

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



DIPLOMSKA NALOGA

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE STOPNJE GRADBENIŠTVO

Ljubljana, 2022

Univerza
v Ljubljani

*Fakulteta za
gradbeništvo in
geodezijo*



Kandidat/-ka:

Diplomska naloga št.:

Graduation thesis No.:

Mentor/-ica:

Predsednik komisije:

Somentor/-ica:

Član komisije:

Ljubljana, 2022

POPRAVKI – ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
----------------	------------------	---------	--------

ZAHVALA

Za strokovno pomoč in koristne nasvete pri izdelavi diplomske naloge se v prvi vrsti zahvaljujem mentorju prof. dr. Matjažu Dolšku in somentorju asist. dr. Anžetu Babiču. Hvala tudi dr. Barbari Šket Motnikar z Agencije Republike Slovenije za okolje za dodatne rezultate analize potresne nevarnosti.

Iskrena hvala pripada tudi moji družini, ki me je skozi študijska leta podpirala in mi stala ob strani. Hvala, da niste nikoli podvomili v moj uspeh!

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 624.042.7:006.8(043.2)
Avtor: Teja Maučec
Mentor: prof. dr. Matjaž Dolšek
Somentor: asist. dr. Anže Babič
Naslov: Elastični spektri pospeškov glede na osnutek novega Evrokoda 8
Tip dokumenta: diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema: 36 str., 20 pregl., 23 sl., 24 en., 22 virov
Ključne besede: Evrokod 8, potresna obtežba, spekter pospeškov, pospešek tal, verjetnostna analiza, potresna nevarnost

Izvleček

Diplomska naloga obsega preučitev definicije elastičnega spektra pospeškov glede na osnutek novega standarda Evrokod 8 in analizo elastičnih spektrov pospeškov za izbrane lokacije v Sloveniji. V nalogi so prikazani vplivi različnih parametrov na elastične spektre. Na kratko je predstavljen tudi razvoj nove karte potresne nevarnosti. Primerjani so elastični spektri pospeškov glede na trenutno veljavni standard in glede na osnutek novega standarda. V primeru uporabe osnutka novega standarda je spekter določen po dveh različnih postopkih, ki se razlikujeta glede na obseg neodvisnih vhodnih podatkov. Poleg tega diploma vsebuje primerjavo spektrov pospeškov, določenih na podlagi dveh nacionalnih študij Agencije Republike Slovenije za okolje, in dveh evropskih študij o potresni nevarnosti. Ugotovili smo, da so vrednosti elastičnega spektra pospeškov, izračunane skladno z osnutkom novega standarda, lahko precej različne od vrednosti, določene po trenutno veljavnem standardu. Poleg tega smo ugotovili, da so spektralne vrednosti v območju srednje visokih in visokih nihajnih časov zelo odvisne od izbire postopka določitve spektra pospeškov, kot to predvideva osnutek novega standarda.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 624.042.7:006.8(043.2)
Author: Teja Maučec
Supervisor: Prof. Matjaž Dolšek, Ph.D.
Co-supervisor: Anže Babič, Ph.D.
Title: Elastic acceleration spectra according to the draft of the new Eurocode 8
Document type: Graduation Thesis – University studies
Notes: 36 p., 20 tab., 23 fig., 24 eq., 22 ref.
Keywords: Eurocode 8, seismic load, acceleration spectrum, ground acceleration, probabilistic analysis, seismic hazard

Abstract

The graduation thesis includes an examination of the definition of the elastic acceleration spectrum according to the draft of the new Eurocode 8 and the analysis of the elastic acceleration spectra for selected locations in Slovenia. It presents the effects of various parameters on the elastic acceleration spectra. The development of a new seismic hazard map is also briefly presented. The elastic acceleration spectra according to the currently valid standard are compared to those based on the draft of the new standard. According to the draft of the new standard, the spectra can be determined by two different procedures, which vary in the scope the independent input data. In addition, the thesis presents spectra determined on the basis of two national studies performed by the Slovenian Environment Agency and two European seismic hazard studies. We found that the values of the elastic acceleration spectrum, calculated by the draft of the new standard, can be quite different from the values determined according to the currently valid standard. In addition, we found that when applying the draft of the new standard, the spectral values in the range of medium and long vibration periods are highly dependent on the choice of the procedure for determining the spectra according to the new standard.

KAZALO

POPRAVKI – ERRATA.....	I
ZAHVALA.....	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
KAZALO SLIK.....	VI
KAZALO PREGLEDNIC	VII
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI / ABBREVIATIONS AND SYMBOLS.....	VIII
1 UVOD	1
2 POTRESNA OBTEŽBA IN RAZLIKE V STANDARDIH.....	2
2.1 Elastičen spekter pospeškov po trenutno veljavnem standardu	2
2.1.1 Intenziteta potresne obtežbe.....	2
2.1.2 Tipi tal.....	3
2.1.3 Elastični spekter psevdo-pospeškov	4
2.1.4 Razredi potresne obtežbe	4
2.2 Elastičen spekter pospeškov po novi različici standarda.....	5
2.2.1 Intenziteta potresne obtežbe.....	5
2.2.2 Tipi tal.....	8
2.2.3 Elastični spekter psevdo-pospeškov	9
2.2.4 Razredi potresne obtežbe	11
2.3 Primerjava standardov	12
3 METODE ZA OCENO POTRESNE NEVARNOSTI	13
3.1 Metode analize potresne nevarnosti	14
3.1.1 Deterministična analiza potresne nevarnosti.....	15
3.1.2 Verjetnostna analiza potresne nevarnosti.....	15
4 PRIMERJAVA SPEKTROV ZA IZBRANE LOKACIJE V SLOVENIJI	18
4.1 Primerjava spektrov glede na obe verziji standarda	18
4.1.1 Ljubljana	20
4.1.2 Murska Sobota	24
4.1.3 Brežice	25
4.1.4 Bovec	26
4.2 Primerjava spektrov glede na različne modele potresne nevarnosti	27
4.2.1 Ljubljana	27
4.2.2 Murska Sobota	28
4.2.3 Brežice in Bovec	29
4.3 Primerjava povratnih dob za spektralni pospešek pri nihajnem času 1 s, glede na različne oblike spektra	31
5 ZAKLJUČEK	33
6 VIRI	35

KAZALO SLIK

Slika 1: Karta projektnega pospeška tal iz leta 2001 (ARSO, 2001).....	13
Slika 2: Karta projektnega pospeška tal iz leta 2021 (ARSO, 2021).....	14
Slika 3: Katalog prelomnih potresnih izvorov (Atanackov in sod., 2022).	16
Slika 4: Katalog potresov z magnitudo 3,8 in več od leta 1875 naprej (Šket Motnikar in sod., 2021). 17	
Slika 5: Elastični spekter pospeška za različne tipe tal za Ljubljano, ko je $S_{\beta,ref}$ poznan.	21
Slika 6: Elastični spekter pospeška za različne tipe tal za Ljubljano, ko $S_{\beta,ref}$ ni poznan.	21
Slika 7: Primerjava tipa tal A po trenutno veljavni in novi različici standarda.	22
Slika 8: Elastični spekter pospeškov, ko je $v_{s,H}$ 400 m/s in H_{800} 15 ali 50 ali 200 m za Ljubljano.....	22
Slika 9: Elastični spekter pospeškov, ko je $v_{s,H}$ 250 m/s in H_{800} 15 m za Ljubljano.....	23
Slika 10: Elastični spekter pospeškov, ko je $v_{s,H}$ 250 m/s in H_{800} 50 m za Ljubljano.....	23
Slika 11: Elastični spekter pospeškov, ko je $v_{s,H}$ 150 m/s in H_{800} 5 ali 15 m za Ljubljano.....	23
Slika 12: Elastični spekter pospeškov, ko je $v_{s,H}$ 150 m/s in H_{800} 200 m za Ljubljano.....	23
Slika 13: Elastični spekter pospeškov, ko je $v_{s,H}$ 400 m/s in H_{800} 5 m za Ljubljano.....	24
Slika 14: Elastični spekter pospeškov, ko je $v_{s,H}$ 250 m/s in H_{800} 5 m za Ljubljano.....	24
Slika 15: Primerjava elastičnih spektrov pospeškov za tip tal A za M. Soboto.	25
Slika 16: Primerjava elastičnih spektrov pospeškov za tip tal A za Brežice.	26
Slika 17: Primerjava elastičnih spektrov pospeškov za tip tal A za Bovec.	26
Slika 18: Primerjava el. spektrov pospeškov za tip tal A za Ljubljano.	28
Slika 19: Primerjava el. spektrov pospeškov za tip tal A za M. Soboto.....	29
Slika 20: Primerjava el. spektrov pospeškov za tip tal A za Brežice.....	30
Slika 21: Primerjava el. spektrov pospeškov za tip tal A za Bovec.	30
Slika 22: Primerjava el. spektrov za tip tal A za Ljubljano, glede na vhodne podatke ESHM20.	31
Slika 23: Krivulja potresne nevarnosti za spektralni pospešek pri nihajnem času 1 s za Ljubljano.....	32

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Faktorji pomembnosti za različne razrede pomembnosti glede na trenutno veljavni standard.	2
Preglednica 2: Povratne dobe za različna mejna stanja glede na trenutno veljavni standard.	3
Preglednica 3: Tipi tal glede na parameter $v_{s,30}$	3
Preglednica 4: Vrednosti parametrov, ki opisujejo elastični spekter odziva.	4
Preglednica 5: Razpon vrednosti $S_{a,475}$ za opredelitev stopenj seizmičnosti.	6
Preglednica 6: Povratne dobe glede na mejna stanja in razrede posledic.	7
Preglednica 7: Faktorji pomembnosti glede na mejna stanja in razrede posledic.	7
Preglednica 8: Kategorizacija tipov tal.	8
Preglednica 9: Vrednosti amplifikacijskih faktorjev F_a in F_b za vse tipe tal.	10
Preglednica 10: Amplifikacijski faktorji za enostavne topografske nepravilnosti.	11
Preglednica 11: Razredi jakosti seizmičnosti.	11
Preglednica 12: Določitev tipa tal po novi različici standarda za izbrane kombinacije parametrov $v_{s,H}$ in H_{800}	19
Preglednica 13: Izračunane vrednosti $v_{s,30}$ [m/s] glede na izbrane kombinacije vhodnih podatkov.	19
Preglednica 14: Določitev tipa tal glede na trenutno veljavni standard oz. glede na $v_{s,30}$	19
Preglednica 15: Izračunane vrednosti $S_{a,475}$ in pripadajoči f_h za posamezne kraje.	19
Preglednica 16: Seizmološki podatki $S_{a,ref}$ in $S_{b,ref}$ iz leta 2021 za izbrane lokacije (Šket Motnikar, 2022).	20
Preglednica 17: Vrednosti projektnega pospeška tal a_g glede na karto potresne nevarnosti iz leta 2001 (ARSO, 2001).	20
Preglednica 19: Vrednosti spektralnih pospeškov glede na različne karte.	27
Preglednica 20: Povratne dobe za različne spektre pri nihajnem času 1s.	31

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI / ABBREVIATIONS AND SYMBOLS

ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
ESHM	European Seismic Hazard Model – evropski model potresne nevarnosti
PGA	Peak Ground Acceleration – projektni pospešek tal
PSHA	Probabilistic Seismic Hazard Analysis – verjetnostna analiza potresne nevarnosti
DSHA	Deterministic Seismic Hazard Analysis – deterministična analiza potresne nevarnosti
UHS	Uniform Hazard Spectrum – spekter enotne potresne nevarnosti
H_{800}	globina kamninske tvorbe, identificirana s hitrostjo strižnega valovanja $v_s > 800$ m/s
$v_{s,H}$	ekvivalentna vrednost v_s do referenčne globine H
F_A	razmerje med spektralnim pospeškom na platoju in spektralnim pospeškom pri nihajnem času 0s
f_h	faktor glede na stopnjo seizmičnosti
F_T	amplifikacijski faktor odvisen od topografije
F_α	amplifikacijski faktor za kratke nihajne čase
F_β	amplifikacijski faktor za srednje dolge nihajne čase
$S_e(T)$	elastični odzivni spekter za horizontalne komponente potresnega delovanja
S_α	največji odzivni spektralni pospešek (5 % dušenje)
S_β	spektralni pospešek pri nihajnem času $T_\beta (= 1 \text{ s})$
$S_{\alpha,475}$	referenčni spektralni pospešek S_α za tip tal A in povratno dobo 475 let
$S_{\alpha,ref}$	referenčni spektralni pospešek S_α za tip tal A in povratno dobo T_{ref}
$S_{\alpha,RP}$	spektralni pospešek za tip tal A in povratno dobo RP
$S_{\beta,ref}$	referenčni spektralni pospešek S_β za tip tal A in nihajni čas $T_\beta (= 1 \text{ s})$
$S_{\beta,RP}$	spektralni pospešek za tip tal A in povratno dobo RP ter nihajni čas $T_\beta (= 1 \text{ s})$
T	nihajni čas linearnega sistema z eno prostostno stopnjo
T_A	nihajni čas, do katerega so vsi spektralni pospeški enaki spektralnemu pospešku pri nihajnem času 0 s
T_B	spodnja meja nihajnih časov v območju konstantnih spektralnih pospeškov
T_C	zgornja meja nihajnih časov v območju konstantnih spektralnih pospeškov
T_D	spodnja meja nihajnih časov v območju konstantnih spektralnih pomikov
T_{ref}	vrednost nihajnega časa za referenčno povratno dobo, ki ustreza mejnemu stanju znatne škode (SD) in razredu posledic CC2
T_β	nihajni čas = 1 s
$\gamma_{LS,CC}$	faktor pomembnosti objekta
η	korekcijski faktor dušenja

1 UVOD

V Sloveniji so za projektiranje gradbenih objektov od leta 2008 naprej obvezni evropski standardi – Evrokodi, ki v svojem 8. delu naslavljajo tudi potresno-odporno projektiranje gradbenih konstrukcij. V postopku potresno-odpornega projektiranja je potresna obtežba najpogosteje definirana v obliki spektrov odziva. Spektri predstavljajo zvezo med nihajnim časom in maksimalnim odzivom sistema z eno prostostno stopnjo. Od izida trenutno veljavnega standarda Evrokod 8 (SIST, 2005) in kart potresne nevarnosti, ki predstavljajo vhodni podatek za definicijo elastičnih spektrov odziva, je minilo že več let, v tem času pa je prišlo do več novih spoznanj, zgodilo pa se je tudi več potresov, ki so pripomogli k boljšemu razumevanju potresnega odziva konstrukcij, kot tudi same potresne obtežbe. Nova znanja se odražajo tudi v novi različici Evrokoda 8 (CEN, 2021), ki je trenutno v pripravi. Med drugim je predvidena drugačna definicija spektrov odziva, s katerimi se lahko spremenijo tudi potresna obtežba in rezultati projektiranja konstrukcij.

Poleg načina definicije spektra odziva so vrednosti spektra odvisne tudi od vhodnih podatkov, ki jih pridobimo z analizo potresne nevarnosti. Zaradi novih spoznanj in metodološkega napredka pri analizi potresne nevarnosti se rezultati te analize skozi čas spreminjajo. Trenutno veljaven model potresne nevarnosti v Sloveniji predstavlja model, razvit na Agenciji Republike Slovenije za okolje (model ARSO) (Lapajne in sod., 2001). Rezultat tega modela je karta projektnega pospeška tal. S prihodom novega Evrokoda 8 je poleg drugačne formulacije spektra predvidena tudi uporaba posodobljenega modela potresne nevarnosti. Slednji bo podajal spektralni vrednosti na območju konstantnih pospeškov in pri nihajnem času 1 s, ki bosta služili za definicijo spektra. Priprava teh spektralnih pospeškov je v času pisanja te diplomske naloge v teku na ARSO, nekateri rezultati, pridobljeni s posodobljenim modelom potresne nevarnosti pa so že bili objavljeni (Šket Motnikar in sod., 2021). Poleg obeh modelov potresne nevarnosti, razvitih na ARSO (uradno veljavnega modela in novega modela, katerega uporaba bo v kratkem postala obvezna), pa obstajajo tudi drugi modeli potresne nevarnosti. Med njimi sta mednarodno prepoznavna modela ESHM 2013 (Giardini in sod., 2014) in posodobljena različica ESHM 2020 (Weatherhill in sod., 2020), ki sta nastala v okviru mednarodnega sodelovanja evropskih institucij.

V diplomski nalogi predstavljamo formulacijo oz. definicijo spektra v novem Evrokodu 8 in analiziramo spremembe v spektru v primerjavi s trenutno veljavnim standardom. Poleg tega analiziramo tudi vpliv izbire modela potresne nevarnosti na spektre, pri čemer uporabimo trenutno veljavni model ARSO in posodobljeni model ARSO ter evropska modela.

V drugem poglavju diplomske naloge najprej na kratko predstavljamo bistvene razlike v definiciji elastičnega spektra pospeškov po trenutno veljavnem standardu (SIST, 2005) in novi različici standarda Evrokod 8 (CEN, 2021). Tretji del naloge zajema kratko predstavitev različnih metod za določitev potresne nevarnosti. Poudarek je predvsem na verjetnostni analizi, saj se slednja najpogosteje uporablja za oceno potresne nevarnosti. Četrto in hkrati glavno poglavje te naloge je namenjeno primerjalni analizi elastičnih spektrov. Na območju Slovenije smo izbrali štiri poljubne lokacije, za katere smo izračunali elastični spekter po trenutno veljavnem standardu in elastični spekter po novi različici standarda. Za vse lokacije so obravnavani različni tipi tal, predvideni v standardih. Poleg tega prikazujemo primerjavo spektrov, določenih ob uporabi različnih modelov potresne nevarnosti.

2 POTRESNA OBTEŽBA IN RAZLIKE V STANDARDIH

Za projektiranje gradbenih objektov se v Sloveniji uporabljajo evropski standardi – Evrokodi. Zaradi potresne aktivnosti je potresna obtežba običajno merodajna in je zato uporaba Evrokoda 8 izredno pomembna. Osnovni način definicije potresne obtežbe v standardu je preko elastičnega spektra psevdo-pospeškov. Vsebina tega poglavja diplomske naloge je vezana predvsem na prikaz izračuna spektrov za različne tipe tal pri danih vhodnih podatkih glede na trenutno veljavni standard (SIST, 200) in glede na novo različico standarda (CEN, 2021). V okviru standarda Evrokod 8 je potresno delovanje na dani lokaciji na površini tal predstavljeno s spektrom horizontalnih in navpičnih psevdo-pospeškov. V tej nalogi se omejimo samo na horizontalno komponento potresnega delovanja, ki je za veliko večino objektov kritična.

2.1 Elastičen spekter pospeškov po trenutno veljavnem standardu

Trenutno veljavna različica standarda Evrokod 8 (SIST, 2005) vsebuje dva tipa spektrov, ki imata različno obliko. V Sloveniji je predpisana uporaba tipa spektra 1. Ob upoštevanju le-tega, je po obstoječem standardu oblika spektra odvisna le od velikosti projektnega pospeška tal a_g (razdelek 2.1.1) in tipa tal (razdelek 2.1.2).

2.1.1 Intenziteta potresne obtežbe

V trenutno veljavni verziji standarda (SIST, 2005) je potresna obtežba opisana z referenčnim pospeškom tal $a_{g,R}$, ki se nanaša na povratno dobo 475 let in na tla tipa A.

Na velikost spektra poleg referenčnega pospeška tal vplivata tudi razred pomembnosti in mejno stanje. Glede na razred pomembnosti se določi faktor pomembnosti, ki je za posamezne vrste objektov oz. razrede pomembnosti prikazan v preglednici 1.

Preglednica 1: Faktorji pomembnosti za različne razrede pomembnosti glede na trenutno veljavni standard.

Razred pomembnosti	Vrste objektov	Faktor pomembnosti
I	Objekti manjšega pomena za javno varnost, npr. kmetijske stavbe itd.	0,8
II	Navadni objekti, ki ne spadajo v ostale razrede pomembnosti.	1,0
III	Objekti, katerih potresna odpornost je pomembna zaradi posledic porušitve, npr. šole, zbornice, kulturne ustanove itd.	1,2
IV	Objekti, katerih potresna odpornost je bistvenega pomena za civilno zaščito, npr. bolnišnice, gasilske postaje, elektrarne itd.	1,4

Vpliv mejnega stanja na intenziteto potresa je manj natančno opredeljen. Za vsa tri mejna stanja iz Evrokoda 8, tj. stanje omejitve poškodb (DL), stanje velikih poškodb (SD) in stanje blizu porušitve (NC), je natančno podana povratna doba, ne pa tudi intenziteta potresne obtežbe. Slednja je določena le

za referenčno stanje SD pri povratni dobi 475 let. Za povratni dobi, ki ustrežata ostalima mejnima stanjema, pa je intenziteto možno izračunati na podlagi naklona krivulje potresne nevarnosti.

Preglednica 2: Povratne dobe za različna mejna stanja glede na trenutno veljavni standard.

Mejno stanje	Povratna doba (let)
NC	2475
DL	225
SD	475

2.1.2 Tipi tal

V trenutno veljavni različici standarda so tipi tal definirani od A do E. Dodatno sta v standardu podana še tipa tal S_1 in S_2 . Tip tal S_1 opisuje tla, ki so sestavljena iz vsaj 10 m debelega sloja gline/mulja z visokim indeksom plastičnosti in visoko vsebnostjo vode. Tip tal S_2 opisuje tla, ki so utekočinjena, jih sestavlja občutljiva glina ali vsak tip tal, ki ni opredeljen v tipih tal A – E in S_1 . Tipi tal so v standardu opisani s stratigrafskimi profili in parametrom $v_{s,30}$, ki predstavlja povprečno vrednost hitrosti strižnega valovanja v zgornjih 30 m tal in se izračuna po enačbi 2.1.

$$v_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{v_i}} \quad (2.1)$$

kjer so:

h_i debelina i -te plasti tal [m]

v_i hitrost strižnega valovanja i -te plasti tal [m/s]

Preglednica 3: Tipi tal glede na parameter $v_{s,30}$.

Tip tal	Opis stratigrafskega profila	$v_{s,30}$ (m/s)
A	Skala ali druga skali podobna geološka formacija, vključno z največ 5 m šibkejšega materiala na površini.	> 800
B	Gosti pesek, gramoz ali zelo trda glina debeline vsaj nekaj 10 m, za katere je značilno postopno povečevanje mehanskih lastnosti z globino.	$360 - 800$
C	Globoke usedline gostega ali srednje gostega peske, gramoza ali trde gline z debelino od nekaj 10 do več 100 m.	$180 - 360$
D	Malo do srednje kohezivna tla (z ali brez kohezivnih plasti) ali pretežno mehke do trdne kohezivne zemlje.	< 180
E	Tla, sestavljena iz površinske aluvijske plasti z v_s vrednostmi tipa tal C ali D in debelino, ki se giblje med približno 5 m in 20 m, ter so podložena s tršim materialom z $v_s > 800$ m/s.	/
S_1	Tla, sestavljena iz vsaj 10 m debelega sloja mehke gline/mulja z visokim indeksom plastičnosti ($PI > 40$) in višjo vsebnostjo vode.	< 100 (okvirno)
S_2	Utekočinjena tla, občutljiva glina ali katera koli druga sestava tal, ki ne spada v tip tal od A do E ali v S_1 .	/

2.1.3 Elastični spekter psevdo-pospeškov

Elastični odzivni spekter $S_e(T)$ je v trenutno veljavni različici standarda Evrokod 8 definiran z izrazi od (2.2) do (2.5).

$$0 \leq T \leq T_B: \quad S_e(T) = a_g \cdot S \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (2,5 \cdot \eta - 1) \right] \quad (2.2)$$

$$T_B \leq T \leq T_C: \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \quad (2.3)$$

$$T_C \leq T \leq T_D: \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \quad (2.4)$$

$$T_D \leq T \leq 4 \text{ s}: \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \quad (2.5)$$

kjer so:

a_g	projektni pospešek tal, $a_g = a_{g,R} \cdot \gamma_I$
S	faktor tal
η	faktor za upoštevanje vpliva dušenja
T_B	spodnja meja nihajnega časa na območju konstantnih spektralnih pospeškov
T_C	zgornja meja nihajnega časa na območju konstantnih spektralnih pospeškov
T_D	spodnja meja nihajnega časa na območju konstantnih spektralnih pomikov
T	nihajni čas

Glede na tipe tal A, B, C, D in E (preglednica 4) so določeni parametri S , T_B , T_C in T_D . Vrednosti teh faktorjev so podane v preglednici 4. V primeru, da obravnavana lokacija spada v tip tal S_1 ali S_2 , so potrebne študije za opredelitev potresnega delovanja tal. Za omenjena tipa tal je potrebno upoštevati tudi možnost razpada tal zaradi potresnega delovanja.

