaradi faktorja tal.

Funkcijo potresne nevarnosti smo določili glede na analizo potresne nevarnosti za Slovenijo (Lapajne in soavtorja, 2001, 2003), ki je bila osnova za določitev projektnih potresnih kart. Pri verjetnostni analizi potresnega tveganja smo zato morali ekstrapolirati funkcije potresne nevarnosti, saj ni natančnih podatkov kakšne so verjetnosti za pojav potresov, ki imajo precej velike pospeške tal. Maksimalni pospešek tal na skali (tip tal A) smo izbrali za mero za intenziteto potresa. Zato so vse funkcije potresne nevarnosti, ki smo jih uporabili v verjetnostni analizi, določene le za to mero intenzitete potresa. Takšen pristop bi bil napačen, če ne bi korigirali krivulj ranljivosti za zdrs objektov, ki so locirani na različnih tleh. Transformacijo pospeška tal za izbran tip tal na pospešek tal na skali (tip tal A), smo izvedli preko faktorja tal, ki je definiran v SIST EN 1998-1. Krivulje ranljivosti za mejni zdrs, s katerimi definiramo odnos med intenziteto potresa in verjetnostjo pojava mejnega zdrsa, smo določili na osnovi rezultatov dinamičnih analiz pri čemer smo predpostavili logaritemsko normalno porazdelitev. Ker vpliva epistemičnih negotovosti nismo upoštevali v računu, smo predpostavili, da je standardna deviacija mejnih pospeškov zaradi vpliva epistemičnih negotovosti enaka standardni deviaciji mejnih pospeškov zaradi vpliva slučajnosti potresne obtežbe.

#### **5.2.2.2 Funkcija potresne nevarnosti, ciljni spektri in akceleroagrami za dinamično analizo**

Funkcije potresne nevarnosti (slika 5.1) smo določili za maksimalni pospešek tal. Uporabili smo lastno proceduro, ki temelji na programu OHAZ (Zabukovec, 2000). Uporabili smo enake vhodne podatke, kot so bili uporabljeni za izračun karte potresne nevarnosti (Lapajne in soavtorja, 2001, 2003): pet modelov preteklega prostorske porazdelitve potresne dejavnosti, seizmotektonski model, ki so ga predlagali Poljak in soavtorji (2000) ter atenuacijsko pravilo Sabetta in Pugliese (1996). V verjetnostni analizi potresnih zahtev smo upoštevali 21 lokacij. Za te lokacije so funkcije potresne nevarnosti prikazane na sliki 5.1.

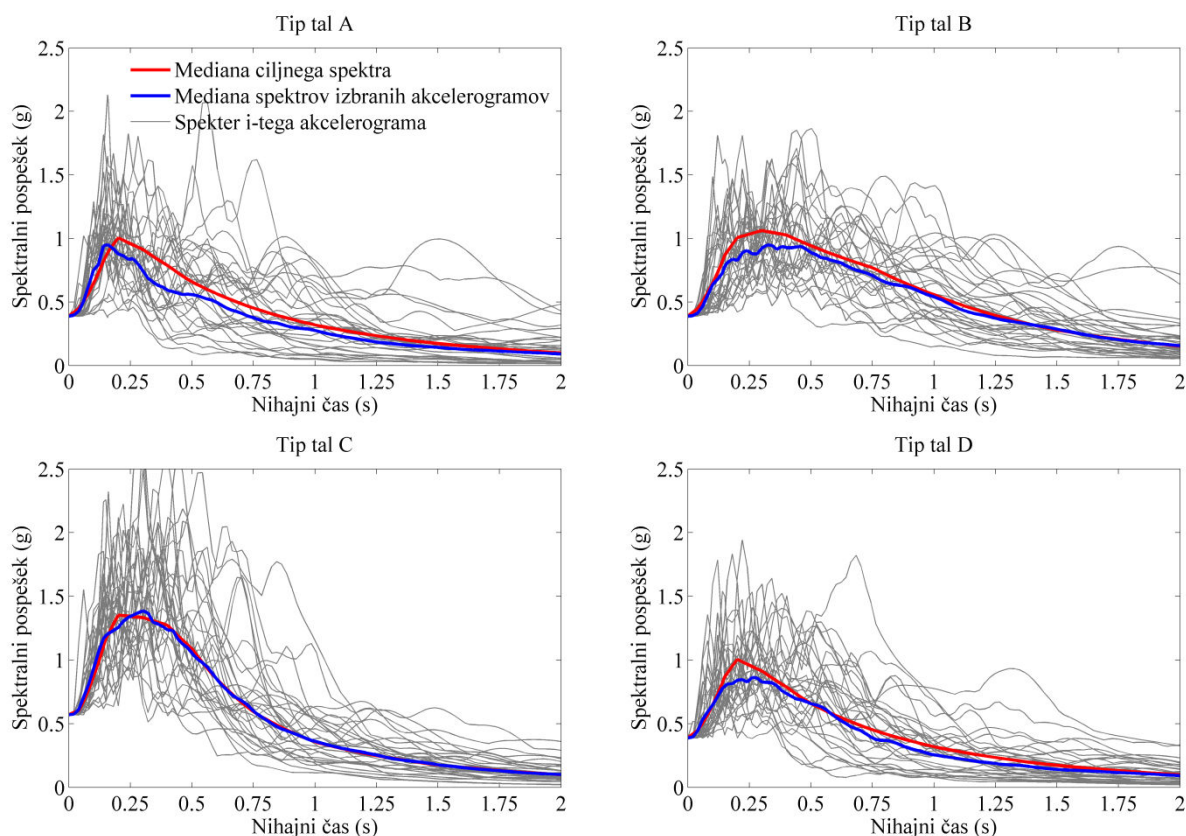


Slika 5.1: Funkcije potresne nevarnosti za maksimalni pospešek tal na skali za različne lokacije po Sloveniji.

Za dinamične analize smo izbrali štiri skupine akceleroگرامov, ki so bili posneti na tipu tal A, B, C in D. Za ciljni spekter smo uporabili koncept pogojnega spektra pospeškov, ki smo ga določili za povratno dobo 2475 let.

Pogojni spekter smo določili na osnovi rezultatov razčlenitve potresne nevarnosti, ki smo jo izvedli z lastno proceduro uporabljeno tudi za izračun funkcij potresne nevarnosti. Za mero za intenziteto smo izbrali maksimalni pospešek tal, ki za povratno dobo 2475 let in za tipe tal A, B in D znaša  $a_g = 0.39$  g, za tip tal C pa  $a_g = 0.57$  g. Enaka vrednost pospeška tal za različne tipe tal je posledica izbranega atenuacijskega pravila. Na osnovi tako določenih maksimalnih pospeškov tal smo izračunali srednji potresni scenarij, ki je določen z srednjo magnitudo  $M = 6.14$  in srednjo oddaljenostjo izvora potresa  $R = 5.64$  km. Srednji potresni scenarij je potreben za izračun pogojnega spektra pospeškov.

Ker je zapisov potresov na skali sorazmerno malo, se mediana izbranih akceleroگرامov v območju nihajnih časov med 0.20 s in 1.00 s slabo ujema s ciljnim pogojnim spektrom (slika 5.2). Zato smo rezultate analize (pospeške) za skupini akceleroagramov za tla tipa A in B in za primer, ko je imel sistem nihajni čas 0.20 s korigirali (reducirali) s korekcijskim faktorjem 1.15, ter, če je bila analiza izvedena za tip tal A in B.

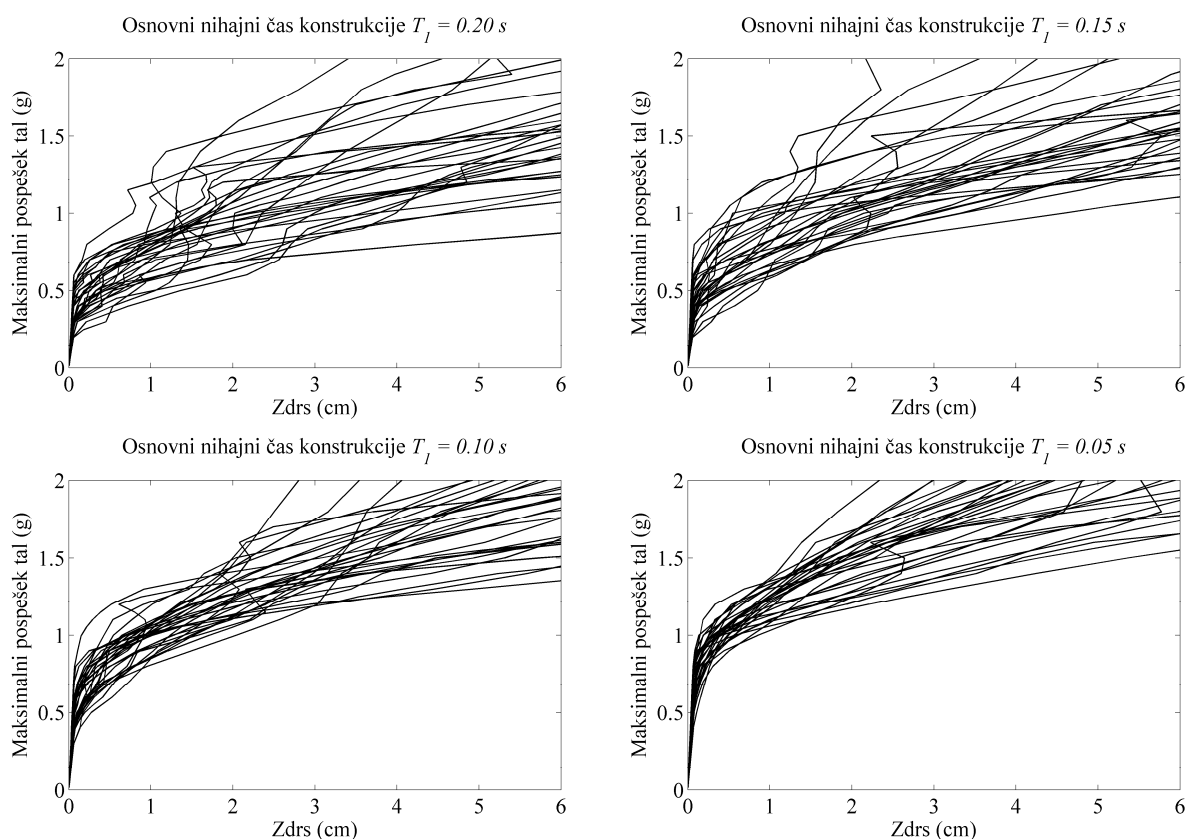


Slika 5.2: Ciljni pogojni spekter pospeškov, pripadajoč spekter pospeškov izbranih akceleroگرامov in spektri pospeškov posameznih akceleroگرامov za tip tal A, B, C in D.

### 5.2.2.3 Verjetnostna analiza potresnih zahtev

Odnos med zdrsom konstrukcije in maksimalnim pospeškom tal za tipe tal A, B, C in D smo določili za štiri nihajne čase. Na slikah 5.3 so prikazani rezultati analize za konstrukcije, kjer je bil upoštevan koeficient lepenja 0.61, tip tal C in vsi štiri osnovni nihajni časi konstrukcije. Na osnovi teh rezultatov smo določili mediano mejnih pospeškov in pripadajočo standardno deviacijo logaritemskih vrednosti mejnih pospeškov, ki ustrezajo izbranimi vrednostim zdrsa. Za nekaj primerov izbranih vrednosti zdrsa so ti rezultati prikazani v preglednici 5.3, kjer je prikazana tudi dejansko upoštevana standardna deviacija mejnih pospeškov, ki je bila določena kot koren vsote kvadratov standardne deviacije zaradi vpliva slučajnosti potresne obtežbe in zaradi vpliva epistemičnih negotovosti. Kot smo omenili v poglavju 5.2.2.1 smo predpostavili, da jo vpliv epistemičnih negotovosti kar enak vplivu negotovosti zaradi slučajnosti potresne obtežbe.





Slika 5.3: Odnos med zdrsom objekta in maksimalnim pospeškom tal na tipu tal C za vseh 30 akceleroگرامov, 4 nihajne čase ter za koeficient lepenja  $k_l = 0.61$  (prosto položena toplotna izolacija).