Preglednica 4: Vrednosti parametrov, ki opisujejo elastični spekter odziva.

Tip tal	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,10	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

2.1.4 Razredi potresne obtežbe

V trenutno veljavnem standardu (SIST, 2005) razredi potresne obtežbe niso natančno opredeljeni. V nacionalnem dodatku sta omenjena samo nivo zelo nizke seizmičnosti in nivo nizke seizmičnosti.

Standard pravi, da se določila za projektiranje, ki veljajo za nizko seizmičnost, lahko uporabljajo na območjih, kjer projektni pospešek tal na tleh tipa A ni večji od 0,08 g. Za nivoje zelo nizke seizmičnosti se določila iz standarda lahko uporabljajo na območjih, kjer projektni pospešek tal na tleh tipa A ni večji od 0,04 g. Glede na trenutno veljavno karto potresne nevarnosti v Sloveniji ni področij z nizko ali zelo nizko seizmičnostjo.

2.2 Elastičen spekter pospeškov po novi različici standarda

Definicija oblike spektra je po novi različici standarda (CEN, 2021) različna kot po trenutno veljavni verziji (SIST, 2005). Odvisna je od vrednosti na platoju spektra (območje konstantnih spektralnih pospeškov) in vrednosti spektra pri nihajnem času 1 s (razdelek 2.2.1). Ob poznavanju teh dveh parametrov in tipa tal (razdelek 2.2.2) se nato določi oblika spektra (razdelek 2.2.3).

2.2.1 Intenziteta potresne obtežbe

V osnutku novega standarda je potresna obtežba opisana z dvema parametroma:

- a) $S_{\alpha,ref}$ = referenčni največji spektralni pospešek, ki ustreza območju konstantnega pospeška vodoravnega 5% dušenega elastičnega odzivnega spektra, za tip tal A in povratno dobo T_{ref} (za posamezno državo so te vrednosti določene s strani ustreznih organov (ARSO) ali jih najdemo v nacionalnem dodatku Evrokoda 8)
- b) $S_{\beta,ref}$ = referenčni spektralni pospešek pri nihajnem času $T_{\beta} = 1$ s, pri 5% kritičnem dušenju, za tip tal A in povratno dobo T_{ref}

Za izpeljavo $S_{\beta,ref}$ se lahko uporabi eden izmed naslednjih načinov:

- a) Izračunamo ga po enačbi 2.6.

kjer je f_h parameter, odvisen od stopnje seizmičnosti:

- $f_h = 0,2$ za nizke in zelo nizke stopnje seizmičnosti
- $f_h = 0,3$ za zmerne stopnje seizmičnosti
- $f_h = 0,4$ za visoke stopnje seizmičnosti

- b) Pridobimo ga iz študije potresne nevarnosti obravnavane lokacije in ga kartiramo sočasno z $S_{\alpha,ref}$.

$$S_{\beta,ref} = f_h S_{\alpha,ref} \quad (2.6)$$

Pridobimo ga iz študije potresne nevarnosti obravnavane lokacije in ga kartiramo sočasno z $S_{\alpha,ref}$.

V Sloveniji bosta oba spektralna pospeška $S_{\alpha,ref}$ in $S_{\beta,ref}$ predvidoma določena z novimi kartami projektnih spektralnih pospeškov, in sicer za tip tal A, z upoštevanjem 5% kritičnega dušenja in pri referenčni povratni dobi (T_{ref}). Omenimo, da standard dovoljuje tudi, da se referenčna spektralna pospeška določita na tipu tal, različnem od A. V tem primeru se imenujeta $S_{\alpha,ref,X}$ in $S_{\beta,ref,X}$. Ta možnost za uporabo v Sloveniji ni predvidena, zato je v diplomski nalogi ne obravnavamo.

Poleg tega je predvideno, da bo T_{ref} znašal 475 let ter da bosta $S_{\alpha,ref}$ in $S_{\beta,ref}$ enaka $S_{\alpha,475}$ in $S_{\beta,475}$. Kljub temu omenimo, da standard za primere, kjer je T_{ref} različen od 475 let, podaja enačbo za izračun $S_{\alpha,475}$ (ne pa tudi $S_{\beta,475}$) in sicer:

$$S_{\alpha,475} = S_{\alpha,ref} (475/T_{ref})^{1/k} \quad (2.7)$$

kjer je k naklon krivulje potresne nevarnosti v logaritmskem merilu in znaša 3. Na tem mestu omenimo še, da parameter $S_{\alpha,475}$ neposredno vpliva na stopnjo seizmičnosti, s tem pa na vrednost f_h . Razpon vrednosti, ki opredeljujejo stopnje seizmičnosti je prikazan v preglednici 5.

Preglednica 5: Razpon vrednosti $S_{\alpha,475}$ za opredelitev stopenj seizmičnosti.

Stopnja seizmičnosti	$S_{\alpha,475}$ [m/s ²]
zelo nizko	< 1,0
nizko	1,0 – 2,5
zmerno	2,5 – 5,0
visoko	> 5,0

V standardu je opredeljeno, da povratno dobo, ki ustreza mejnemu stanju blizu porušitve oz. mejnemu stanju velikih poškodb SD in razredu pomembnosti CC2, ki je po definiciji podoben kot razred pomembnosti II v trenutno veljavnem standardu, obravnavamo kot referenčno povratno dobo T_{ref} oziroma $T_{SD,2}$. Referenčna povratna doba T_{ref} , ki jo obravnavamo tekom naloge, znaša za omenjeno mejno stanje in razred pomembnosti 475 let, faktor pomembnosti $\gamma_{LS,CC}$ oz. $\gamma_{SD,2}$ pa 1,0.

Za povratne dobe, ki so različne od T_{ref} , bodisi zaradi vpliva mejnega stanja, bodisi zaradi vpliva razreda posledic stavb standard vpeljuje spektralne pospeške $S_{\alpha,RP}$ in $S_{\beta,RP}$, kjer RP predstavlja drugačno povratno dobo. $S_{\alpha,RP}$ in $S_{\beta,RP}$ ustrezata tipu tal A, pridobi pa se ju lahko na naslednja načina:

- iz kart spektralnih pospeškov za določene povratne dobe
- iz faktorjev zmogljivosti $\gamma_{LS,CC}$ s katerimi pomnožimo referenčne spektralne pospeške, kot je prikazano z enačbama (2.8) in (2.9):

$$S_{\alpha,RP} = \gamma_{LS,CC} S_{\alpha,ref} \quad (2.8)$$

$$S_{\beta,RP} = \gamma_{LS,CC} S_{\beta,ref} \quad (2.9)$$

Razredi pomembnosti oz. razredi posledic so v novi različici standarda definirani kot CC1, CC2 in CC3. V kolikor ni posebej določeno, spada obravnavana konstrukcija v razred pomembnosti CC2, kar je enako kot razred II v trenutno veljavnem standardu. V tem primeru je koeficient δ enak 1,0. Razred CC1 v standardu ni posebej definiran. V kolikor ga primerjamo z razredom pomembnosti I. po trenutno veljavnem standardu, so to lahko stavbe, ki niso pomembne za javno varnost, kmetijske zgradbe itd. Razred pomembnosti CC3 lahko razdelimo na dva podrazreda, in sicer CC3-a in CC3-b, ki se lahko enačita z razredoma III in IV iz trenutno veljavnega standarda. Podrazreda CC3-a in CC3-b sta odvisna

od pomena objektov za javno varnost in civilno zaščito v času neposredno po potresu. V razred pomembnosti CC3-a uvrščamo šole, montažne dvorane, kulturne ustanove itd., medtem ko v razred CC3-b uvrščamo bolnice, gasilske postaje, elektrarne itd.

Mejna stanja (LS) so definirana podobno kot v trenutno veljavnem standardu, vendar je dodano še eno mejno stanje, tj. stanje OP:

- a) NC (Near Collapse) – stanje blizu porušitve; stanje, pri katerem je konstrukcija močno poškodovana, z velikimi trajnimi pomiki, vendar je ohranjena njena vertikalna nosilnost (večina elementov je porušenih),
- b) SD (Significant Damage) – stanje velikih poškodb; stanje, pri katerem je konstrukcija znatno poškodovana, z zmerno velikimi trajnimi pomiki, vendar je ohranjena njena vertikalna nosilnost (stene se niso porušile izven svoje ravnine, konstrukcijo je mogoče popraviti, vendar je v večini primerov to neekonomično),
- c) DL (Damage Limitation) – stanje omejitve poškodb; stanje, pri katerem je konstrukcija rahlo poškodovana, z zanemarljivimi trajnimi pomiki, sposobnost, da konstrukcija prenese prihodnje potrese ni zmanjšana (elementi ohranijo svojo nosilnost, vendar z zmanjšano togostjo, vidne so lahko manjše razpoke na stenah, popravilo konstrukcije je ekonomično),
- d) OP (Fully Operational) – stanje nemotenega delovanja; stanje, pri katerem je konstrukcija rahlo poškodovana in je popravilo ekonomično (storitve ali bivanja v stavbi zaradi popravila ni potrebno zapreti oz. prekiniti in lahko obratuje nemoteno).

Za mejna stanja DL, SD, in NC ter vse tri razrede pomembnosti so podane povratne dobe in faktorji pomembnosti $\gamma_{LS,CC}$ (preglednici 6 in 7).

Preglednica 6: Povratne dobe glede na mejna stanja in razrede posledic.

Mejno stanje (LS)	Razredi posledic (CC)			
	CC1	CC2	CC3-a	CC3-b
NC	800	1600	2500	5000
SD	250	475	800	1600
DL	50	60	60	100

Preglednica 7: Faktorji pomembnosti glede na mejna stanja in razrede posledic.

Mejno stanje (LS)	Razredi posledic (CC)			
	CC1	CC2	CC3-a	CC3-b
NC	1,2	1,5	1,8	2,2
SD	0,8	1,0	1,2	1,5
DL	0,4	0,5	0,5	0,6

2.2.2 Tipi tal

V novem standardu so tipi tal definirani s kategorijami od A do F, kar pomeni kategorijo več kot v obstoječem standardu. Medtem, ko je bil za določitev tipa tal izbrane lokacije po obstoječem standardu predpisan samo en pristop, lahko po novem uporabimo enega od dveh pristopov. Pri uporabi prvega pristopa moramo pridobiti informacije o dveh parametrih:

- H_{800} , globina kamninske tvorbe, kjer je hitrost strižnega valovanja najmanj enaka 800 m/s
- $v_{s,H}$, povprečna hitrost strižnega valovanja do globine H , ki je podana z enačbo (2.10)

$$v_{s,H} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{v_i}} \quad (2.10)$$

kjer so:

h_i	debelina i -te plasti tal [m]
v_i	hitrost strižnega valovanja i -te plasti tal [m/s]
N	skupno število plasti tal od površine tal do globine H
H	= 30 m; če $H_{800} \geq 30$ m (v tem primeru velja $v_{s,H} = v_{s,30}$)
	= H_{800} če $H_{800} < 30$ m

V kolikor informacij o zgornjih parametrih ne moremo pridobiti ali so nepopolne, uporabimo drugi, poenostavljen, pristop, ki je podan v aneksu A novega standarda. Aneks A vsebuje dodatne informacije za poenostavljeno identifikacijo tipa tal. Za vsak tip tal je podana preglednica A.1, ki opisuje zgradbo zemljine (ali zemljina vsebuje pesek, glino, gramoz itd.). Podana je še preglednica A.2, ki prikazuje skladnost med tipom tal in geotehničnimi parametri (testi SPT, CPT itd.).

V kolikor sta bila uporabljena oba omenjena pristopa in so končni rezultati različni, so relevantni rezultati, pridobljeni s prvim postopkom.

Za $v_{s,H} < 800$ m/s so v novem standardu določeni tipi tal od A do F, glede na vrednosti H_{800} in $v_{s,H}$, kot je prikazano v preglednici 8.

Preglednica 8: Kategorizacija tipov tal.

	razred zemljine	trda	srednja	mehka
razvrščanje tal po globini		$800 \text{ m/s} > v_{s,H}$ $\geq 400 \text{ m/s}$	$400 \text{ m/s} > v_{s,H}$ $\geq 250 \text{ m/s}$	$250 \text{ m/s} > v_{s,H}$ $\geq 150 \text{ m/s}$
zelo plitvo	$H_{800} \leq 5 \text{ m}$	A	A	E
plitvo	$5 \text{ m} < H_{800} \leq 30 \text{ m}$	B	E	E
vmesno	$30 \text{ m} < H_{800} \leq 100 \text{ m}$	B	C	D
globoko	$H_{800} > 100 \text{ m}$	B	F	F

2.2.3 Elastični spekter psevdo-pospeškov

Elastični odzivni spekter $S_e(T)$ je v novi različici standarda Evrokod 8 definiran z enačbami od (2.11) do (2.15).

$$0 \leq T \leq T_A: \quad S_e(T) = \frac{S_\alpha}{F_A} \quad (2.11)$$

$$T_A \leq T \leq T_B: \quad S_e(T) = \frac{S_\alpha}{T_B - T_A} \left[\eta(T - T_A) + \frac{T_B - T}{F_A} \right] \quad (2.12)$$

$$T_B \leq T \leq T_C: \quad S_e(T) = \eta S_\alpha \quad (2.13)$$

$$T_C \leq T \leq T_D: \quad S_e(T) = \eta \frac{S_\beta T_\beta}{T} \quad (2.14)$$

$$T \geq T_D: \quad S_e(T) = \eta T_D \frac{S_\beta T_\beta}{T^2} \quad (2.15)$$

kjer so:

$S_e(T)$	elastični spekter pospeškov
T	nihačni čas
S_α	največji odzivni spektralni pospešek (5 % dušenje)
S_β	spektralni pospešek pri nihajnem času $T_\beta (= 1 \text{ s})$
T_β	$= 1 \text{ s}$
T_A	nihačni čas, do katerega so vsi spektralni pospeški enaki spektralnemu pospešku pri nihajnem času 0 s in znaša 0,02 s
T_B	spodnja meja nihajnih časov v območju konstantnih spektralnih pospeškov, definirana z enačbami (2.16) do (2.18)
T_C	zgornja meja nihajnih časov v območju konstantnih spektralnih pospeškov, definirana z enačbo (2.19)
T_D	nihačni čas v začetku območja konstantnih spektralnih pomikov, definiran z enačbama (2.20) in (2.21)
η	korekcijski faktor dušenja, ki ima vrednost $\eta = 1$ pri 5% dušenju

$$T_B = \frac{T_C}{\chi}, \text{ če } 0,05 \text{ s} \leq \frac{T_C}{\chi} \leq 0,10 \text{ s} \quad (2.16)$$

$$T_B = 0,05 \text{ s}, \text{ če } \frac{T_C}{\chi} < 0,05 \text{ s} \quad (2.17)$$

$$T_B = 0,10 \text{ s}, \text{ če } \frac{T_C}{\chi} > 0,10 \text{ s} \quad (2.18)$$

$$T_C = \frac{S_\beta T_\beta}{S_\alpha}, \quad (2.19)$$

kjer je parameter χ enak 4.

Za primere, ko je $T_C > 1 \text{ s}$ je potrebno izvesti posebno študijo za opredelitev horizontalnega elastičnega spektra in ovrednotiti spektralne parametre. T_D se določi kot:

$$T_D = 2 \text{ s}, \text{ če } S_{\beta,RP} \leq 1 \text{ m/s}^2 \quad (2.20)$$

$$T_D = 1 + S_{\beta,RP}, \text{ če } S_{\beta,RP} > 1 \text{ m/s}^2 \quad (2.21)$$

Spektralna pospeška S_α in S_β se izračunata po enačbah (2.22) in (2.23):

$$S_\alpha = F_T F_\alpha S_{\alpha,RP} \quad (2.22)$$

$$S_\beta = F_T F_\beta S_{\beta,RP} \quad (2.23)$$

kjer so:

F_α	amplifikacijski faktor tal za kratke nihajne čase
F_β	amplifikacijski faktor tal za srednje dolge nihajne čase ($T = T_\beta$)
F_T	amplifikacijski faktor tal odvisen od topografije
$S_{\alpha,RP}$	spektralni pospešek na platoju za tip tal A in povratno dobo različno od T_{ref} , definiran z enačbo (2.8)
$S_{\beta,RP}$	spektralni pospešek za tip tal A in povratno dobo različno od T_{ref} , definiran z enačbo (2.9)

Za tipe tal, določene po prvem pristopu (preglednica 8), je za vrednosti amplifikacijskih faktorjev potrebno uporabiti vrednosti iz preglednice 9. V preglednici so podane privzete vrednosti faktorjev ter vrednosti faktorjev, ki jih izračunamo na podlagi vhodnih podatkov H_{800} in $v_{s,H}$ s pomočjo enačb, ki so podane v tej preglednici. Privzete vrednosti uporabimo, kadar je tip tal opredeljen na podlagi meril iz Aneksa A novega standarda, medtem ko se izračunane vrednosti uporabijo v primeru:

- ko sta vrednosti $v_{s,H}$ in, če je primerno H_{800} dokumentirana
- ko sta vrednosti $v_{s,H}$ in H_{800} določeni na podlagi Aneksa A

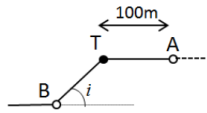
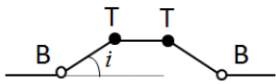
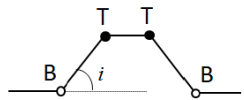
Preglednica 9: Vrednosti amplifikacijskih faktorjev F_α in F_β za vse tipe tal.

tip tal	F_α		F_β	
	H_{800} in $v_{s,H}$ na voljo	privzeta vrednost	H_{800} in $v_{s,H}$ na voljo	privzeta vrednost
A	1,0	1,0	1,0	1,0
B	$\left(\frac{v_{s,H}}{800}\right)^{-0,40} r_\alpha$	$1,3 * (1 - 0,1 S_{\alpha,RP}/g)$	$\left(\frac{v_{s,H}}{800}\right)^{-0,70} r_\beta$	$1,6 * (1 - 0,2 S_{\beta,RP}/g)$
C		$1,6 * (1 - 0,2 S_{\alpha,RP}/g)$		$2,3 * (1 - 0,3 S_{\beta,RP}/g)$
D		$1,8 * (1 - 0,3 S_{\alpha,RP}/g)$		$3,2 * (1 - S_{\beta,RP}/g)$
E	$\left(\frac{v_{s,H}}{800}\right)^{-0,40} r_\alpha \frac{H}{830} \left(4 - \frac{H}{10}\right)$	$2,2 * (1 - 0,5 S_{\alpha,RP}/g)$	$\left(\frac{v_{s,H}}{800}\right)^{-0,70} r_\beta \frac{H}{30}$	$3,2 * (1 - S_{\beta,RP}/g)$
F	$0,90 \cdot \left(\frac{v_{s,H}}{800}\right)^{-0,40} r_\alpha$	$1,7 * (1 - 0,3 S_{\alpha,RP}/g)$	$1,25 \cdot \left(\frac{v_{s,H}}{800}\right)^{-0,70} r_\beta$	$4,0 * (1 - S_{\beta,RP}/g)$
	$r_\alpha = 1 - \frac{S_{\alpha,RP}/g}{v_{s,H}/150}$		$r_\beta = 1 - \frac{S_{\beta,RP}/g}{v_{s,H}/150}$	

Vrednosti in enačbe v preglednici so določene na podlagi mediane faktorjev ojačitve tal iz empiričnih modelov za napovedovanje gibanja tal. V primeru srednjega in/ali visokega razreda potresne obtežbe (glej razdelek 2.2.4) se lahko za amplifikacijske faktorje uporabijo poenostavljene vrednosti, in sicer $F_\alpha = 2,20$ ter $F_\beta = 4,0$, v primeru stabilnih tal.

V primeru topografskih nepravilnosti, in sicer, ko je višina večja od 30 m, ko so povprečni koti naklona večji od 15° in samo za tipe tal A in B, je pri izračunu spektralnih pospeškov S_α in S_β potrebno upoštevati amplifikacijski faktor zaradi topografije F_T glede na preglednico 10. V ostalih primerih je le-ta enak 1,0.

Preglednica 10: Amplifikacijski faktorji za enostavne topografske nepravilnosti.

Opis topografije	F_T	poenostavljena skica
ravna površina tal, pobočja in izolirani grebeni s povprečnim naklonom pobočja $i < 15^\circ$ ali višino > 30 m	1,0	/
pobočja s povprečnim kotom naklona $i > 15^\circ$	1,2	
grebeni, katerih širina na vrhu je veliko manjša kot na dnu in s povprečnim naklonom pobočja $15^\circ < i < 30^\circ$	1,2	
grebeni, katerih širina na vrhu je veliko manjša kot na dnu in s povprečnim naklonom pobočja $i > 30^\circ$	1,4	

2.2.4 Razredi potresne obtežbe

Standard predvideva razvrstitev potresne obtežbe v razrede. Treba je poudariti, da ta razvrstitev ni enaka kot razdelitev na stopnje seizmičnosti, ki vplivajo na f_h (glej razdelek 2.2.1). Razvrstitev je odvisna od indeksa S_δ , ki je definiran z enačbo 2.24.

$$S_\delta = \delta F_\alpha F_T S_{\alpha,475} \quad (2.24)$$

kjer so:

δ	koeficient, odvisen od razreda pomembnosti oz. razreda posledic obravnavane stavbe
F_α	amplifikacijski faktor tal za kratke nihajne čase
F_T	amplifikacijski faktor tal, odvisen od topografije
$S_{\alpha,475}$	maksimalni spektralni pospešek za povratno dobo 475 let in tip tal A

Glede na S_δ so razredi potresne obtežbe definirani v skladu s preglednico 11.

Preglednica 11: Razredi jakosti seizmičnosti.

razred jakosti seizmičnosti	razpon vrednosti S_δ (m/s^2)
zelo nizko	$< 1,30$
nizko	$1,30 - 3,25$
srednje	$3,25 - 6,50$
visoko	$> 6,50$

Razred potresne obtežbe ima pomembno vlogo v standardu, saj vpliva na določitev tipa tal, določitev faktorja amplifikacije zaradi tipa tal, število akceleroگرامov, ki jih moramo upoštevati, če izvajamo dinamične analize, na zahteve pri projektiranju itd. Ob tem velja omeniti, da je S_δ , ki določa razred potresne obtežbe, med drugim odvisen od F_α (razdelek 2.2.3), obenem pa je določitev F_α odvisna od razreda potresne obtežbe, kar pomeni, da se v tem primeru standard sklicuje »v krog«.

2.3 Primerjava standardov

Tekom poglavja 2 smo predstavili značilnosti trenutno veljavnega standarda in nove različice standarda Evrokod 8 ter prikazali način izračuna spektrov glede na obe verziji. Obravnavani različici standarda se med seboj razlikujeta na več področjih. V trenutno veljavnem standardu je referenčni parameter potresne intenzitete projektni pospešek tal a_g , ki predstavlja odziv spektra pri nihajnem času 0 s in je določen za povratno dobo 475 let in za tip tal A. Po novi različici standarda je ta parameter spektralni pospešek $S_{\alpha,ref}$, ki predstavlja maksimalno vrednost v spektru in je določen za povratno dobo 475 let in tip tal A, lahko pa tudi spektralni pospešek $S_{\beta,ref}$, ki predstavlja vrednost v spektru pri nihajnem času 1 s in je določen za povratno dobo 475 let in tip tal A.