V verjetnostni analiz potresnih zahtev je potrebno določiti krivulje ranljivosti za vse možne vrednosti zdrsa objekta. Kot smo omenili v poglavju 5.2.2.1, smo krivulje ranljivosti določili tako, da smo mediane mejnih pospeškov na izbranem tipu tal, ki so prikazane v preglednici 5.3, transformirali na mejni pospešek na tipu tal A. V ta namen smo uporabili faktorje tal, kot jih definira Evrokod 8. Upoštevani transformacijski faktorji za določitev krivulj ranljivosti, ki so izražene s pospeškom tal na skali so naslednji:

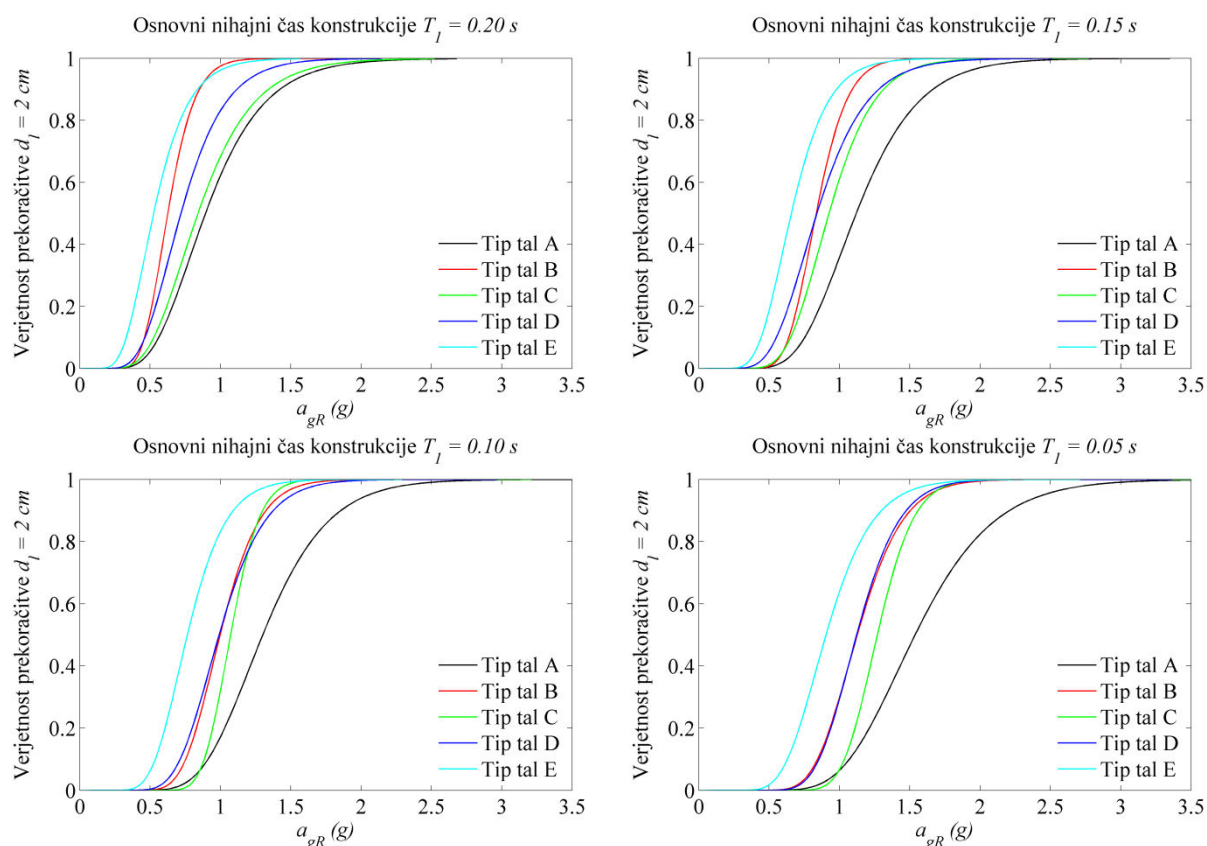
- 1 za tip tal A
- $1/1.2=0.833$  za tip tal B
- $1/1.15=0.870$  za tip tal C
- $1/1.35=0.741$  za tip tal D
- $1/1.7=0.588$  za tip dal E

Krivulje ranljivosti za primer mejnega zdrsa  $d_l = 2$  cm in koeficienta lepenja 0.61 (prosto položena toplotna izolacija) so prikazane na slikah 5.4. Pri računu krivulj ranljivosti je bila upoštevana transformacija na pospešek na skali.

Preglednica 5.3. Mediane mejnih pospeškov na lokaciji objekta  $\tilde{a}_g$  in pripadajoče standardne deviacije logaritemskih vrednosti mejnih pospeškov  $\beta_{RU}$  za izbrane vrednosti zdrsa objekta, za tipe tal A, B, C in D ter za koeficienta lepenja  $k_l = 0.61$  in  $0.96$ . Pri računu standardnih deviacij logaritemskih vrednosti mejnih pospeškov smo poleg slučajne narave potresov na poenostavljen način upoštevali še vpliv epistemičnih negotovosti (poglavje 5.2.2.1).

|         |         | Mediane mejnih pospeškov in pripadajoča standardna deviacija za $k_l = 0.61$ |              |               |              |               |              |               |              |
|---------|---------|------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| $T$ (s) | Tip tal | $d_l = 0.07$ cm                                                              |              | $d_l = 1$ cm  |              | $d_l = 2$ cm  |              | $d_l = 4$ cm  |              |
|         |         | $\tilde{a}_g$                                                                | $\beta_{RU}$ | $\tilde{a}_g$ | $\beta_{RU}$ | $\tilde{a}_g$ | $\beta_{RU}$ | $\tilde{a}_g$ | $\beta_{RU}$ |
| 0.20    | A       | 0.31                                                                         | 0.47         | 0.63          | 0.42         | 0.89          | 0.36         | 1.24          | 0.39         |
|         | B       | 0.33                                                                         | 0.48         | 0.60          | 0.31         | 0.75          | 0.24         | 0.93          | 0.24         |
|         | C       | 0.35                                                                         | 0.43         | 0.72          | 0.30         | 0.97          | 0.37         | 1.28          | 0.33         |
|         | D       | 0.37                                                                         | 0.51         | 0.73          | 0.31         | 0.97          | 0.34         | 1.27          | 0.41         |
| 0.15    | A       | 0.32                                                                         | 0.54         | 0.83          | 0.31         | 1.12          | 0.31         | 1.58          | 0.35         |
|         | B       | 0.40                                                                         | 0.53         | 0.83          | 0.29         | 1.00          | 0.21         | 1.24          | 0.24         |
|         | C       | 0.39                                                                         | 0.47         | 0.81          | 0.30         | 1.06          | 0.27         | 1.38          | 0.30         |
|         | D       | 0.40                                                                         | 0.42         | 0.88          | 0.33         | 1.13          | 0.33         | 1.49          | 0.41         |
| 0.10    | A       | 0.41                                                                         | 0.46         | 0.96          | 0.23         | 1.30          | 0.28         | 1.72          | 0.38         |
|         | B       | 0.50                                                                         | 0.56         | 1.01          | 0.22         | 1.20          | 0.22         | 1.43          | 0.26         |
|         | C       | 0.47                                                                         | 0.32         | 1.01          | 0.17         | 1.23          | 0.15         | 1.61          | 0.22         |
|         | D       | 0.46                                                                         | 0.50         | 1.08          | 0.21         | 1.34          | 0.26         | 1.74          | 0.37         |
| 0.05    | A       | 0.56                                                                         | 0.42         | 1.23          | 0.18         | 1.54          | 0.28         | 1.99          | 0.39         |
|         | B       | 0.66                                                                         | 0.35         | 1.17          | 0.14         | 1.35          | 0.23         | 1.62          | 0.29         |
|         | C       | 0.63                                                                         | 0.28         | 1.21          | 0.11         | 1.46          | 0.16         | 1.84          | 0.21         |
|         | D       | 0.57                                                                         | 0.46         | 1.23          | 0.17         | 1.52          | 0.21         | 1.91          | 0.34         |

|         |         | Mediana mejnih pospeškov in pripadajoča standardna deviacija za $k_l = 0.96$ |              |               |              |               |              |               |              |
|---------|---------|------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| $T$ (s) | Tip tal | $d_l = 0.1$ cm                                                               |              | $d_l = 1$ cm  |              | $d_l = 2$ cm  |              | $d_l = 4$ cm  |              |
|         |         | $\tilde{a}_g$                                                                | $\beta_{RU}$ | $\tilde{a}_g$ | $\beta_{RU}$ | $\tilde{a}_g$ | $\beta_{RU}$ | $\tilde{a}_g$ | $\beta_{RU}$ |
| 0.20    | A       | 0.50                                                                         | 0.47         | 0.86          | 0.43         | 1.12          | 0.37         | 1.59          | 0.37         |
|         | B       | 0.53                                                                         | 0.46         | 0.84          | 0.34         | 1.03          | 0.27         | 1.27          | 0.22         |
|         | C       | 0.58                                                                         | 0.42         | 0.98          | 0.31         | 1.23          | 0.30         | 1.68          | 0.34         |
|         | D       | 0.59                                                                         | 0.52         | 0.99          | 0.33         | 1.26          | 0.30         | 1.68          | 0.37         |
| 0.15    | A       | 0.53                                                                         | 0.51         | 1.08          | 0.33         | 1.43          | 0.30         | 1.94          | 0.32         |
|         | B       | 0.64                                                                         | 0.52         | 1.13          | 0.32         | 1.39          | 0.27         | 1.70          | 0.21         |
|         | C       | 0.62                                                                         | 0.44         | 1.12          | 0.35         | 1.39          | 0.28         | 1.85          | 0.29         |
|         | D       | 0.62                                                                         | 0.46         | 1.19          | 0.33         | 1.51          | 0.32         | 1.96          | 0.34         |
| 0.10    | A       | 0.66                                                                         | 0.45         | 1.29          | 0.29         | 1.65          | 0.22         | 2.24          | 0.30         |
|         | B       | 0.79                                                                         | 0.57         | 1.42          | 0.31         | 1.69          | 0.21         | 1.99          | 0.23         |
|         | C       | 0.74                                                                         | 0.34         | 1.39          | 0.20         | 1.69          | 0.15         | 2.14          | 0.17         |
|         | D       | 0.75                                                                         | 0.49         | 1.45          | 0.22         | 1.81          | 0.22         | 2.29          | 0.28         |
| 0.05    | A       | 0.88                                                                         | 0.41         | 1.75          | 0.17         | 2.06          | 0.19         | 2.61          | 0.31         |
|         | B       | 1.04                                                                         | 0.35         | 1.68          | 0.11         | 1.94          | 0.18         | 2.24          | 0.24         |
|         | C       | 0.99                                                                         | 0.28         | 1.73          | 0.11         | 2.02          | 0.12         | 2.47          | 0.18         |
|         | D       | 0.91                                                                         | 0.46         | 1.75          | 0.16         | 2.06          | 0.18         | 2.61          | 0.29         |



Slika 5.4: Krivulje ranljivosti za štiri različne nihajne čase in pet tipov tal ter za koeficient lepenja 0.61. Mera za intenziteto potresa je maksimalni pospešek tal na tipu tal A.

## Pričakovana letna verjetnost za zdrs – mejno stanje omejenih poškodb

Verjetnost nastopa zdrsa temeljnega sklopa, smo določili s konvolucijo krivulje ranljivosti za nastop zdrsa in funkcije potresne nevarnosti (npr. Fajfar in Dolšek, 2012). Uporabili smo 20 krivulj ranljivosti, ki pripadajo petim tipom tal in štirim nihajnim časom ter funkcije potresne nevarnosti za vseh 21 lokacij po Sloveniji. Na ta način smo upoštevali 420 kombinacij objektov in lokacij na katerih so postavljeni. Verjetnosti za pojava zdrsa za koeficient lepenja  $k_l = 0.61$  (prosto položena toplotna izolacija) so podane v preglednicah od 5.4 in 5.5, za koeficient lepenja 0.96 (lepljen stik) pa v preglednicah med 5.6 in 5.7.

Preglednica 5.4. Verjetnosti nastopa zdrsa v temeljnem sklopu za štiri nihajne čase, pet tipov tal, koeficient lepenja  $k_l = 0.61$  in 7 lokacij po Sloveniji.

| $T$ (s) | Tip tal | Postojna             | Koper                | Ilirska Bistrica     | Ajdovščina           | Nova Gorica          | Tolmin               | Bovec                |
|---------|---------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 0.20    | A       | $1.29 \cdot 10^{-3}$ | $9.80 \cdot 10^{-5}$ | $1.17 \cdot 10^{-3}$ | $1.14 \cdot 10^{-3}$ | $1.09 \cdot 10^{-3}$ | $1.54 \cdot 10^{-3}$ | $1.89 \cdot 10^{-3}$ |
|         | B       | $1.77 \cdot 10^{-3}$ | $1.45 \cdot 10^{-4}$ | $1.60 \cdot 10^{-3}$ | $1.55 \cdot 10^{-3}$ | $1.50 \cdot 10^{-3}$ | $2.11 \cdot 10^{-3}$ | $2.60 \cdot 10^{-3}$ |
|         | C       | $1.14 \cdot 10^{-3}$ | $8.16 \cdot 10^{-5}$ | $1.04 \cdot 10^{-3}$ | $1.01 \cdot 10^{-3}$ | $9.67 \cdot 10^{-4}$ | $1.37 \cdot 10^{-3}$ | $1.67 \cdot 10^{-3}$ |
|         | D       | $1.99 \cdot 10^{-3}$ | $1.71 \cdot 10^{-4}$ | $1.79 \cdot 10^{-3}$ | $1.74 \cdot 10^{-3}$ | $1.69 \cdot 10^{-3}$ | $2.37 \cdot 10^{-3}$ | $2.93 \cdot 10^{-3}$ |
|         | E       | $5.09 \cdot 10^{-3}$ | $5.33 \cdot 10^{-4}$ | $4.54 \cdot 10^{-3}$ | $4.46 \cdot 10^{-3}$ | $4.36 \cdot 10^{-3}$ | $6.10 \cdot 10^{-3}$ | $7.62 \cdot 10^{-3}$ |
| 0.15    | A       | $1.44 \cdot 10^{-3}$ | $1.20 \cdot 10^{-4}$ | $1.30 \cdot 10^{-3}$ | $1.27 \cdot 10^{-3}$ | $1.22 \cdot 10^{-3}$ | $1.72 \cdot 10^{-3}$ | $2.12 \cdot 10^{-3}$ |
|         | B       | $1.24 \cdot 10^{-3}$ | $9.90 \cdot 10^{-5}$ | $1.12 \cdot 10^{-3}$ | $1.09 \cdot 10^{-3}$ | $1.05 \cdot 10^{-3}$ | $1.48 \cdot 10^{-3}$ | $1.82 \cdot 10^{-3}$ |
|         | C       | $1.02 \cdot 10^{-3}$ | $7.46 \cdot 10^{-5}$ | $9.31 \cdot 10^{-4}$ | $9.07 \cdot 10^{-4}$ | $8.68 \cdot 10^{-4}$ | $1.23 \cdot 10^{-3}$ | $1.50 \cdot 10^{-3}$ |
|         | D       | $1.28 \cdot 10^{-3}$ | $9.22 \cdot 10^{-5}$ | $1.16 \cdot 10^{-3}$ | $1.13 \cdot 10^{-3}$ | $1.08 \cdot 10^{-3}$ | $1.53 \cdot 10^{-3}$ | $1.86 \cdot 10^{-3}$ |
|         | E       | $5.44 \cdot 10^{-3}$ | $6.28 \cdot 10^{-4}$ | $4.81 \cdot 10^{-3}$ | $4.79 \cdot 10^{-3}$ | $4.71 \cdot 10^{-3}$ | $6.56 \cdot 10^{-3}$ | $8.16 \cdot 10^{-3}$ |
| 0.10    | A       | $5.58 \cdot 10^{-4}$ | $3.66 \cdot 10^{-5}$ | $5.06 \cdot 10^{-4}$ | $5.03 \cdot 10^{-4}$ | $4.76 \cdot 10^{-4}$ | $6.79 \cdot 10^{-4}$ | $8.08 \cdot 10^{-4}$ |
|         | B       | $7.60 \cdot 10^{-4}$ | $5.74 \cdot 10^{-5}$ | $6.88 \cdot 10^{-4}$ | $6.76 \cdot 10^{-4}$ | $6.47 \cdot 10^{-4}$ | $9.18 \cdot 10^{-4}$ | $1.11 \cdot 10^{-3}$ |
|         | C       | $3.38 \cdot 10^{-4}$ | $1.90 \cdot 10^{-5}$ | $3.02 \cdot 10^{-4}$ | $3.15 \cdot 10^{-4}$ | $2.92 \cdot 10^{-4}$ | $4.23 \cdot 10^{-4}$ | $4.82 \cdot 10^{-4}$ |
|         | D       | $1.05 \cdot 10^{-3}$ | $7.88 \cdot 10^{-5}$ | $9.53 \cdot 10^{-4}$ | $9.29 \cdot 10^{-4}$ | $8.90 \cdot 10^{-4}$ | $1.26 \cdot 10^{-3}$ | $1.54 \cdot 10^{-3}$ |
|         | E       | $2.45 \cdot 10^{-3}$ | $2.11 \cdot 10^{-4}$ | $2.21 \cdot 10^{-3}$ | $2.14 \cdot 10^{-3}$ | $2.08 \cdot 10^{-3}$ | $2.92 \cdot 10^{-3}$ | $3.62 \cdot 10^{-3}$ |
| 0.05    | A       | $1.76 \cdot 10^{-4}$ | $9.83 \cdot 10^{-6}$ | $1.55 \cdot 10^{-4}$ | $1.67 \cdot 10^{-4}$ | $1.53 \cdot 10^{-4}$ | $2.24 \cdot 10^{-4}$ | $2.50 \cdot 10^{-4}$ |
|         | B       | $1.39 \cdot 10^{-4}$ | $7.37 \cdot 10^{-6}$ | $1.21 \cdot 10^{-4}$ | $1.35 \cdot 10^{-4}$ | $1.23 \cdot 10^{-4}$ | $1.81 \cdot 10^{-4}$ | $1.97 \cdot 10^{-4}$ |
|         | C       | $1.08 \cdot 10^{-4}$ | $5.53 \cdot 10^{-6}$ | $9.21 \cdot 10^{-5}$ | $1.09 \cdot 10^{-4}$ | $9.75 \cdot 10^{-5}$ | $1.45 \cdot 10^{-4}$ | $1.52 \cdot 10^{-4}$ |
|         | D       | $4.85 \cdot 10^{-4}$ | $3.10 \cdot 10^{-5}$ | $4.39 \cdot 10^{-4}$ | $4.39 \cdot 10^{-4}$ | $4.14 \cdot 10^{-4}$ | $5.93 \cdot 10^{-4}$ | $7.01 \cdot 10^{-4}$ |
|         | E       | $9.13 \cdot 10^{-4}$ | $6.20 \cdot 10^{-5}$ | $8.31 \cdot 10^{-4}$ | $8.12 \cdot 10^{-4}$ | $7.73 \cdot 10^{-4}$ | $1.10 \cdot 10^{-3}$ | $1.33 \cdot 10^{-3}$ |

Preglednica 5.5. Verjetnosti nastopa zdrsa v temeljnem sklopu za štiri nihajne čase, pet tipov tal, koeficient lepenja  $k_l = 0.61$  in 14 lokacij po Sloveniji.

| $T$ (s) | Tip tal | Idrija               | Kranj                | Bled                 | Ljubljana            | Kočevje              | Črnomelj             | Novo mesto           |
|---------|---------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 0.20    | A       | $1.70 \cdot 10^{-3}$ | $1.58 \cdot 10^{-3}$ | $9.96 \cdot 10^{-4}$ | $2.06 \cdot 10^{-3}$ | $4.58 \cdot 10^{-4}$ | $7.37 \cdot 10^{-4}$ | $1.21 \cdot 10^{-3}$ |
|         | B       | $2.31 \cdot 10^{-3}$ | $2.15 \cdot 10^{-3}$ | $1.37 \cdot 10^{-3}$ | $2.81 \cdot 10^{-3}$ | $6.47 \cdot 10^{-4}$ | $1.02 \cdot 10^{-3}$ | $1.65 \cdot 10^{-3}$ |
|         | C       | $1.52 \cdot 10^{-3}$ | $1.40 \cdot 10^{-3}$ | $8.82 \cdot 10^{-4}$ | $1.84 \cdot 10^{-3}$ | $3.96 \cdot 10^{-4}$ | $6.49 \cdot 10^{-4}$ | $1.07 \cdot 10^{-3}$ |
|         | D       | $2.58 \cdot 10^{-3}$ | $2.42 \cdot 10^{-3}$ | $1.54 \cdot 10^{-3}$ | $3.15 \cdot 10^{-3}$ | $7.41 \cdot 10^{-4}$ | $1.15 \cdot 10^{-3}$ | $1.85 \cdot 10^{-3}$ |
|         | E       | $6.51 \cdot 10^{-3}$ | $6.15 \cdot 10^{-3}$ | $4.00 \cdot 10^{-3}$ | $7.90 \cdot 10^{-3}$ | $2.06 \cdot 10^{-3}$ | $3.02 \cdot 10^{-3}$ | $4.71 \cdot 10^{-3}$ |
| 0.15    | A       | $1.88 \cdot 10^{-3}$ | $1.75 \cdot 10^{-3}$ | $1.12 \cdot 10^{-3}$ | $2.28 \cdot 10^{-3}$ | $5.29 \cdot 10^{-4}$ | $8.29 \cdot 10^{-4}$ | $1.34 \cdot 10^{-3}$ |
|         | B       | $1.63 \cdot 10^{-3}$ | $1.51 \cdot 10^{-3}$ | $9.59 \cdot 10^{-4}$ | $1.97 \cdot 10^{-3}$ | $4.48 \cdot 10^{-4}$ | $7.10 \cdot 10^{-4}$ | $1.15 \cdot 10^{-3}$ |
|         | C       | $1.36 \cdot 10^{-3}$ | $1.25 \cdot 10^{-3}$ | $7.92 \cdot 10^{-4}$ | $1.64 \cdot 10^{-3}$ | $3.58 \cdot 10^{-4}$ | $5.82 \cdot 10^{-4}$ | $9.58 \cdot 10^{-4}$ |
|         | D       | $1.69 \cdot 10^{-3}$ | $1.56 \cdot 10^{-3}$ | $9.84 \cdot 10^{-4}$ | $2.05 \cdot 10^{-3}$ | $4.45 \cdot 10^{-4}$ | $7.26 \cdot 10^{-4}$ | $1.20 \cdot 10^{-3}$ |
|         | E       | $6.93 \cdot 10^{-3}$ | $6.54 \cdot 10^{-3}$ | $4.32 \cdot 10^{-3}$ | $8.34 \cdot 10^{-3}$ | $2.28 \cdot 10^{-3}$ | $3.26 \cdot 10^{-3}$ | $5.03 \cdot 10^{-3}$ |
| 0.10    | A       | $7.57 \cdot 10^{-4}$ | $6.87 \cdot 10^{-4}$ | $4.33 \cdot 10^{-4}$ | $9.01 \cdot 10^{-4}$ | $1.87 \cdot 10^{-4}$ | $3.12 \cdot 10^{-4}$ | $5.22 \cdot 10^{-4}$ |
|         | B       | $1.01 \cdot 10^{-3}$ | $9.31 \cdot 10^{-4}$ | $5.90 \cdot 10^{-4}$ | $1.22 \cdot 10^{-3}$ | $2.68 \cdot 10^{-4}$ | $4.33 \cdot 10^{-4}$ | $7.09 \cdot 10^{-4}$ |
|         | C       | $4.77 \cdot 10^{-4}$ | $4.20 \cdot 10^{-4}$ | $2.64 \cdot 10^{-4}$ | $5.49 \cdot 10^{-4}$ | $1.06 \cdot 10^{-4}$ | $1.84 \cdot 10^{-4}$ | $3.15 \cdot 10^{-4}$ |
|         | D       | $1.39 \cdot 10^{-3}$ | $1.28 \cdot 10^{-3}$ | $8.12 \cdot 10^{-4}$ | $1.68 \cdot 10^{-3}$ | $3.71 \cdot 10^{-4}$ | $5.98 \cdot 10^{-4}$ | $9.81 \cdot 10^{-4}$ |
|         | E       | $3.18 \cdot 10^{-3}$ | $2.98 \cdot 10^{-3}$ | $1.90 \cdot 10^{-3}$ | $3.88 \cdot 10^{-3}$ | $9.15 \cdot 10^{-4}$ | $1.42 \cdot 10^{-3}$ | $2.28 \cdot 10^{-3}$ |
| 0.05    | A       | $2.52 \cdot 10^{-4}$ | $2.19 \cdot 10^{-4}$ | $1.38 \cdot 10^{-4}$ | $2.84 \cdot 10^{-4}$ | $5.44 \cdot 10^{-5}$ | $9.46 \cdot 10^{-5}$ | $1.62 \cdot 10^{-4}$ |
|         | B       | $2.04 \cdot 10^{-4}$ | $1.74 \cdot 10^{-4}$ | $1.11 \cdot 10^{-4}$ | $2.24 \cdot 10^{-4}$ | $4.18 \cdot 10^{-5}$ | $7.34 \cdot 10^{-5}$ | $1.27 \cdot 10^{-4}$ |
|         | C       | $1.64 \cdot 10^{-4}$ | $1.36 \cdot 10^{-4}$ | $8.72 \cdot 10^{-5}$ | $1.74 \cdot 10^{-4}$ | $3.18 \cdot 10^{-5}$ | $5.61 \cdot 10^{-5}$ | $9.76 \cdot 10^{-5}$ |
|         | D       | $6.62 \cdot 10^{-4}$ | $5.98 \cdot 10^{-4}$ | $3.76 \cdot 10^{-4}$ | $7.84 \cdot 10^{-4}$ | $1.60 \cdot 10^{-4}$ | $2.70 \cdot 10^{-4}$ | $4.53 \cdot 10^{-4}$ |
|         | E       | $1.22 \cdot 10^{-3}$ | $1.12 \cdot 10^{-3}$ | $7.04 \cdot 10^{-4}$ | $1.47 \cdot 10^{-3}$ | $3.10 \cdot 10^{-4}$ | $5.15 \cdot 10^{-4}$ | $8.55 \cdot 10^{-4}$ |