Druga razlika je v formulaciji spektrov. V trenutno veljavnem standardu je oblika spektra odvisna od parametrov S , T_B , T_C in T_D , ki jih določa tip tal, v novi različici standarda pa tudi od razmerja med S_α in S_β . Novi standard hkrati omogoča različne načine uporabe oz. načine določitve elastičnega spektra. Prvi način temelji na uporabi spektralnega pospeška na platoju in spektralnega pospeška pri nihajnem času 1 s. Drugi način predstavlja približek obstoječega stanja. Projektant uporabi le spektralni pospešek na platoju in potem z ustreznim faktorjem določi še točko pri nihajnem času 1 s.

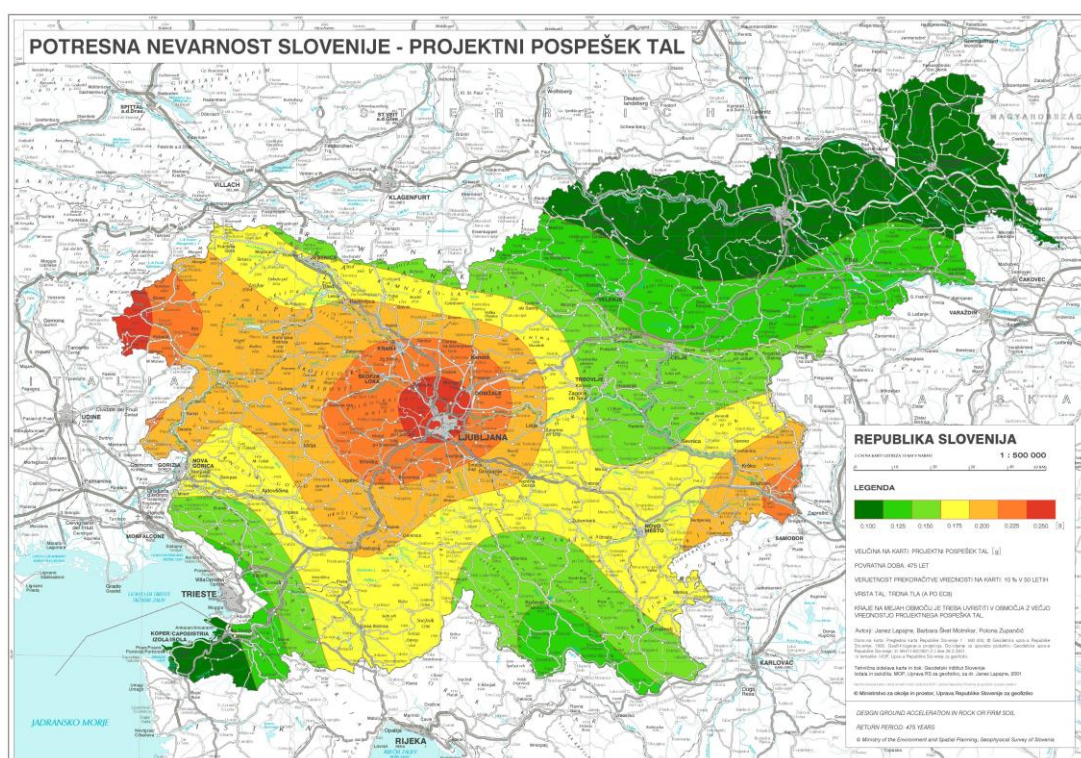
Novost v novi različici standarda predstavlja tudi faktor topografije F_T , ki ga je v primeru topografskih nepravilnosti terena potrebno upoštevati pri izračunu spektralnih pospeškov. Faktor F_T povečuje spektralne vrednosti, s tem pa tudi potresno obtežbo.

V novi različici standarda faktor pomembnosti zajema vpliv razreda pomembnosti in mejnega stanja, medtem ko v trenutno veljavnem standardu faktor pomembnosti vsebuje vpliv razreda pomembnosti. Nova različica standarda torej neposredno podaja faktor povečanja referenčne potresne intenzitete tako zaradi pomembnosti objekta kot zaradi mejnega stanja, medtem ko se intenziteto potresa za različna mejna stanja v trenutno veljavnem standardu lahko izračuna na osnovi naklona krivulje potresne nevarnosti. Obenem so v novi različici standarda tudi neposredno podane povratne dobe za vse kombinacije mejnega stanja in razredov pomembnosti, medtem ko so v trenutno veljavnem standardu povratne dobe podane le za različna mejna stanja, povratne dobe za različne razrede pomembnosti pa je možno izračunati z upoštevanjem naklona krivulje potresne nevarnosti.

Razlika se pojavi tudi pri načinu klasifikacije potresne obtežbe, ki vpliva na kasnejše projektiranje stavb. V trenutno veljavnem standardu razredi potresne obtežbe niso točno opredeljeni, omenjena sta samo nivo zelo nizke in nizke seizmičnosti. V novem standardu se potresna obtežba razvrsti v razrede potresne obtežbe, ki so odvisni od vrednosti indeksa S_δ in neposredno vplivajo na določitev tipa tal, določitev amplifikacijskega faktorja zaradi tipa tal, na zahteve pri projektiranju itd. Omenjena razvrstitev ni enaka kot razdelitev na stopnje seizmičnosti.

Pri potresno-odpornem načrtovanju objektov sta glavna cilja predvsem preprečitev porušitve konstrukcije za določeno stopnjo potresa in preprečitev poškodovanosti objekta za nižjo stopnjo potresa. Da projektant pri načrtovanju objekta upošteva ustrezno potresno obtežbo, je predhodno potrebno opraviti analizo potresne nevarnosti za lokacijo objekta. Ti podatki so za območje Slovenije prosto dostopni na spletu v obliki kart potresne nevarnosti, ki nastanejo kot rezultat analize potresne nevarnosti in jih pripravljajo strokovnjaki z ARSO, GeoZS in drugih institucij.

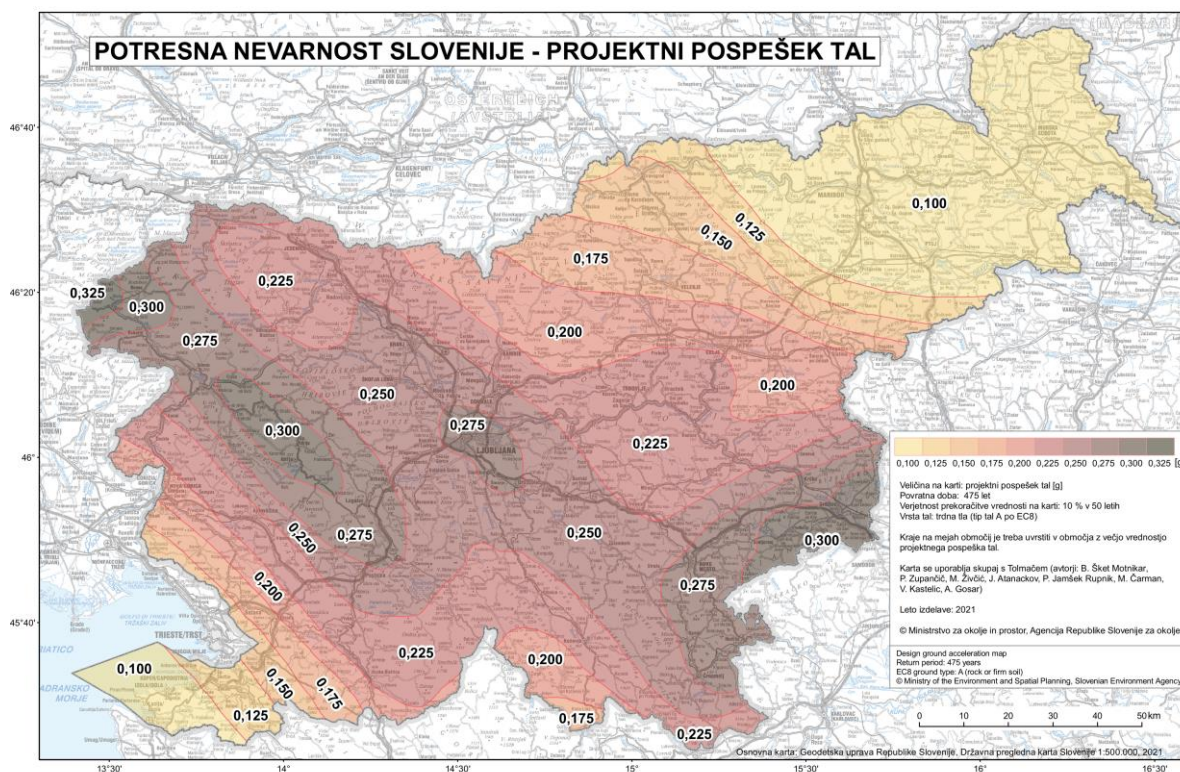
Trenutno veljavna karta potresne nevarnosti Slovenije (ARSO, 2001) je bila izdelana leta 2001 (slika 1). V tem času se je pridobilo veliko novih podatkov, metode izdelave in uporabljani modeli so se izpopolnili, razvili so se novi računalniški programi in predvsem zato se je pojavila tudi potreba po novi karti potresne nevarnosti. V času priprave trenutno veljavne karte je bilo v Sloveniji v državni mreži na razpolago 7 potresnih opazovalnic. Manj potresnih opazovalnic je posledično pomenilo manj meritev pospeškov in tudi manj točne podatke. Rezultat tega se odraža v nižjih vrednostih pospeškov na trenutno veljavni karti potresne nevarnosti.



Slika 1: Karta projektnega pospeška tal iz leta 2001 (ARSO, 2001).

Trenutno je v Sloveniji 26 potresnih opazovalnic državne mreže, na podlagi katerih je bilo z leti zabeleženih mnogo več zapisov gibanja tal. Vzpostavitev mreže opazovalnic je omogočila boljše poznavanje potresne aktivnosti, s tem pa nudila podlago za vpeljavo nekaterih novosti v analizi potresne

nevarnosti. Enega izmed najbolj vplivnih vhodnih podatkov predstavlja model pojemanja pospeška tal, ki pojasnjuje kako se pospešek tal zmanjšuje z oddaljenostjo od nadžarišča potresa. V trenutno veljavni karti potresne nevarnosti (ARSO, 2001) je bil uporabljen model pojemanja (Sabetta in Pugliese, 1996), ki podcenjuje razpon pospeška tal, saj je bilo takrat na razpolago premalo meritev. Pri pripravi nove karte potresne nevarnosti (ARSO, 2021) (slika 2) pa je bil uporabljen model pojemanja (Kotha in sod., 2020), ki je bil razvit za izračun nove evropske karte potresne nevarnosti (ESHM, 2020), parametri pa so bili prilagojeni razmeram v Sloveniji. Novost pri pripravi nove karte predstavlja tudi opredelitev aktivnih prelomov in njihova parametrizacija, kar omogoča, da ocenjevanje potresne nevarnosti ne temelji samo na preteklih potresih. Na podlagi tega lahko določimo tudi nevarna območja zaradi prelomov, čeprav na tistem območju do zdaj še nismo zasledili potresov. Prav tako se je sočasno posodobila tudi evropska karta potresne nevarnosti (ESHM20), kar je še dodatno pripomoglo k pripravi nove karte.



Slika 2: Karta projektnega pospeška tal iz leta 2021 (ARSO, 2021).

3.1 Metode analize potresne nevarnosti

Poznamo dve vrsti analize potresne nevarnosti. Prva metoda je verjetnostna analiza potresne nevarnosti (PSHA), kjer z verjetnostjo ocenjujemo, da se potres lahko zgodi kjerkoli na potresnem izvoru in s katerokoli magnitudo možnega razpona. Rezultati takšne analize so krivulje potresne nevarnosti, spekter enotne potresne nevarnosti, karte potresne nevarnosti, razčlenitev potresne nevarnosti (prispevek magnitude in oddaljenosti od epicentra potresa k potresni nevarnosti). Druga metoda je deterministična analiza potresne nevarnosti (DSHA), kjer na opazovani lokaciji poiščemo potres na najbližjem prelomu z največjo močjo. Rezultat te metode je maksimalni pospešek tal in spekter pospeškov za izbran potres.