| $T$ (s) | Tip tal | Krško                | Celje                | Velenje              | Ptuj                 | Maribor              | Murska Sobota        | Lendava              |
|---------|---------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 0.20    | A       | $1.31 \cdot 10^{-3}$ | $4.77 \cdot 10^{-4}$ | $3.37 \cdot 10^{-4}$ | $2.86 \cdot 10^{-4}$ | $8.85 \cdot 10^{-5}$ | $1.05 \cdot 10^{-4}$ | $1.20 \cdot 10^{-4}$ |
|         | B       | $1.81 \cdot 10^{-3}$ | $6.65 \cdot 10^{-4}$ | $4.73 \cdot 10^{-4}$ | $3.99 \cdot 10^{-4}$ | $1.27 \cdot 10^{-4}$ | $1.47 \cdot 10^{-4}$ | $1.69 \cdot 10^{-4}$ |
|         | C       | $1.16 \cdot 10^{-3}$ | $4.17 \cdot 10^{-4}$ | $2.93 \cdot 10^{-4}$ | $2.50 \cdot 10^{-4}$ | $7.56 \cdot 10^{-5}$ | $9.18 \cdot 10^{-5}$ | $1.04 \cdot 10^{-4}$ |
|         | D       | $2.04 \cdot 10^{-3}$ | $7.56 \cdot 10^{-4}$ | $5.39 \cdot 10^{-4}$ | $4.54 \cdot 10^{-4}$ | $1.48 \cdot 10^{-4}$ | $1.68 \cdot 10^{-4}$ | $1.94 \cdot 10^{-4}$ |
|         | E       | $5.28 \cdot 10^{-3}$ | $2.03 \cdot 10^{-3}$ | $1.47 \cdot 10^{-3}$ | $1.23 \cdot 10^{-3}$ | $4.32 \cdot 10^{-4}$ | $4.58 \cdot 10^{-4}$ | $5.38 \cdot 10^{-4}$ |
| 0.15    | A       | $1.47 \cdot 10^{-3}$ | $5.42 \cdot 10^{-4}$ | $3.86 \cdot 10^{-4}$ | $3.26 \cdot 10^{-4}$ | $1.05 \cdot 10^{-4}$ | $1.20 \cdot 10^{-4}$ | $1.39 \cdot 10^{-4}$ |
|         | B       | $1.26 \cdot 10^{-3}$ | $4.62 \cdot 10^{-4}$ | $3.28 \cdot 10^{-4}$ | $2.77 \cdot 10^{-4}$ | $8.77 \cdot 10^{-5}$ | $1.02 \cdot 10^{-4}$ | $1.17 \cdot 10^{-4}$ |
|         | C       | $1.04 \cdot 10^{-3}$ | $3.75 \cdot 10^{-4}$ | $2.64 \cdot 10^{-4}$ | $2.24 \cdot 10^{-4}$ | $6.85 \cdot 10^{-5}$ | $8.26 \cdot 10^{-5}$ | $9.39 \cdot 10^{-5}$ |
|         | D       | $1.30 \cdot 10^{-3}$ | $4.67 \cdot 10^{-4}$ | $3.29 \cdot 10^{-4}$ | $2.80 \cdot 10^{-4}$ | $8.51 \cdot 10^{-5}$ | $1.03 \cdot 10^{-4}$ | $1.17 \cdot 10^{-4}$ |
|         | E       | $5.65 \cdot 10^{-3}$ | $2.22 \cdot 10^{-3}$ | $1.62 \cdot 10^{-3}$ | $1.35 \cdot 10^{-3}$ | $4.97 \cdot 10^{-4}$ | $5.08 \cdot 10^{-4}$ | $6.02 \cdot 10^{-4}$ |
| 0.10    | A       | $5.58 \cdot 10^{-4}$ | $1.98 \cdot 10^{-4}$ | $1.39 \cdot 10^{-4}$ | $1.19 \cdot 10^{-4}$ | $3.50 \cdot 10^{-5}$ | $4.36 \cdot 10^{-5}$ | $4.93 \cdot 10^{-5}$ |
|         | B       | $7.70 \cdot 10^{-4}$ | $2.79 \cdot 10^{-4}$ | $1.97 \cdot 10^{-4}$ | $1.68 \cdot 10^{-4}$ | $5.19 \cdot 10^{-5}$ | $6.17 \cdot 10^{-5}$ | $7.05 \cdot 10^{-5}$ |
|         | C       | $3.28 \cdot 10^{-4}$ | $1.14 \cdot 10^{-4}$ | $7.89 \cdot 10^{-5}$ | $6.86 \cdot 10^{-5}$ | $1.92 \cdot 10^{-5}$ | $2.52 \cdot 10^{-5}$ | $2.83 \cdot 10^{-5}$ |
|         | D       | $1.07 \cdot 10^{-3}$ | $3.86 \cdot 10^{-4}$ | $2.73 \cdot 10^{-4}$ | $2.32 \cdot 10^{-4}$ | $7.15 \cdot 10^{-5}$ | $8.52 \cdot 10^{-5}$ | $9.72 \cdot 10^{-5}$ |
|         | E       | $2.52 \cdot 10^{-3}$ | $9.33 \cdot 10^{-4}$ | $6.65 \cdot 10^{-4}$ | $5.61 \cdot 10^{-4}$ | $1.82 \cdot 10^{-4}$ | $2.07 \cdot 10^{-4}$ | $2.39 \cdot 10^{-4}$ |
| 0.05    | A       | $1.68 \cdot 10^{-4}$ | $5.86 \cdot 10^{-5}$ | $4.03 \cdot 10^{-5}$ | $3.51 \cdot 10^{-5}$ | $9.80 \cdot 10^{-6}$ | $1.29 \cdot 10^{-5}$ | $1.46 \cdot 10^{-5}$ |
|         | B       | $1.30 \cdot 10^{-4}$ | $4.50 \cdot 10^{-5}$ | $3.08 \cdot 10^{-5}$ | $2.70 \cdot 10^{-5}$ | $7.40 \cdot 10^{-6}$ | $9.93 \cdot 10^{-6}$ | $1.12 \cdot 10^{-5}$ |
|         | C       | $9.85 \cdot 10^{-5}$ | $3.41 \cdot 10^{-5}$ | $2.32 \cdot 10^{-5}$ | $2.04 \cdot 10^{-5}$ | $5.53 \cdot 10^{-6}$ | $7.52 \cdot 10^{-6}$ | $8.55 \cdot 10^{-6}$ |
|         | D       | $4.83 \cdot 10^{-4}$ | $1.71 \cdot 10^{-4}$ | $1.19 \cdot 10^{-4}$ | $1.02 \cdot 10^{-4}$ | $2.99 \cdot 10^{-5}$ | $3.76 \cdot 10^{-5}$ | $4.24 \cdot 10^{-5}$ |
|         | E       | $9.21 \cdot 10^{-4}$ | $3.29 \cdot 10^{-4}$ | $2.31 \cdot 10^{-4}$ | $1.97 \cdot 10^{-4}$ | $5.86 \cdot 10^{-5}$ | $7.23 \cdot 10^{-5}$ | $8.17 \cdot 10^{-5}$ |



Preglednica 5.6. Verjetnosti nastopa zdrsa v temeljnem sklopu za štiri nihajne čase, pet tipov tal, koeficient lepenja  $k_f = 0.96$  in 14 lokacij po Sloveniji.

| $T$ (s) | Tip tal | Postojna             | Koper                | Ilirska Bistrica     | Ajdovščina           | Nova Gorica          | Tolmin               | Bovec                |
|---------|---------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 0.20    | A       | $3.05 \cdot 10^{-4}$ | $1.86 \cdot 10^{-5}$ | $2.74 \cdot 10^{-4}$ | $2.81 \cdot 10^{-4}$ | $2.63 \cdot 10^{-4}$ | $3.78 \cdot 10^{-4}$ | $4.39 \cdot 10^{-4}$ |
|         | B       | $4.37 \cdot 10^{-4}$ | $2.77 \cdot 10^{-5}$ | $3.94 \cdot 10^{-4}$ | $3.97 \cdot 10^{-4}$ | $3.74 \cdot 10^{-4}$ | $5.35 \cdot 10^{-4}$ | $6.30 \cdot 10^{-4}$ |
|         | C       | $2.47 \cdot 10^{-4}$ | $1.42 \cdot 10^{-5}$ | $2.20 \cdot 10^{-4}$ | $2.31 \cdot 10^{-4}$ | $2.14 \cdot 10^{-4}$ | $3.10 \cdot 10^{-4}$ | $3.53 \cdot 10^{-4}$ |
|         | D       | $5.74 \cdot 10^{-4}$ | $3.99 \cdot 10^{-5}$ | $5.19 \cdot 10^{-4}$ | $5.15 \cdot 10^{-4}$ | $4.89 \cdot 10^{-4}$ | $6.96 \cdot 10^{-4}$ | $8.34 \cdot 10^{-4}$ |
|         | E       | $1.44 \cdot 10^{-3}$ | $1.11 \cdot 10^{-4}$ | $1.31 \cdot 10^{-3}$ | $1.27 \cdot 10^{-3}$ | $1.22 \cdot 10^{-3}$ | $1.72 \cdot 10^{-3}$ | $2.11 \cdot 10^{-3}$ |
| 0.15    | A       | $3.11 \cdot 10^{-4}$ | $1.98 \cdot 10^{-5}$ | $2.80 \cdot 10^{-4}$ | $2.85 \cdot 10^{-4}$ | $2.67 \cdot 10^{-4}$ | $3.84 \cdot 10^{-4}$ | $4.49 \cdot 10^{-4}$ |
|         | B       | $3.09 \cdot 10^{-4}$ | $1.97 \cdot 10^{-5}$ | $2.78 \cdot 10^{-4}$ | $2.83 \cdot 10^{-4}$ | $2.65 \cdot 10^{-4}$ | $3.81 \cdot 10^{-4}$ | $4.46 \cdot 10^{-4}$ |
|         | C       | $2.09 \cdot 10^{-4}$ | $1.20 \cdot 10^{-5}$ | $1.85 \cdot 10^{-4}$ | $1.96 \cdot 10^{-4}$ | $1.81 \cdot 10^{-4}$ | $2.63 \cdot 10^{-4}$ | $2.98 \cdot 10^{-4}$ |
|         | D       | $3.87 \cdot 10^{-4}$ | $2.41 \cdot 10^{-5}$ | $3.49 \cdot 10^{-4}$ | $3.53 \cdot 10^{-4}$ | $3.32 \cdot 10^{-4}$ | $4.76 \cdot 10^{-4}$ | $5.58 \cdot 10^{-4}$ |
|         | E       | $1.44 \cdot 10^{-3}$ | $1.16 \cdot 10^{-4}$ | $1.30 \cdot 10^{-3}$ | $1.26 \cdot 10^{-3}$ | $1.22 \cdot 10^{-3}$ | $1.72 \cdot 10^{-3}$ | $2.11 \cdot 10^{-3}$ |
| 0.10    | A       | $1.11 \cdot 10^{-4}$ | $6.13 \cdot 10^{-6}$ | $9.74 \cdot 10^{-5}$ | $1.08 \cdot 10^{-4}$ | $9.83 \cdot 10^{-5}$ | $1.44 \cdot 10^{-4}$ | $1.58 \cdot 10^{-4}$ |
|         | B       | $2.09 \cdot 10^{-4}$ | $1.33 \cdot 10^{-5}$ | $1.87 \cdot 10^{-4}$ | $1.92 \cdot 10^{-4}$ | $1.80 \cdot 10^{-4}$ | $2.59 \cdot 10^{-4}$ | $3.01 \cdot 10^{-4}$ |
|         | C       | $7.58 \cdot 10^{-5}$ | $3.89 \cdot 10^{-6}$ | $6.42 \cdot 10^{-5}$ | $7.67 \cdot 10^{-5}$ | $6.86 \cdot 10^{-5}$ | $1.03 \cdot 10^{-4}$ | $1.07 \cdot 10^{-4}$ |
|         | D       | $2.50 \cdot 10^{-4}$ | $1.52 \cdot 10^{-5}$ | $2.24 \cdot 10^{-4}$ | $2.31 \cdot 10^{-4}$ | $2.16 \cdot 10^{-4}$ | $3.11 \cdot 10^{-4}$ | $3.59 \cdot 10^{-4}$ |
|         | E       | $6.10 \cdot 10^{-4}$ | $3.99 \cdot 10^{-5}$ | $5.54 \cdot 10^{-4}$ | $5.49 \cdot 10^{-4}$ | $5.20 \cdot 10^{-4}$ | $7.41 \cdot 10^{-4}$ | $8.83 \cdot 10^{-4}$ |
| 0.05    | A       | $3.14 \cdot 10^{-5}$ | $1.60 \cdot 10^{-6}$ | $2.60 \cdot 10^{-5}$ | $3.28 \cdot 10^{-5}$ | $2.89 \cdot 10^{-5}$ | $4.38 \cdot 10^{-5}$ | $4.42 \cdot 10^{-5}$ |
|         | B       | $2.37 \cdot 10^{-5}$ | $1.18 \cdot 10^{-6}$ | $1.89 \cdot 10^{-5}$ | $2.57 \cdot 10^{-5}$ | $2.23 \cdot 10^{-5}$ | $3.44 \cdot 10^{-5}$ | $3.32 \cdot 10^{-5}$ |
|         | C       | $1.64 \cdot 10^{-5}$ | $8.06 \cdot 10^{-7}$ | $1.26 \cdot 10^{-5}$ | $1.88 \cdot 10^{-5}$ | $1.60 \cdot 10^{-5}$ | $2.51 \cdot 10^{-5}$ | $2.30 \cdot 10^{-5}$ |
|         | D       | $1.09 \cdot 10^{-4}$ | $6.00 \cdot 10^{-6}$ | $9.49 \cdot 10^{-5}$ | $1.05 \cdot 10^{-4}$ | $9.57 \cdot 10^{-5}$ | $1.40 \cdot 10^{-4}$ | $1.54 \cdot 10^{-4}$ |
|         | E       | $2.16 \cdot 10^{-4}$ | $1.23 \cdot 10^{-5}$ | $1.92 \cdot 10^{-4}$ | $2.04 \cdot 10^{-4}$ | $1.88 \cdot 10^{-4}$ | $2.73 \cdot 10^{-4}$ | $3.09 \cdot 10^{-4}$ |

| $T$ (s) | Tip tal | Idrija               | Kranj                | Bled                 | Ljubljana            | Kočevje              | Črnomelj             | Novo mesto           |
|---------|---------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 0.20    | A       | $4.23 \cdot 10^{-4}$ | $3.78 \cdot 10^{-4}$ | $2.38 \cdot 10^{-4}$ | $4.94 \cdot 10^{-4}$ | $9.87 \cdot 10^{-5}$ | $1.68 \cdot 10^{-4}$ | $2.84 \cdot 10^{-4}$ |
|         | B       | $5.98 \cdot 10^{-4}$ | $5.39 \cdot 10^{-4}$ | $3.39 \cdot 10^{-4}$ | $7.06 \cdot 10^{-4}$ | $1.44 \cdot 10^{-4}$ | $2.43 \cdot 10^{-4}$ | $4.08 \cdot 10^{-4}$ |
|         | C       | $3.48 \cdot 10^{-4}$ | $3.07 \cdot 10^{-4}$ | $1.93 \cdot 10^{-4}$ | $4.00 \cdot 10^{-4}$ | $7.77 \cdot 10^{-5}$ | $1.34 \cdot 10^{-4}$ | $2.29 \cdot 10^{-4}$ |
|         | D       | $7.73 \cdot 10^{-4}$ | $7.05 \cdot 10^{-4}$ | $4.45 \cdot 10^{-4}$ | $9.23 \cdot 10^{-4}$ | $1.96 \cdot 10^{-4}$ | $3.23 \cdot 10^{-4}$ | $5.36 \cdot 10^{-4}$ |
|         | E       | $1.89 \cdot 10^{-3}$ | $1.76 \cdot 10^{-3}$ | $1.11 \cdot 10^{-3}$ | $2.30 \cdot 10^{-3}$ | $5.15 \cdot 10^{-4}$ | $8.25 \cdot 10^{-4}$ | $1.35 \cdot 10^{-3}$ |
| 0.15    | A       | $4.29 \cdot 10^{-4}$ | $3.84 \cdot 10^{-4}$ | $2.42 \cdot 10^{-4}$ | $5.02 \cdot 10^{-4}$ | $1.02 \cdot 10^{-4}$ | $1.72 \cdot 10^{-4}$ | $2.90 \cdot 10^{-4}$ |
|         | B       | $4.26 \cdot 10^{-4}$ | $3.82 \cdot 10^{-4}$ | $2.41 \cdot 10^{-4}$ | $4.99 \cdot 10^{-4}$ | $1.02 \cdot 10^{-4}$ | $1.71 \cdot 10^{-4}$ | $2.88 \cdot 10^{-4}$ |
|         | C       | $2.96 \cdot 10^{-4}$ | $2.59 \cdot 10^{-4}$ | $1.64 \cdot 10^{-4}$ | $3.37 \cdot 10^{-4}$ | $6.55 \cdot 10^{-5}$ | $1.13 \cdot 10^{-4}$ | $1.93 \cdot 10^{-4}$ |
|         | D       | $5.33 \cdot 10^{-4}$ | $4.78 \cdot 10^{-4}$ | $3.01 \cdot 10^{-4}$ | $6.26 \cdot 10^{-4}$ | $1.26 \cdot 10^{-4}$ | $2.14 \cdot 10^{-4}$ | $3.61 \cdot 10^{-4}$ |
|         | E       | $1.88 \cdot 10^{-3}$ | $1.75 \cdot 10^{-3}$ | $1.11 \cdot 10^{-3}$ | $2.29 \cdot 10^{-3}$ | $5.22 \cdot 10^{-4}$ | $8.26 \cdot 10^{-4}$ | $1.34 \cdot 10^{-3}$ |
| 0.10    | A       | $1.62 \cdot 10^{-4}$ | $1.39 \cdot 10^{-4}$ | $8.85 \cdot 10^{-5}$ | $1.80 \cdot 10^{-4}$ | $3.41 \cdot 10^{-5}$ | $5.95 \cdot 10^{-5}$ | $1.02 \cdot 10^{-4}$ |
|         | B       | $2.89 \cdot 10^{-4}$ | $2.58 \cdot 10^{-4}$ | $1.63 \cdot 10^{-4}$ | $3.36 \cdot 10^{-4}$ | $6.85 \cdot 10^{-5}$ | $1.15 \cdot 10^{-4}$ | $1.94 \cdot 10^{-4}$ |
|         | C       | $1.15 \cdot 10^{-4}$ | $9.55 \cdot 10^{-5}$ | $6.13 \cdot 10^{-5}$ | $1.21 \cdot 10^{-4}$ | $2.22 \cdot 10^{-5}$ | $3.92 \cdot 10^{-5}$ | $6.80 \cdot 10^{-5}$ |
|         | D       | $3.49 \cdot 10^{-4}$ | $3.10 \cdot 10^{-4}$ | $1.95 \cdot 10^{-4}$ | $4.04 \cdot 10^{-4}$ | $8.07 \cdot 10^{-5}$ | $1.37 \cdot 10^{-4}$ | $2.32 \cdot 10^{-4}$ |
|         | E       | $8.27 \cdot 10^{-4}$ | $7.51 \cdot 10^{-4}$ | $4.72 \cdot 10^{-4}$ | $9.86 \cdot 10^{-4}$ | $2.04 \cdot 10^{-4}$ | $3.41 \cdot 10^{-4}$ | $5.71 \cdot 10^{-4}$ |
| 0.05    | A       | $4.91 \cdot 10^{-5}$ | $3.98 \cdot 10^{-5}$ | $2.58 \cdot 10^{-5}$ | $4.99 \cdot 10^{-5}$ | $9.07 \cdot 10^{-6}$ | $1.60 \cdot 10^{-5}$ | $2.76 \cdot 10^{-5}$ |
|         | B       | $3.84 \cdot 10^{-5}$ | $3.02 \cdot 10^{-5}$ | $1.98 \cdot 10^{-5}$ | $3.73 \cdot 10^{-5}$ | $6.66 \cdot 10^{-6}$ | $1.17 \cdot 10^{-5}$ | $2.03 \cdot 10^{-5}$ |
|         | C       | $2.79 \cdot 10^{-5}$ | $2.12 \cdot 10^{-5}$ | $1.41 \cdot 10^{-5}$ | $2.55 \cdot 10^{-5}$ | $4.49 \cdot 10^{-6}$ | $7.88 \cdot 10^{-6}$ | $1.36 \cdot 10^{-5}$ |
|         | D       | $1.58 \cdot 10^{-4}$ | $1.36 \cdot 10^{-4}$ | $8.61 \cdot 10^{-5}$ | $1.75 \cdot 10^{-4}$ | $3.33 \cdot 10^{-5}$ | $5.80 \cdot 10^{-5}$ | $9.94 \cdot 10^{-5}$ |
|         | E       | $3.07 \cdot 10^{-4}$ | $2.69 \cdot 10^{-4}$ | $1.70 \cdot 10^{-4}$ | $3.50 \cdot 10^{-4}$ | $6.76 \cdot 10^{-5}$ | $1.17 \cdot 10^{-4}$ | $2.00 \cdot 10^{-4}$ |

Preglednica 5.7. Verjetnosti nastopa zdrsa v temeljnem sklopu za štiri nihajne čase, pet tipov tal, koeficient lepenja  $k_l = 0.96$  in sedem lokacij po Sloveniji.