V nadaljevanju tretjega poglavja te diplomske naloge sta obe metodi na kratko opisani (razdelek 3.1.1 in 3.1.2). Tako trenutno veljavna, kot tudi nova karta pospeška tal sta dobljeni z uporabo metode PSHA, za katero so v nalogi podane tudi nekatere informacije o podatkih, upoštevanih pri izdelavi nove karte potresne nevarnosti (razdelek 3.1.2).

3.1.1 Deterministična analiza potresne nevarnosti

Deterministično ocenjevanje potresne nevarnosti je sestavljeno iz naslednjih korakov:

1. korak: definiranje in opis izvorov potresa, ki lahko povzročijo poškodbe
2. korak: določitev porazdelitve magnitud za vse potresne izvore
3. korak: določitev merodajnega potresa (tisti, ki povzroči največji pospešek tal na lokaciji)
4. korak: določitev potresne nevarnosti glede na merodajni potres (maksimalni pospešek tal, spekter pospeškov)

Rezultat deterministične analize je sicer lažje razumljiv, saj se nanaša na konkreten potres, vendar je potresna nevarnost v tem primeru opisana pristransko, saj temelji na arbitrarno izbranem potresu in zanemarja vplive ostalih potresov. Zaradi tega se je v sodobnih postopkih projektiranja potresno odpornih konstrukcij uveljavila uporaba kart potresne nevarnosti na osnovi verjetnostne metode PSHA (Dolšek, 2020).

3.1.2 Verjetnostna analiza potresne nevarnosti

Verjetnostno ocenjevanje potresne nevarnosti je sestavljeno iz naslednjih korakov:

1. korak: definiranje potresnih izvorov (območja, kjer nastajajo potresi)
2. korak: ocena aktivnosti vsakega od izvorov (seizmičnost) in največje magnitude
3. korak: določitev modela pojemanja pospeška
4. korak: matematični izračun rezultatov oz. prikaz rezultatov verjetnostne analize (krivulje, karte, spekter potresne nevarnosti)

3.1.2.1 Potresni izvori

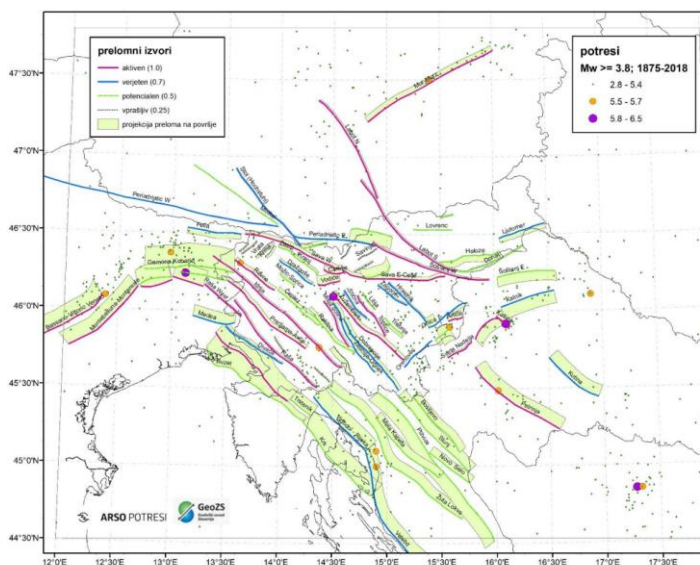
Potresni izvor je geografsko območje, za katerega predpostavimo, da ima enake strukturno-geološke in kinematske značilnosti ter enako seizmičnost, kar pomeni, da je na celotnem potresnem izvoru enaka verjetnost, da bo nastal potres določene magnitude. Glede na geometrijo ločimo točkovne, ploskovne in prelomne (linijske) izvore. V izračunu nove slovenske karte (ARSO, 2021) so kombinirani vsi trije tipi potresnih izvorov.

Pri modeliranju točkovnih potresnih izvorov je najbolj preprost pristop glajenje pretekle seizmičnosti, ki je bil uporabljen pri izdelavi trenutno veljavne karte (ARSO, 2001) in temelji samo na potresnem katalogu, kar pomeni, da predpostavljamo, da bodo tudi v prihodnje potresi nastajali na istih območjih kot v preteklosti. V splošnem to pomeni, da se celotno območje (v našem primeru Slovenije) razdeli na

mrežo z velikostjo celic, npr. 10 x 10 km, kjer se v vsaki celici prešteje potrese, kar potem predstavlja aktivnost posamezne celice. Ker so lokacije preteklih potresov nezanesljive, so avtorji študije pred štejetjem potresov lokacije »pogladili« po sosednjih celicah, krožno ali eliptično v smereh, kjer naj bi potekali prelomi. Slabost te metode je ta, da upošteva samo potresno zgodovino brez znanja o seizmotektoniki ali geologiji (Šket Motnikar, 2021).

Drugi model predstavljajo ploskovni potresni izvori. Oblika izvorov je v tem primeru določena s pomočjo geoloških in seizmoloških podatkov. S področja geologije so torej v posameznih izvori zajeta območja s čim bolj enako potresno aktivnostjo, s področja seizmologije pa je na vsakem posameznem izvoru določeno kolikšna je največja možna magnituda tega preloma, globina dogajanja potresov ter povprečno število letnih potresov z neko magnitudo.

Prelomni potresni izvori (slika 3) predstavljajo najbolj zahteven tip prelomov. Večina parametrov je pridobljena na podlagi geoloških podatkov in analiz. V Sloveniji je določenih 89 prelomov nad dolžino 5–6 km, ki lahko generirajo potres z magnitudo vsaj 5,8. (Šket Motnikar in sod., 2021). Pri izračunu je potrebno upoštevati tudi potrese, katerih magnituda je manjša od omenjene vrednosti, le-te pa modeliramo s točkovnimi ali ploskovnimi potresnimi izvori. Linijski prelomi se delijo v štiri kategorije, glede na sedanjo/trenutno aktivnost. Avtorji so prelome v študiji ločili na aktivne, verjetno aktivne, potencialno aktivne in vprašljive.

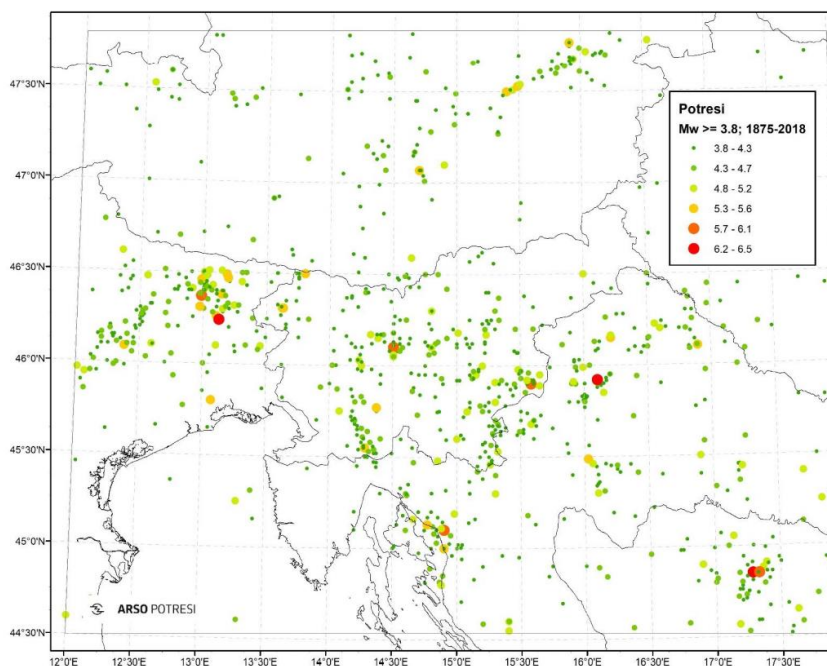


Slika 3: Katalog prelomnih potresnih izvorov (Atanackov in sod., 2022).

3.1.2.2 Aktivnost potresnih izvorov

V tem koraku je za vsak izvor potrebno določiti njegovo aktivnost. Osnovni seizmološki vir podatkov je katalog potresov, ki se dopolnjuje z vsakim zabeleženim novim potresom ter njegovo analizo. Zajema podatke iz obdobja med leti 456 in 2018 za območje celotne Slovenije in sosednjih dežel, v skupni površini približno 170.000 km² (Šket Motnikar in sod., 2021). Iz omenjenega kataloga je potrebno izločiti vse pred in popotrese, saj se le-ti obnašajo časovno odvisno od glavnih potresov – popotresi

množično nastajajo po glavnem potresu. V katalogu, ki je bil uporabljen pri izdelavi nove karte tako ostanejo samo glavni potresi z magnitudo vsaj 3,8.



Slika 4: Katalog potresov z magnitudo 3,8 in več od leta 1875 naprej (Šket Motnikar in sod., 2021).

3.1.2.3 Model pojemanja pospeškov

Model pojemanja pospeška opisuje pojemanje gibanja tal z oddaljenostjo od žarišča potresa. (Šket Motnikar in sod., 2021). V literaturi obstaja več tovrstnih modelov, ki so bili razviti na podlagi zbranih zapisov močnega gibanja tal. Zaradi negotovosti, povezanih z izbiro pravega modela, lahko izberemo večje število modelov, v zadnjem času pa se vse bolj uveljavlja t. i. »backbone« princip (Douglas, 2018), s katerim privzamemo le en, tj. referenčni model pojemanja, parametre pa kalibriramo na podlagi regionalnih značilnosti. Omenjeni princip je bil uporabljen tudi pri izdelavi modela pojemanja pospeškov (Kotha in sod., 2020) pri izdelavi nove karte potresne nevarnosti (ARSO, 2021). Poleg oddaljenosti od žarišča potresa je model odvisen še od različnih parametrov, tj. magnituda potresa, žariščni mehanizem, vrsta tal pod opazovalnico itd.

3.1.2.4 Matematični izračun rezultatov in prikaz rezultatov

Računski postopek je (pred)zadnji korak verjetnostne analize potresne nevarnosti, s katerim dobimo podatke za izdelavo krivulj, kart in spektra potresne nevarnosti. V zadnjem koraku se ti rezultati prikažejo s pomočjo krivulj, kart ali spektrov potresne nevarnosti. Osnovni rezultat verjetnostne analize potresne nevarnosti, ki je neposredno uporabljen v postopku projektiranja, je karta potresne nevarnosti (slika 1 in 2) oz. karta projektne pospeška tal na skali (tip tal A) za povratno dobo 475 let.

4 PRIMERJAVA SPEKTROV ZA IZBRANE LOKACIJE V SLOVENIJI

V tem poglavju analiziramo elastične spektre glede na trenutno veljavno in novo različico standarda Evrokod 8 za štiri izbrane lokacije v Sloveniji. Izbrali smo kraje Ljubljana, Murska Sobota, Brežice in Bovec. Ljubljana je bila izbrana zaradi velike potresne nevarnosti in izpostavljenosti, Brežice in Bovec zaradi velike potresne nevarnosti, Murska Sobota pa zato, ker predstavlja primer območja z nizko potresno nevarnostjo. Za omenjene lokacije smo spektre primerjali na dva načina. Najprej je narejena primerjava spektrov glede na različni verziji standarda, torej glede na obstoječo in novo verzijo. Temu sledi primerjava spektrov, določenih ob uporabi različnih modelov potresne nevarnosti.

4.1 Primerjava spektrov glede na obe verziji standarda

V tem razdelku primerjamo spektre, izračunane glede na trenutno veljavni standard (SIST, 2005) in glede na osnutek nove verzije standarda Evrokod 8 (CEN, 2021). Za izračun spektrov glede na trenutno veljavni standard (SIST, 2005) smo uporabili podatke o potresni nevarnosti iz modela ARSO 2001 (ARSO, 2001; Lapajne in sod., 2003), medtem ko smo za izračun spektrov glede na osnutek nove verzije standarda uporabili podatke o potresni nevarnosti iz modela ARSO 2021 (ARSO, 2021; Šket Motnikar in sod., 2022). Novi standard definira dve možnosti izračuna spektra, in sicer ko sta podana tako $S_{\alpha,ref}$ kot $S_{\beta,ref}$ ter ko je podan samo $S_{\alpha,ref}$, $S_{\beta,ref}$ pa je izračunan na podlagi $S_{\alpha,ref}$ (glej razdelek 2.2). Oba načina upoštevamo tudi v tej primerjavi. Obenem obravnavamo različne tipe tal. Kot je bilo omenjeno že v drugem poglavju, so tipi tal po novem standardu definirani nekoliko drugače kot v obstoječem. Iz tega razloga smo izhajali iz izbranih podatkov $v_{s,H}$ in H_{800} ter glede na ta podatka določili tip tal glede na kriterije iz obeh standardov. Podatki za določitev tipa tal glede na novo različico standarda so podani v standardu (preglednica 3) in jih lahko preprosto odčitamo. Pri določitvi tipa tal glede na obstoječi standard in pri podanih vhodnih podatkih $v_{s,H}$ in H_{800} pa smo najprej izračunali $v_{s,30}$ in potem iz preglednice v trenutno veljavni verziji standarda na podlagi dobljene vrednosti odčitali tip tal. Analiza razlik elastičnih spektrov je za različne tipe tal po trenutno veljavni in novi različici standarda Evrokod 8 podrobneje predstavljena za Ljubljano. Pri ostalih krajih smo se zaradi jedrnatosti naloge osredotočili samo na tip tal A.

V nalogi smo za vhodne podatke $v_{s,H}$ izbrali hitrosti 800, 400, 250 in 150 m/s, za H_{800} pa globine 5, 15, 50 in 200 m. Odčitani tipi tal glede na novi standard so prikazani v preglednici 12. Izračunane vrednosti $v_{s,30}$ so prikazane v preglednici 13, tipi tal, določeni glede na $v_{s,30}$ po trenutno veljavni verziji standarda pa v preglednici št. 14. V splošnem s kombiniranjem izbranih podatkov dobimo 16 kombinacij za vsako lokacijo, kar na koncu skupaj znaša 64 kombinacij. Zaradi jedrnatosti smo to število zmanjšali tako, da smo izpostavili samo izbrane kombinacije parametrov $v_{s,H}$ in H_{800} . Izbrane kombinacije so v preglednicah 12, 13 in 14 pisane odebeljeno.

Preglednica 12: Določitev tipa tal po novi različici standarda za izbrane kombinacije parametrov $v_{s,H}$ in H_{800} .

$v_{s,H}$ [m/s]	H_{800} [m]			
	5	15	50	200
800	A	A	A	A
400	A	B	B	B
250	A	E	C	F
150	E	E	D	F

Preglednica 13: Izračunane vrednosti $v_{s,30}$ [m/s] glede na izbrane kombinacije vhodnih podatkov.

$v_{s,H}$ [m/s]	H_{800} [m]			
	5	15	50	200
800	800	800	800	800
400	686	533	400	400
250	250 (585)	250 (381)	250	250
150	150 (465)	150 (253)	150	150

Preglednica 14: Določitev tipa tal glede na trenutno veljavni standard oz. glede na $v_{s,30}$.

$v_{s,H}$ [m/s]	H_{800} [m]			
	5	15	50	200
800	A	A	A	A
400	B	B	B	B
250	E	E	C	C
150	E	E	D	D

V prvem koraku je bilo potrebno postopek, ki ga podaja nova različica Evrokoda 8, za izračun spektralnih pospeškov iz standarda prenesti v Excel. Vhodna podatka za spektralne pospeške na platoju in pri nihajnem času 1 s smo dobili od ARSO, za ostale vhodne podatke pa smo upoštevali nekaj predpostavk. Odčitani spektralni pospeški so za izbrane lokacije prikazani v preglednici 16. V izračunih smo upoštevali referenčno povratno dobo: $T_{ref} = 475$ let in predpostavili, da je teren raven ($F_T = 1,0$). Poleg tega smo predpostavili, da gre za stavbe običajne pomembnosti, saj je takih največ. Po trenutno veljavnem standardu je to razred II, medtem ko se po novem standardu pripadajoči razred imenuje CC2. Faktor pomembnosti v obeh primerih znaša 1,0. Poleg predpostavljenih parametrov smo določili še faktor f_h , ki se v skladu z osnutkom novega standarda Evrokod 8 (CEN, 2021) določi na osnovi vrednosti $S_{\alpha,475}$ (enačba 2.7) in je za vsako lokacijo različen. Izračunane vrednosti $S_{\alpha,475}$ in pripadajoči faktor f_h so za posamezne kraje prikazane v preglednici 15.

Preglednica 15: Izračunane vrednosti $S_{\alpha,475}$ in pripadajoči f_h za posamezne kraje.

Lokacija	$S_{\alpha,475}$ [m/s ²]	f_h
Ljubljana	6,838	0,4
Murska Sobota	1,462	0,2
Brežice	7,456	0,4
Bovec	7,976	0,4

Po korakih, predstavljenih v drugem poglavju te naloge, smo ustvarili program v Excelu, ki na podlagi prej omenjenih vhodnih podatkov, izračuna potrebne parametre in posledično elastične pospeške spektra odziva, za stavbo pri izbranih pogojih, za različne nihajne čase. Pri izračunu elastičnih pospeškov za tipe tal, ki so različni od A, je v izračunu potrebno upoštevati amplifikacijske faktorje za krajše in srednje nihajne čase. Te faktorje je mogoče izračunati s pomočjo enačb, podanih v preglednici 9, lahko pa uporabimo kar privzete vrednosti iz iste preglednice. V diplomski nalogi smo uporabili privzete vrednosti. Na koncu smo izrisali spektre pospeškov za vse tipe tal od A do F.

Preglednica 16: Seizmološki podatki $S_{\alpha,ref}$ in $S_{\beta,ref}$ iz leta 2021 za izbrane lokacije (Šket Motnikar, 2022).

Lokacija	$S_{\alpha,ref}$ [g]	$S_{\beta,ref}$ [g]
Ljubljana	0,697	0,101
Murska Sobota	0,149	0,032
Brežice	0,760	0,105
Bovec	0,813	0,119

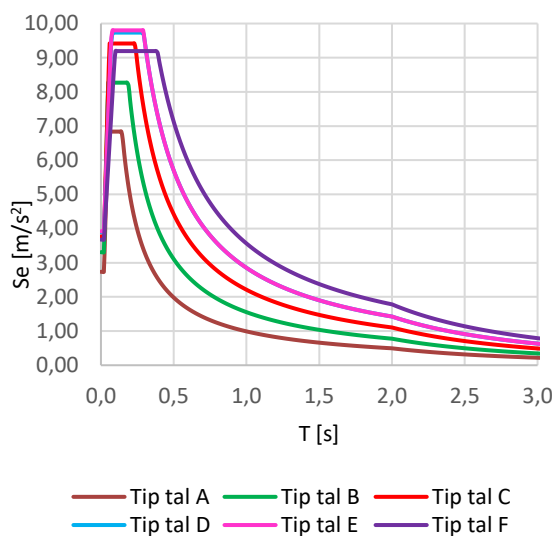
Podobno smo storili tudi za izračun spektralnih pospeškov po postopku, ki ga podaja stari oz. trenutno še veljavni standard. V tem primeru je postopek bistveno enostavnejši, saj so vsi parametri podani v Evrokodu (Preglednica 4) in je v Excel potrebno vnesti samo enačbe od (2.2) do (2.5). S karte projektnega pospeška tal (ARSO, 2001) je bilo potrebno odčitati le projektni pospešek tal $a_{g,R}$ (Preglednica 17). Podobno smo na koncu zrisali diagrame spektrov za tipe tal od A do E.

Preglednica 17: Vrednosti projektnega pospeška tal a_g glede na karto potresne nevarnosti iz leta 2001 (ARSO, 2001).

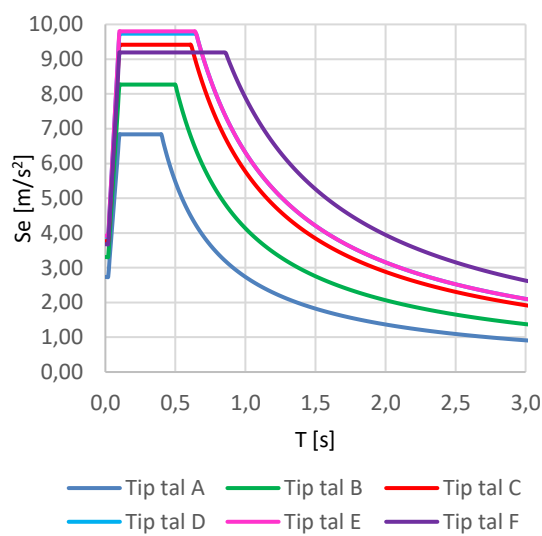
Lokacija	$a_{g,R}$ [g]
Ljubljana	0,250
Murska Sobota	0,100
Brežice	0,225
Bovec	0,225

4.1.1 Ljubljana

Sliki 5 in 6 prikazujeta spektre za Ljubljano za vse tipe tal glede na prvi postopek (Slika 5), ki ga podaja standard, in sicer ko je $S_{\beta,ref}$ poznan in glede na drugi postopek (Slika 6), ki ga podaja standard, in sicer ko $S_{\beta,ref}$ ni poznan. Vrednost $S_{\beta,ref}$, ko je le-ta poznan znaša za tip tal A $0,99 \text{ m/s}^2$, medtem ko po drugem postopku, ko $S_{\beta,ref}$ ni poznan, le-ta znaša $2,74 \text{ m/s}^2$. Posledično so vrednosti pospeškov v obeh spektrih na območju nihajnih časov od platoja (kot ga definira prvi postopek) naprej zelo različne.

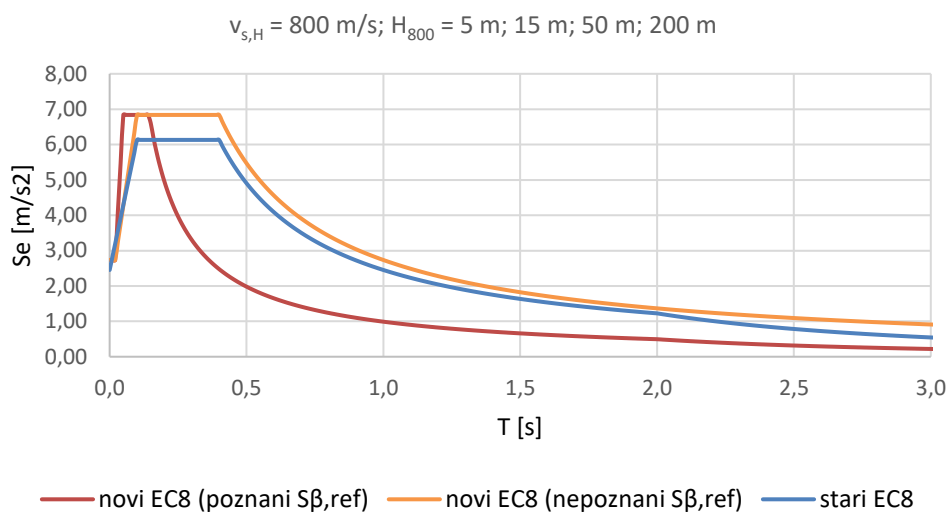


Slika 5: Elastični spekter pospeška za različne tipe tal za Ljubljano, ko je $S_{\beta,ref}$ poznan.