| $T$ (s) | Tip tal | Krško                | Celje                | Velenje              | Ptuj                 | Maribor              | Murska Sobota        | Lendava              |
|---------|---------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 0.20    | A       | $3.00 \cdot 10^{-4}$ | $1.06 \cdot 10^{-4}$ | $7.34 \cdot 10^{-5}$ | $6.33 \cdot 10^{-5}$ | $1.82 \cdot 10^{-5}$ | $2.33 \cdot 10^{-5}$ | $2.62 \cdot 10^{-5}$ |
|         | B       | $4.33 \cdot 10^{-4}$ | $1.53 \cdot 10^{-4}$ | $1.07 \cdot 10^{-4}$ | $9.19 \cdot 10^{-5}$ | $2.67 \cdot 10^{-5}$ | $3.37 \cdot 10^{-5}$ | $3.81 \cdot 10^{-5}$ |
|         | C       | $2.39 \cdot 10^{-4}$ | $8.37 \cdot 10^{-5}$ | $5.78 \cdot 10^{-5}$ | $5.01 \cdot 10^{-5}$ | $1.41 \cdot 10^{-5}$ | $1.84 \cdot 10^{-5}$ | $2.07 \cdot 10^{-5}$ |
|         | D       | $5.76 \cdot 10^{-4}$ | $2.07 \cdot 10^{-4}$ | $1.45 \cdot 10^{-4}$ | $1.24 \cdot 10^{-4}$ | $3.72 \cdot 10^{-5}$ | $4.55 \cdot 10^{-5}$ | $5.17 \cdot 10^{-5}$ |
|         | E       | $1.47 \cdot 10^{-3}$ | $5.35 \cdot 10^{-4}$ | $3.78 \cdot 10^{-4}$ | $3.21 \cdot 10^{-4}$ | $1.00 \cdot 10^{-4}$ | $1.18 \cdot 10^{-4}$ | $1.35 \cdot 10^{-4}$ |
| 0.15    | A       | $3.07 \cdot 10^{-4}$ | $1.09 \cdot 10^{-4}$ | $7.58 \cdot 10^{-5}$ | $6.52 \cdot 10^{-5}$ | $1.90 \cdot 10^{-5}$ | $2.40 \cdot 10^{-5}$ | $2.71 \cdot 10^{-5}$ |
|         | B       | $3.05 \cdot 10^{-4}$ | $1.08 \cdot 10^{-4}$ | $7.54 \cdot 10^{-5}$ | $6.48 \cdot 10^{-5}$ | $1.89 \cdot 10^{-5}$ | $2.38 \cdot 10^{-5}$ | $2.69 \cdot 10^{-5}$ |
|         | C       | $2.01 \cdot 10^{-4}$ | $7.05 \cdot 10^{-5}$ | $4.86 \cdot 10^{-5}$ | $4.22 \cdot 10^{-5}$ | $1.19 \cdot 10^{-5}$ | $1.55 \cdot 10^{-5}$ | $1.75 \cdot 10^{-5}$ |
|         | D       | $3.83 \cdot 10^{-4}$ | $1.35 \cdot 10^{-4}$ | $9.40 \cdot 10^{-5}$ | $8.09 \cdot 10^{-5}$ | $2.34 \cdot 10^{-5}$ | $2.97 \cdot 10^{-5}$ | $3.35 \cdot 10^{-5}$ |
|         | E       | $1.47 \cdot 10^{-3}$ | $5.38 \cdot 10^{-4}$ | $3.82 \cdot 10^{-4}$ | $3.23 \cdot 10^{-4}$ | $1.03 \cdot 10^{-4}$ | $1.19 \cdot 10^{-4}$ | $1.37 \cdot 10^{-4}$ |
| 0.10    | A       | $1.05 \cdot 10^{-4}$ | $3.67 \cdot 10^{-5}$ | $2.52 \cdot 10^{-5}$ | $2.20 \cdot 10^{-5}$ | $6.10 \cdot 10^{-6}$ | $8.08 \cdot 10^{-6}$ | $9.13 \cdot 10^{-6}$ |
|         | B       | $2.05 \cdot 10^{-4}$ | $7.28 \cdot 10^{-5}$ | $5.07 \cdot 10^{-5}$ | $4.36 \cdot 10^{-5}$ | $1.27 \cdot 10^{-5}$ | $1.60 \cdot 10^{-5}$ | $1.82 \cdot 10^{-5}$ |
|         | C       | $6.87 \cdot 10^{-5}$ | $2.37 \cdot 10^{-5}$ | $1.61 \cdot 10^{-5}$ | $1.42 \cdot 10^{-5}$ | $3.86 \cdot 10^{-6}$ | $5.24 \cdot 10^{-6}$ | $5.97 \cdot 10^{-6}$ |
|         | D       | $2.45 \cdot 10^{-4}$ | $8.63 \cdot 10^{-5}$ | $5.99 \cdot 10^{-5}$ | $5.17 \cdot 10^{-5}$ | $1.48 \cdot 10^{-5}$ | $1.90 \cdot 10^{-5}$ | $2.14 \cdot 10^{-5}$ |
|         | E       | $6.11 \cdot 10^{-4}$ | $2.17 \cdot 10^{-4}$ | $1.52 \cdot 10^{-4}$ | $1.30 \cdot 10^{-4}$ | $3.82 \cdot 10^{-5}$ | $4.77 \cdot 10^{-5}$ | $5.39 \cdot 10^{-5}$ |
| 0.05    | A       | $2.77 \cdot 10^{-5}$ | $9.57 \cdot 10^{-6}$ | $6.50 \cdot 10^{-6}$ | $5.73 \cdot 10^{-6}$ | $1.55 \cdot 10^{-6}$ | $2.12 \cdot 10^{-6}$ | $2.43 \cdot 10^{-6}$ |
|         | B       | $2.01 \cdot 10^{-5}$ | $6.92 \cdot 10^{-6}$ | $4.67 \cdot 10^{-6}$ | $4.14 \cdot 10^{-6}$ | $1.11 \cdot 10^{-6}$ | $1.53 \cdot 10^{-6}$ | $1.78 \cdot 10^{-6}$ |
|         | C       | $1.32 \cdot 10^{-5}$ | $4.55 \cdot 10^{-6}$ | $3.06 \cdot 10^{-6}$ | $2.72 \cdot 10^{-6}$ | $7.27 \cdot 10^{-7}$ | $1.01 \cdot 10^{-6}$ | $1.19 \cdot 10^{-6}$ |
|         | D       | $1.03 \cdot 10^{-4}$ | $3.57 \cdot 10^{-5}$ | $2.46 \cdot 10^{-5}$ | $2.14 \cdot 10^{-5}$ | $5.96 \cdot 10^{-6}$ | $7.88 \cdot 10^{-6}$ | $8.91 \cdot 10^{-6}$ |
|         | E       | $2.09 \cdot 10^{-4}$ | $7.29 \cdot 10^{-5}$ | $5.02 \cdot 10^{-5}$ | $4.37 \cdot 10^{-5}$ | $1.22 \cdot 10^{-5}$ | $1.60 \cdot 10^{-5}$ | $1.81 \cdot 10^{-5}$ |

## Mejni zdrsi – zahteva po neporušitvi

Mejni zdrs je zdrs (merjen le v eni smeri), ki se pojavi z letno verjetnostjo nastopa  $5 \cdot 10^{-5}$ . Če zagotovimo, da ne pride do odpovedi funkcij kritičnih inštalacij pri mejnem zdrs, se smatra, da je zahteva po neporušitvi zadoščena. Mejni zdrsi so odvisni od lokacije objekta, tipa tal, nihajnega časa sistema ter načina izvedbe temeljnega sklopa JUBHome BASE (prosto položena ali lepljena toplotna izolacija na hidroizolacijo).

Mejne zdrse  $d_l$  smo izračunali tako, da smo najprej določili verjetnosti za pojav določene vrednosti zdrsa (0.125 cm, 0.25 cm in nato do 6.5 cm s korakom 0.25 cm), nato pa smo z interpolacijo določili mejni zdrs, ki se pojavi z letno verjetnostjo  $5 \cdot 10^{-5}$ . Rezultati so prikazani v preglednicah 5.8 in 5.9 za primer, ko je toplotna izolacija prosto položena na hidroizolacijo ter v preglednicah 5.10 in 5.11, če gre za stik lepljen s Hidrozolom. Grafična predstavitev rezultatov je razvidna v naslednjem poglavju. Naj poudarimo, da je mejni zdrs merjen le v eni smeri. Pri izvedbi inštalacij je potrebno zadostiti, da se mejni zdrs pri potresu lahko pojavi v vse smeri.

Preglednica 5.8. Mejni zdrs v cm merjen le v eni smeri premikanja objekta (verjetnost nastopa  $5 \cdot 10^{-5}$  na leto) za štiri nihajne čase, pet tipov tal, 14 lokacij po Sloveniji ter za koeficient lepenja  $k_f = 0.61$  (prosto položena toplotna izolacija).

| $T$ (s) | Tip tal | Postojna | Koper | Ilirska Bistrica | Ajdovščina | Nova Gorica | Tolmin | Bovec |
|---------|---------|----------|-------|------------------|------------|-------------|--------|-------|
| 0.20    | A       | 1.4      | 0.2   | 1.3              | 1.4        | 1.3         | 1.6    | 1.6   |
|         | B       | 2.2      | 0.2   | 1.9              | 2.3        | 2.1         | 2.8    | 2.7   |
|         | C       | 1.4      | 0.1   | 1.2              | 1.4        | 1.3         | 1.7    | 1.7   |
|         | D       | 2.0      | 0.3   | 1.6              | 2.1        | 1.7         | 2.8    | 2.8   |
|         | E       | 4.6      | 0.9   | 4.0              | 4.7        | 4.2         | 6.0    | 6.1   |
| 0.15    | A       | 0.7      | 0.1   | 0.6              | 0.7        | 0.7         | 0.8    | 0.8   |
|         | B       | 1.0      | 0.1   | 0.9              | 1.0        | 0.9         | 1.2    | 1.2   |
|         | C       | 0.9      | 0.1   | 0.8              | 1.0        | 0.9         | 1.1    | 1.1   |
|         | D       | 1.2      | 0.1   | 1.1              | 1.3        | 1.2         | 1.6    | 1.6   |
|         | E       | 2.3      | 0.4   | 2.0              | 2.3        | 2.1         | 2.8    | 2.8   |
| 0.10    | A       | 0.4      | 0.1   | 0.4              | 0.4        | 0.4         | 0.5    | 0.5   |
|         | B       | 0.5      | 0.1   | 0.5              | 0.5        | 0.5         | 0.6    | 0.6   |
|         | C       | 0.4      | 0.1   | 0.3              | 0.4        | 0.3         | 0.5    | 0.4   |
|         | D       | 0.6      | 0.1   | 0.5              | 0.6        | 0.5         | 0.7    | 0.7   |
|         | E       | 1.4      | 0.2   | 1.2              | 1.4        | 1.3         | 1.7    | 1.7   |
| 0.05    | A       | 0.1      | 0.1   | 0.1              | 0.1        | 0.1         | 0.1    | 0.1   |
|         | B       | 0.1      | 0.1   | 0.1              | 0.1        | 0.1         | 0.2    | 0.2   |
|         | C       | 0.1      | 0.1   | 0.1              | 0.1        | 0.1         | 0.1    | 0.1   |
|         | D       | 0.2      | 0.1   | 0.2              | 0.2        | 0.2         | 0.3    | 0.3   |
|         | E       | 0.5      | 0.1   | 0.4              | 0.5        | 0.5         | 0.7    | 0.7   |

| $T$ (s) | Tip tal | Idrija | Kranj | Bled | Ljubljana | Kočevje | Črnomelj | Novo mesto |
|---------|---------|--------|-------|------|-----------|---------|----------|------------|
| 0.20    | A       | 1.7    | 1.5   | 1.2  | 1.7       | 0.8     | 1.1      | 1.3        |
|         | B       | 3.0    | 2.5   | 1.9  | 2.9       | 1.0     | 1.4      | 2.0        |
|         | C       | 1.9    | 1.6   | 1.2  | 1.9       | 0.5     | 0.8      | 1.2        |
|         | D       | 3.1    | 2.5   | 1.5  | 3.1       | 0.8     | 1.2      | 1.7        |
|         | E       | 6.3    | 5.7   | 3.9  | 6.4       | 2.1     | 2.9      | 4.1        |
| 0.15    | A       | 0.9    | 0.8   | 0.6  | 0.9       | 0.4     | 0.5      | 0.7        |
|         | B       | 1.3    | 1.1   | 0.8  | 1.3       | 0.5     | 0.6      | 0.9        |
|         | C       | 1.2    | 1.0   | 0.8  | 1.2       | 0.4     | 0.6      | 0.9        |
|         | D       | 1.7    | 1.5   | 1.1  | 1.7       | 0.5     | 0.8      | 1.1        |
|         | E       | 3.0    | 2.7   | 2.0  | 2.9       | 1.1     | 1.5      | 2.1        |
| 0.10    | A       | 0.5    | 0.5   | 0.4  | 0.5       | 0.2     | 0.2      | 0.4        |
|         | B       | 0.7    | 0.6   | 0.4  | 0.6       | 0.2     | 0.3      | 0.5        |
|         | C       | 0.5    | 0.4   | 0.3  | 0.5       | 0.1     | 0.2      | 0.3        |
|         | D       | 0.7    | 0.6   | 0.5  | 0.7       | 0.2     | 0.4      | 0.5        |
|         | E       | 1.9    | 1.6   | 1.2  | 1.8       | 0.7     | 0.9      | 1.3        |
| 0.05    | A       | 0.2    | 0.1   | 0.1  | 0.2       | 0.1     | 0.1      | 0.1        |
|         | B       | 0.2    | 0.1   | 0.1  | 0.2       | 0.1     | 0.1      | 0.1        |
|         | C       | 0.1    | 0.1   | 0.1  | 0.1       | 0.1     | 0.1      | 0.1        |
|         | D       | 0.4    | 0.3   | 0.2  | 0.3       | 0.1     | 0.2      | 0.2        |
|         | E       | 0.8    | 0.6   | 0.4  | 0.7       | 0.2     | 0.2      | 0.4        |

Preglednica 5.9. Mejni zdrs v cm merjen le v eni smeri premikanja objekta (verjetnost nastopa  $5 \cdot 10^{-5}$  na leto) za štiri nihajne čase, pet tipov tal, sedem lokacij po Sloveniji ter za koeficient lepenja  $k_l = 0.61$  (prosto položena toplotna izolacija).

| $T$ (s) | Tip tal | Krško | Celje | Velenje | Ptuj | Maribor | Murska Sobota | Lendava |
|---------|---------|-------|-------|---------|------|---------|---------------|---------|
| 0.20    | A       | 1.3   | 0.8   | 0.6     | 0.5  | 0.1     | 0.2           | 0.2     |
|         | B       | 2.0   | 1.0   | 0.8     | 0.7  | 0.2     | 0.3           | 0.3     |
|         | C       | 1.2   | 0.6   | 0.5     | 0.4  | 0.1     | 0.1           | 0.2     |
|         | D       | 1.7   | 0.9   | 0.7     | 0.7  | 0.2     | 0.3           | 0.4     |
|         | E       | 4.2   | 2.2   | 1.7     | 1.6  | 0.8     | 1.0           | 1.1     |
| 0.15    | A       | 0.7   | 0.4   | 0.3     | 0.3  | 0.1     | 0.1           | 0.2     |
|         | B       | 0.9   | 0.5   | 0.4     | 0.3  | 0.1     | 0.1           | 0.2     |
|         | C       | 0.9   | 0.4   | 0.3     | 0.3  | 0.1     | 0.1           | 0.1     |
|         | D       | 1.1   | 0.6   | 0.4     | 0.4  | 0.1     | 0.2           | 0.2     |
|         | E       | 2.1   | 1.1   | 0.9     | 0.8  | 0.4     | 0.5           | 0.5     |
| 0.10    | A       | 0.4   | 0.2   | 0.1     | 0.1  | 0.1     | 0.1           | 0.1     |
|         | B       | 0.5   | 0.2   | 0.2     | 0.2  | 0.1     | 0.1           | 0.1     |
|         | C       | 0.3   | 0.1   | 0.1     | 0.1  | 0.1     | 0.1           | 0.1     |
|         | D       | 0.5   | 0.3   | 0.2     | 0.2  | 0.1     | 0.1           | 0.1     |
|         | E       | 1.2   | 0.7   | 0.6     | 0.5  | 0.2     | 0.2           | 0.2     |
| 0.05    | A       | 0.1   | 0.1   | 0.1     | 0.1  | 0.1     | 0.1           | 0.1     |
|         | B       | 0.1   | 0.1   | 0.1     | 0.1  | 0.1     | 0.1           | 0.1     |
|         | C       | 0.1   | 0.1   | 0.1     | 0.1  | 0.1     | 0.1           | 0.1     |
|         | D       | 0.2   | 0.1   | 0.1     | 0.1  | 0.1     | 0.1           | 0.1     |
|         | E       | 0.4   | 0.2   | 0.2     | 0.1  | 0.1     | 0.1           | 0.1     |

Preglednica 5.10. Mejni zdrs v cm merjen le v eni smeri premikanja objekta (verjetnost nastopa  $5 \cdot 10^{-5}$  na leto) za štiri nihajne čase, pet tipov tal, sedem lokacij po Sloveniji ter za koeficient lepenja  $k_l = 0.96$  (lepljena toplotna izolacija s Hidrozolom).

| $T$ (s) | Tip tal | Postojna | Koper | Ilirska Bistrica | Ajdovščina | Nova Gorica | Tolmin | Bovec |
|---------|---------|----------|-------|------------------|------------|-------------|--------|-------|
| 0.20    | A       | 0.7      | 0.2   | 0.2              | 0.1        | 0.1         | 0.1    | 0.1   |
|         | B       | 1.0      | 0.5   | 0.3              | 0.2        | 0.1         | 0.1    | 0.1   |
|         | C       | 0.6      | 0.2   | 0.1              | 0.1        | 0.1         | 0.1    | 0.1   |
|         | D       | 0.9      | 0.5   | 0.3              | 0.3        | 0.1         | 0.1    | 0.1   |
|         | E       | 2.3      | 1.6   | 1.2              | 1.0        | 0.2         | 0.4    | 0.4   |
| 0.15    | A       | 0.4      | 0.1   | 0.4              | 0.4        | 0.4         | 0.5    | 0.5   |
|         | B       | 0.5      | 0.1   | 0.4              | 0.5        | 0.5         | 0.6    | 0.6   |
|         | C       | 0.4      | 0.1   | 0.4              | 0.4        | 0.4         | 0.5    | 0.5   |
|         | D       | 0.6      | 0.1   | 0.6              | 0.6        | 0.6         | 0.8    | 0.8   |
|         | E       | 1.2      | 0.2   | 1.2              | 1.3        | 1.2         | 1.5    | 1.5   |
| 0.10    | A       | 0.2      | 0.1   | 0.2              | 0.2        | 0.2         | 0.2    | 0.2   |
|         | B       | 0.2      | 0.1   | 0.2              | 0.2        | 0.2         | 0.3    | 0.3   |
|         | C       | 0.1      | 0.1   | 0.1              | 0.2        | 0.1         | 0.2    | 0.2   |
|         | D       | 0.3      | 0.1   | 0.3              | 0.3        | 0.3         | 0.4    | 0.4   |
|         | E       | 0.7      | 0.1   | 0.7              | 0.8        | 0.7         | 0.9    | 0.9   |
| 0.05    | A       | 0.1      | 0.1   | 0.1              | 0.1        | 0.1         | 0.1    | 0.1   |
|         | B       | 0.1      | 0.1   | 0.1              | 0.1        | 0.1         | 0.1    | 0.1   |
|         | C       | 0.1      | 0.1   | 0.1              | 0.1        | 0.1         | 0.1    | 0.1   |
|         | D       | 0.2      | 0.1   | 0.2              | 0.2        | 0.2         | 0.2    | 0.2   |
|         | E       | 0.2      | 0.1   | 0.2              | 0.2        | 0.2         | 0.2    | 0.2   |

Preglednica 5.11. Mejni zdrs v cm merjen le v eni smeri premikanja objekta (verjetnost nastopa  $5 \cdot 10^{-5}$  na leto) za štiri nihajne čase, pet tipov tal, 14 lokacij po Sloveniji ter za koeficient lepenja  $k_f=0.96$  (lepljena toplotna izolacija s Hidrozolom).

| $T$ (s) | Tip tal | Idrija | Kranj | Bled | Ljubljana | Kočevje | Črnomelj | Novo mesto |
|---------|---------|--------|-------|------|-----------|---------|----------|------------|
| 0.20    | A       | 1.2    | 1.0   | 0.7  | 1.2       | 0.2     | 0.4      | 0.7        |
|         | B       | 1.5    | 1.3   | 0.9  | 1.5       | 0.4     | 0.7      | 1.0        |
|         | C       | 0.8    | 0.7   | 0.5  | 0.8       | 0.2     | 0.4      | 0.6        |
|         | D       | 1.2    | 1.1   | 0.8  | 1.2       | 0.4     | 0.7      | 0.9        |
|         | E       | 3.1    | 2.7   | 2.2  | 3.1       | 1.5     | 1.9      | 2.3        |
| 0.15    | A       | 0.5    | 0.5   | 0.4  | 0.5       | 0.2     | 0.3      | 0.4        |
|         | B       | 0.6    | 0.5   | 0.4  | 0.6       | 0.2     | 0.3      | 0.5        |
|         | C       | 0.6    | 0.5   | 0.4  | 0.6       | 0.1     | 0.2      | 0.4        |
|         | D       | 0.8    | 0.7   | 0.5  | 0.8       | 0.2     | 0.4      | 0.6        |
|         | E       | 1.6    | 1.4   | 1.1  | 1.6       | 0.7     | 0.9      | 1.2        |
| 0.10    | A       | 0.2    | 0.2   | 0.2  | 0.2       | 0.1     | 0.1      | 0.2        |
|         | B       | 0.3    | 0.3   | 0.2  | 0.4       | 0.1     | 0.2      | 0.2        |
|         | C       | 0.2    | 0.2   | 0.1  | 0.2       | 0.1     | 0.1      | 0.1        |
|         | D       | 0.4    | 0.4   | 0.2  | 0.4       | 0.1     | 0.2      | 0.3        |
|         | E       | 1.0    | 0.9   | 0.7  | 1.0       | 0.3     | 0.5      | 0.7        |
| 0.05    | A       | 0.1    | 0.1   | 0.1  | 0.1       | 0.1     | 0.1      | 0.1        |
|         | B       | 0.1    | 0.1   | 0.1  | 0.1       | 0.1     | 0.1      | 0.1        |
|         | C       | 0.1    | 0.1   | 0.1  | 0.1       | 0.1     | 0.1      | 0.1        |
|         | D       | 0.2    | 0.2   | 0.1  | 0.2       | 0.1     | 0.1      | 0.2        |
|         | E       | 0.2    | 0.2   | 0.2  | 0.2       | 0.1     | 0.2      | 0.2        |

| $T$ (s) | Tip tal | Krško | Celje | Velenje | Ptuj | Maribor | Murska Sobota | Lendava |
|---------|---------|-------|-------|---------|------|---------|---------------|---------|
| 0.20    | A       | 0.8   | 0.1   | 0.7     | 0.8  | 0.7     | 1.1           | 1.1     |
|         | B       | 1.1   | 0.1   | 0.9     | 1.1  | 1.0     | 1.4           | 1.4     |
|         | C       | 0.6   | 0.1   | 0.5     | 0.6  | 0.6     | 0.8           | 0.8     |
|         | D       | 0.9   | 0.1   | 0.9     | 1.0  | 0.9     | 1.2           | 1.1     |
|         | E       | 2.4   | 0.3   | 2.2     | 2.5  | 2.3     | 2.9           | 2.9     |
| 0.15    | A       | 0.4   | 0.2   | 0.2     | 0.1  | 0.1     | 0.1           | 0.1     |
|         | B       | 0.5   | 0.2   | 0.2     | 0.1  | 0.1     | 0.1           | 0.1     |
|         | C       | 0.4   | 0.2   | 0.1     | 0.1  | 0.1     | 0.1           | 0.1     |
|         | D       | 0.6   | 0.2   | 0.2     | 0.2  | 0.1     | 0.1           | 0.1     |
|         | E       | 1.2   | 0.7   | 0.5     | 0.5  | 0.2     | 0.2           | 0.2     |
| 0.10    | A       | 0.2   | 0.1   | 0.1     | 0.1  | 0.1     | 0.1           | 0.1     |
|         | B       | 0.2   | 0.1   | 0.1     | 0.1  | 0.1     | 0.1           | 0.1     |
|         | C       | 0.1   | 0.1   | 0.1     | 0.1  | 0.1     | 0.1           | 0.1     |
|         | D       | 0.3   | 0.2   | 0.1     | 0.1  | 0.1     | 0.1           | 0.1     |
|         | E       | 0.7   | 0.4   | 0.2     | 0.2  | 0.1     | 0.1           | 0.1     |
| 0.05    | A       | 0.1   | 0.1   | 0.1     | 0.1  | 0.1     | 0.1           | 0.1     |
|         | B       | 0.1   | 0.1   | 0.1     | 0.1  | 0.1     | 0.1           | 0.1     |
|         | C       | 0.1   | 0.1   | 0.1     | 0.1  | 0.1     | 0.1           | 0.1     |
|         | D       | 0.2   | 0.1   | 0.1     | 0.1  | 0.1     | 0.1           | 0.1     |
|         | E       | 0.2   | 0.1   | 0.1     | 0.1  | 0.1     | 0.1           | 0.1     |



#### 5.2.2.4 Navodila za projektiranje

Rezultati verjetnostne analize potresnih zahtev v smislu zdrsa konstrukcije so pokazali, da je kriterij po omejitvi poškodb izpolnjen, saj je verjetnost za pojav zdrsa manjša od ciljne zanesljivosti, ki smo jo definirali v poglavju 5.2.1. Verjetnost za pojav zdrsa za objekte, ki imajo pritličje, eno etažo in morebiti še mansardo, znaša med  $8 \cdot 10^{-3}$  in  $6 \cdot 10^{-6}$ . Ocenjena povprečna letna vrednost za pojav zdrsa znaša  $10^{-3}$  (0.1% na leto). Ta verjetnost je bistveno manjša, kot pogoj po omejitvi poškodb, ki ga določa EN 1998-1. Zaradi tega dodatni ukrepi ali kontrole za zadovoljitev tega pogoja niso potrebne.

Ker verjetnost za zdrs ni zanemarljivo majhna, smo izračunali mejni zdrs, kateremu ustreza sprejemljiva zanesljivosti za doseg kriterija po neporušitvi. Zato je zahtevo po neporušitvi v smislu standarda EN 1998-1 možno zelo enostavno izpolniti s primerno izvedbo tistih inštalacij, ki bi lahko v primeru odpovedi delovanja ogrozile človeška življenja.

Pri projektiranju zato niso potrebni konstrukcijski ukrepi za preprečitev zdrsa temveč je potrebno zagotoviti, da ne odpovedo ključne inštalacije (npr. elektrovod, plinovod), če se pojavi mejni zdrs za katerega obstaja verjetnost, ki je enaka kar sprejemljivi zanesljivosti. Na osnovi rezultatov verjetnostne analize, predlagamo, da se mejni zdrs, ki ga je potrebno zagotoviti v vseh smereh konstrukcije, določi v odvisnosti od razmerja med elastično potresno silo, ki ustreza potresu s povratno dobo 475 let, in teži objekta  $W$ , ki je določena za potresno obtežno kombinacijo. Razmerje med potresno silo in težo je za obravnavane objekte približno enako spektralnemu pospešku  $S_e(T, S, a_{gR}, \gamma_I)$  (EN 1998-1, točka 3.2.2.2), ki ustreza povratni dobi 475 let in je odvisen od lokacije objekta, tipa tal in kategorije pomembnosti objekta.

Na osnovi rezultatov za mejni zdrs predlagamo model mejnega zdrsa po naslednji enačbi:

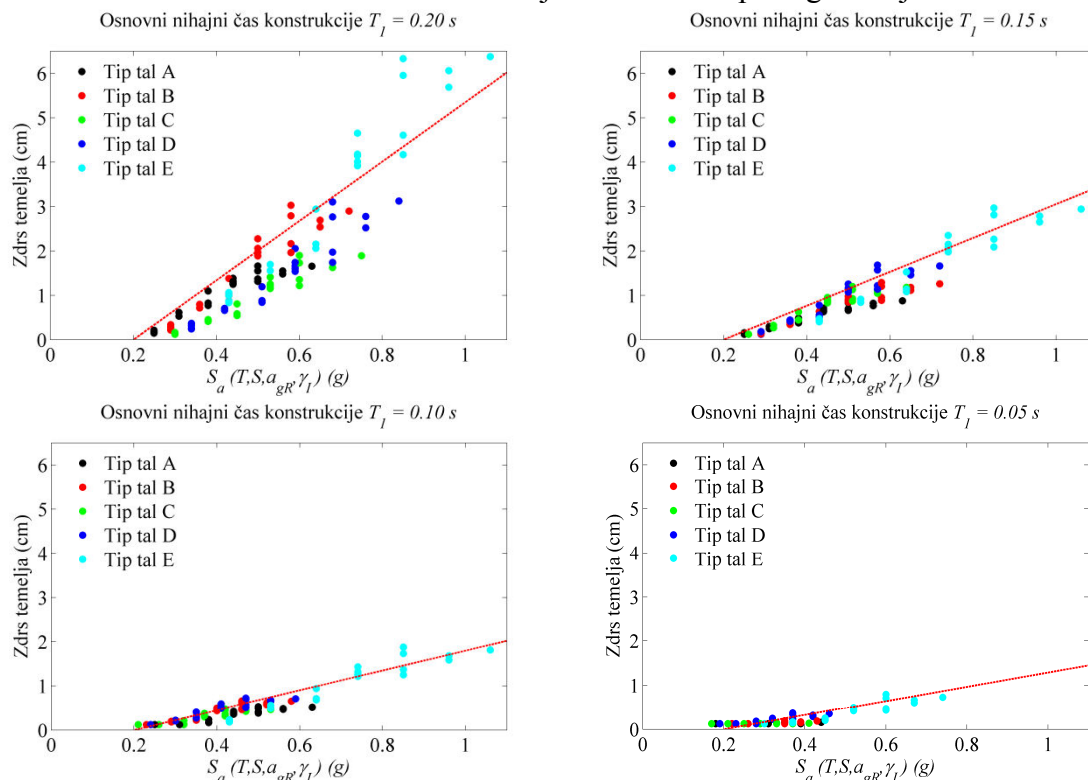
$$d_l = \left( S_e(T, S, a_{gR}, \gamma_I) - 0.2 \right) \cdot k \dots [cm], \quad S_e[g], T[s] \quad (5.4)$$
$$k = \begin{cases} (9T)^{2.8} + 1.5 & k_l = 0.61 \\ (9T)^{2.1} + 0.4 & k_l = 0.96 \end{cases}$$

kjer je  $d_l$  mejni zdrs izražen v cm,  $T$  nihajni čas objekta izražen v sekundah,  $S_e(T, S, a_{gR}, \gamma_I)$  spektralni pospešek izražen z deležem pospeška prostega pada ter  $\gamma_I$  faktor pomembnosti v odvisnosti od kategorije pomembnosti objekta. Mejni zdrs je potrebno izračunati za obe glavni smeri objekta. Merodajna je večja vrednost.

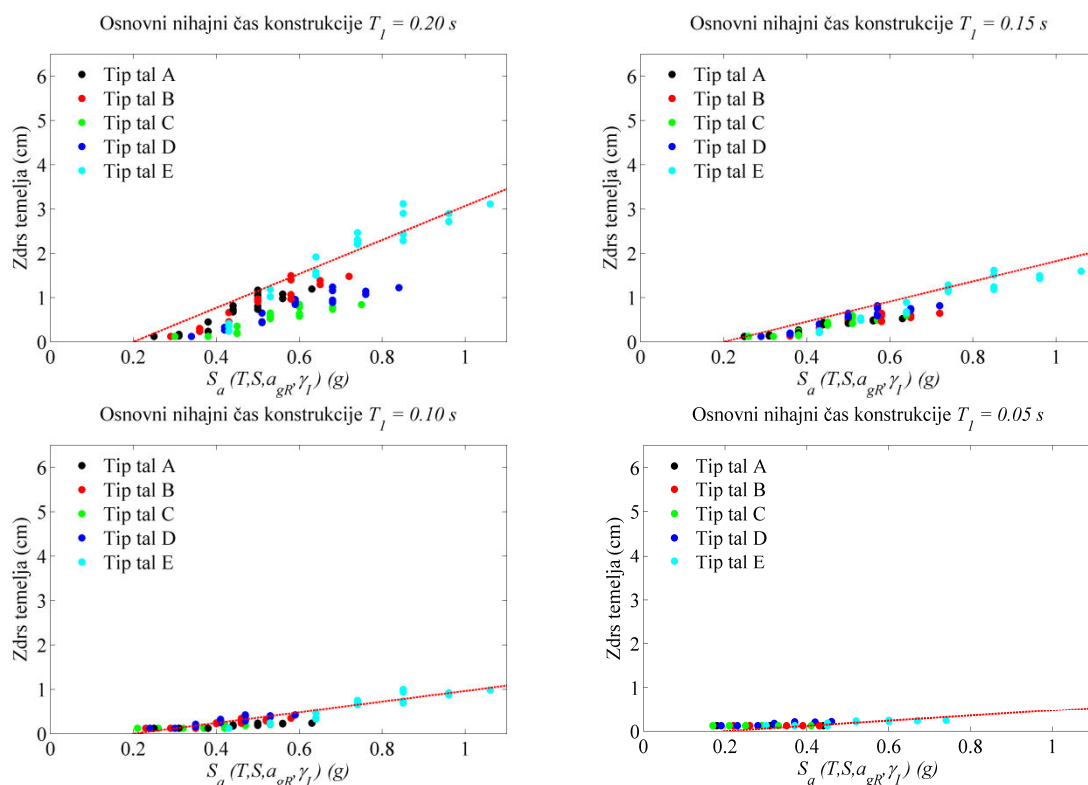
Primerjava med izračunanimi vrednostmi mejnega zdrsa z uporabo verjetnostne analize potresnih zahtev in predlaganim modelom je prikazana na slikah 5.5 in 5.6. Model je zasnovan tako, da so mejni zdrsi v za večino primerov nekoliko na varni strani.

Ocenjujemo, da posebni ukrepi za izvedbo kritičnih inštalacij, v primeru zelo majhnih vrednosti mejnega zdrsa niso potrebni, saj imajo inštalacije določeno deformacijsko kapaciteto predno pride od odpovedi njene funkcije. V primeru, da ne bi bili sprejeti nobeni

ukrepi za izvedbo inštalacij, bi bilo z eksperimenti potrebno dokazati deformacijsko kapaciteto za različne načine izvedbe inštalacij. Ta bi morala presegati mejni zdrs.



Slika 5.5: Primerjava med izračunanimi mejni zdrsi in predlaganim modelom za štiri nihajne čase, pet tipov tal 21 lokacij po Sloveniji ter koeficient lepenja  $k_t=0.61$  (prosto položena toplotna izolacija).



Slika 5.6: Primerjava med izračunanimi mejni zdrsi in predlaganim modelom za štiri nihajne čase, pet tipov tal 21 lokacij po Sloveniji ter koeficient lepenja  $k_t=0.96$  (toplotna izolacija lepljena s Hidrozolom).

## 6 VIRI

- Baker, J.W. 2011. Conditional mean spectrum: Tool for ground-motion selection. *Journal Of Structural Engineering* 137, 3: 322–331.
- Bradley, B.A. 2012. The seismic demand hazard and importance of the conditioning intensity measure. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* 41, 11: 1417–1437. 10.1002/eqe.2221
- CEN. 2001. EN 13163: Thermal insulation products for buildings – Factory made products of expanded polystyrene (EPS) – specification. Brussels, Comite European de Normalisation.
- Douglas, J., Ulrich, T., Nugulescu, C. 2013. Risk-targeted seismic design maps for mainland France. *Natural Hazards* 65: 1999–2013.
- Fajfar, P., Dolšek, M. 2012. A practice-oriented estimation of the failure probability of building structures. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 41, 3: 531–547.
- Fajfar, P., Polič, M., Kline, R. 2014. Zaznavanje potresne ogroženosti pri strokovnikih in nestrokovnikih. *Gradbeni vestnik* 63: 111–118.
- FEMA. 2007. Interim testing protocols for determining the seismic performance characteristics of structural and nonstructural components – FEMA 461. Washington D.C., Federal emergency management agency.
- Krawinkler, H., Miranda, E. 2004. Performance-based earthquake engineering. V: Bozorgnia, Y., Bertero, V.V. 2004. *Earthquake Engineering: From Engineering Seismology to Performance-based Engineering*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P. 2001. Nova karta potresne nevarnosti – projektni pospešek tal namesto intenzitete. *Gradbeni vestnik* 50, 140–149.
- Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P. 2003. Probabilistic seismic hazard assessment methodology for distributed seismicity. *Bulletin Of The Seismological Society Of America* 93, 6: 2502–2515.
- Luco, N., Ellingwood, B.R., Hamburger, R.O., Hooper, J.D., Kimball, J.K., Kircher, C.A. 2007. Risk-targeted versus current seismic design maps for the conterminous United States. *Structural Engineers Association of California convention*, Squaw Creek, California.
- Poljak, M., Zupančič, P., Lapajne, J. K., Šket Motnikar, B. 2000. Seismotectonic input for spatially smoothed seismicity approach, in *Proc. of the Workshop Seismicity Modeling in Seismic Hazard Mapping*, Poljče, Slovenia, 22–24 May, 117–124.
- Sabetta, F., Pugliese, A. 1996. Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motions, *Bulletin of Seismological Society of America* 86, 337–352.
- Shome, N. 1999. Probabilistic seismic demand analysis of nonlinear structures. Doctoral thesis, Stanford University. 357pp.
- SIST EN 1998-1, 2005. Evrokod 8: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij. Del 1: Splošna pravila, potresni vplivi in vplivi na stavbe, marec 2005.
- Zabukovec, B. 2000. OHAZ: A computer program for spatially smoothed seismicity approach, in *Proc. of the Workshop Seismicity Modeling in Seismic Hazard Mapping*, Poljče, Slovenia, 22–24 May, 135–140.