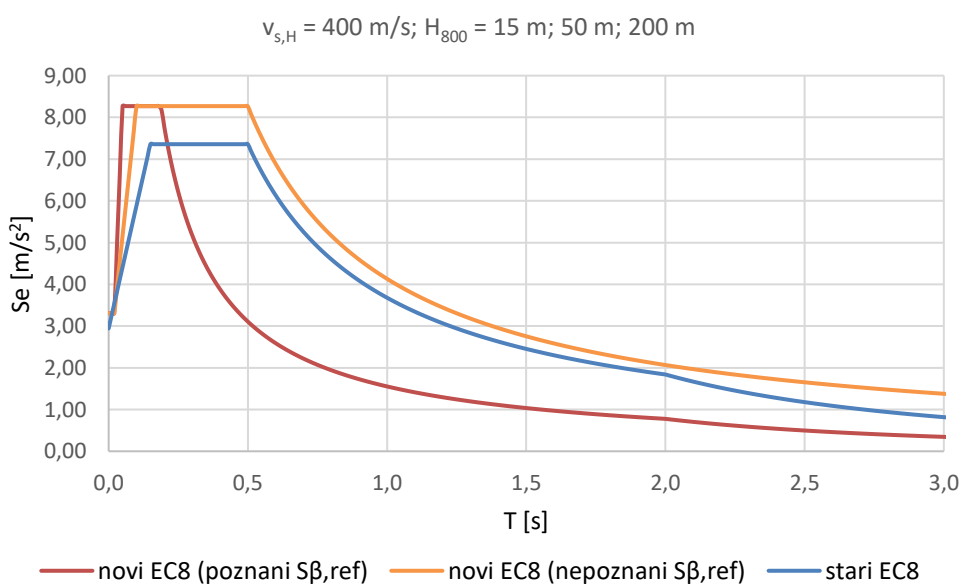
Slika 6: Elastični spekter pospeška za različne tipe tal za Ljubljano, ko $S_{\beta,ref}$ ni poznan.

Po izrisu elastičnih spektrov glede na trenutno veljavno in novo verzijo standarda za vse tipe tal, so sledile primerjave med spektri na podlagi starega postopka s starimi vhodnimi podatki in novega spektra z novimi vhodnimi podatki. Vse kombinacije $v_{s,H}$ in H_{800} , kjer je hitrost strižnega delovanja enaka 800 m/s, obravnavamo kot tip tal A, ne glede na globino kamninske tvorbe. Tip tal A po trenutno veljavnem standardu, torej ostaja tip tal A po novem standardu. Na sliki 7 je prikazana primerjava elastičnih spektrov pospeškov po trenutno veljavni in novi različici standarda EC8. Za postopek po novi različici sta prikazana dva možna spektra, in sicer prvi, ki je izračunan na podlagi poznanega $S_{\alpha,ref}$ in $S_{\beta,ref}$ ter drugi, ki je izračunan samo na podlagi poznanega $S_{\alpha,ref}$. Vidimo lahko, da je vrednost elastičnega pospeška pri nihajnem času 0 s, po novem standardu večja od vrednosti po trenutno veljavnem standardu. To pomeni, da se je povečala vrednost PGA. Vrednost PGA je bila po trenutni veljavni karti 0,250 g, medtem, ko je po novi karti PGA enak 0,275 g, kar je približno 9 % več. Prav tako so se povečale vrednosti spektra na platoju. Poleg tega lahko vidimo, da spekter, ko $S_{\beta,ref}$ ni poznan, bolj sovпада s spektrom glede na trenutno veljavni postopek, medtem ko so vrednosti spektra, ko je $S_{\beta,ref}$ poznan, precej nižje od vrednosti drugih dveh krivulj. Problem v tem primeru predstavljajo bodoče stavbe z večjim nihajnim časom, ki bodo projektirane po rdeči krivulji na manjšo potresno silo, medtem ko bi bila ista stavba po trenutno veljavnem standardu ali drugem načinu novega standarda, lahko projektirana na večjo oz. v našem obravnavanem primeru na več kot dvakrat večjo potresno silo. Dodajmo še, da sta časa T_B in T_C glede na prvi postopek v novem standardu krajša, kar pomeni, da se je plato zamaknil v levo (slika 7).



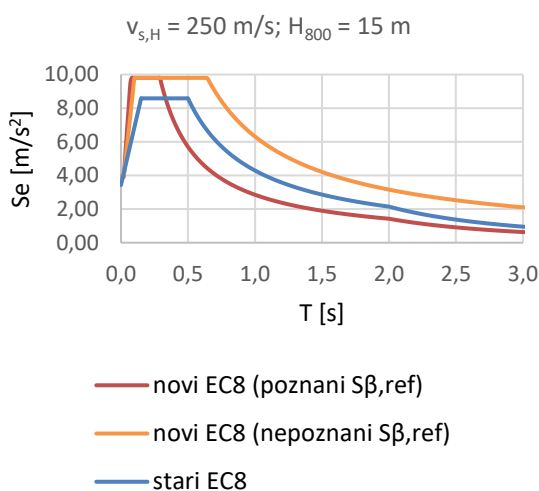
Slika 7: Primerjava tipa tal A po trenutno veljavni in novi različici standarda.

Kombinacije, ko je $v_{s,H}$ 400 m/s in H_{800} 15 ali 50 ali 200 m (slika 8) padejo tako po trenutno veljavnem kot po novem standardu v tip tal B. Spektralni pospešek pri nihajnem času 0 s za tip tal B glede na novi standard znaša $3,31 \text{ m/s}^2$, glede na trenutno veljavni standard pa $2,94 \text{ m/s}^2$. Po novi različici standarda se PGA torej poveča za približno 11%. Na sliki 8 lahko vidimo, da so vrednosti spektralnih pospeškov na platoju spektra, izračunane glede na osnutek novega standarda, višje kot vrednosti izračunane glede na trenutno veljavni standard. V tem primeru bodo potresne sile pri stavbah z manjšimi nihajnimi časi večje. Za spekter, izračunan po novi različici standarda in ko je $S_{\beta,ref}$ poznan (slika 8, rdeča krivulja) vidimo, da se z večanjem nihajnega časa povečujejo odstopanja od spektra po trenutno veljavnem standardu (slika 8, modra krivulja) oz. po novi različici standarda, ko $S_{\beta,ref}$ ni poznan (slika 8, oranžna krivulja).

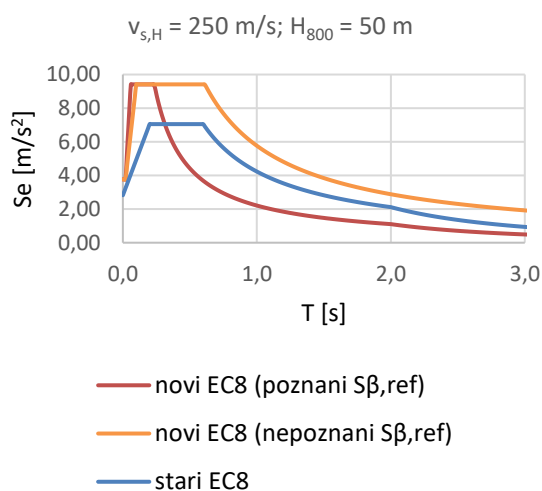


Slika 8: Elastični spekter pospeškov, ko je $v_{s,H}$ 400 m/s in H_{800} 15 ali 50 ali 200 m za Ljubljano.

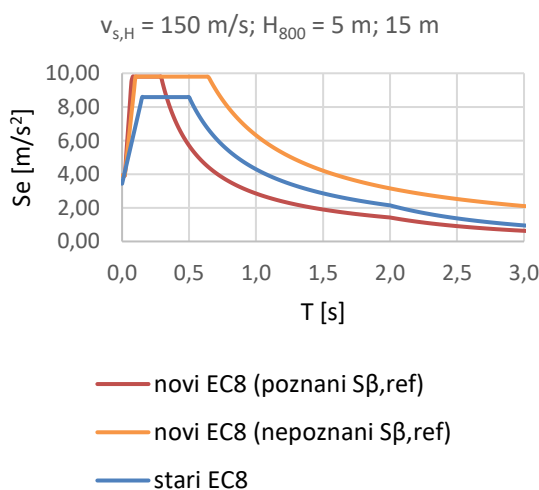
Pri naslednjih izbranih kombinacijah parametrov $v_{s,H}$ in H_{800} (slike 9, 10, 11 in 12) vidimo, da vrednosti pospeškov v območju nihajnih časov med 0 s in T_C bistveno hitreje naraščajo in dosežejo območje konstantnih vrednosti pospeškov pri manjši vrednosti nihajnega časa. Vrednosti na platoju, izračunane na podlagi novega standarda so večje za 12 % (sliki 9 in 11), 25 % (slika 10) in 10 % (slika 12) kot vrednosti, izračunane po postopku trenutno veljavnega standarda. To v praksi pomeni, da bodo konstrukcije z večjo togostjo in posledično manjšim nihajnim časom, projektirane po novi različici standarda, projektirane na večje potresne sile, kot bi bile konstrukcije z enako togostjo, vendar projektirane po trenutno veljavni različici standarda Evrokod 8. Razlike se pojavijo tudi v preostalem delu spektra, kjer se ponovno izkaže, da bodo ob poznanem $S_{\beta,ref}$ projektne potresne sile nižje od potresnih sil po trenutno veljavnem standardu.



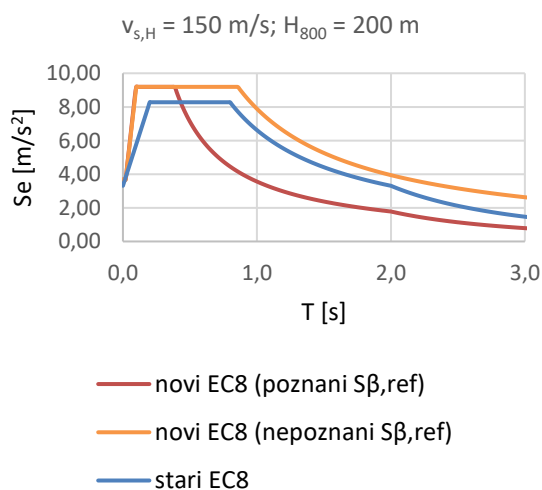
Slika 9: Elastični spekter pospeškov, ko je $v_{s,H}$ 250 m/s in H_{800} 15 m za Ljubljano.



Slika 10: Elastični spekter pospeškov, ko je $v_{s,H}$ 250 m/s in H_{800} 50 m za Ljubljano.

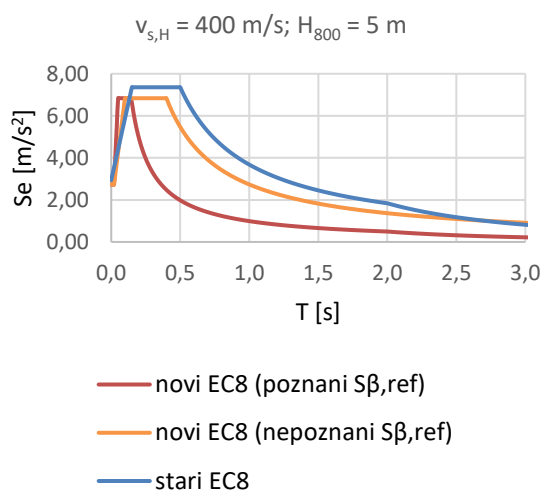


Slika 11: Elastični spekter pospeškov, ko je $v_{s,H}$ 150 m/s in H_{800} 5 ali 15 m za Ljubljano.

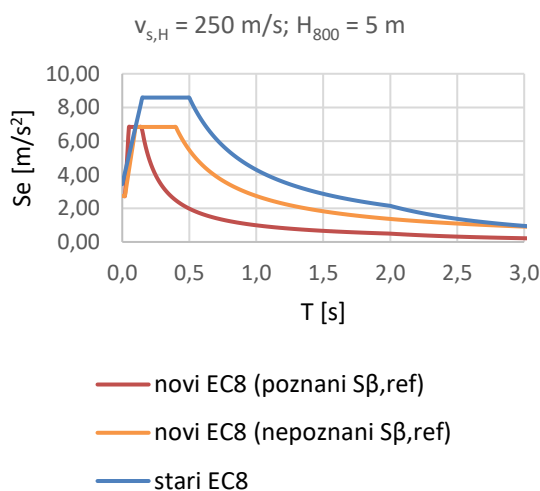


Slika 12: Elastični spekter pospeškov, ko je $v_{s,H}$ 150 m/s in H_{800} 200 m za Ljubljano.

Seveda pa rezultati pri vseh kombinacijah ne dajo podobnih rezultatov. Takšen primer sta kombinaciji, ko je $v_{s,H}$ 400 m/s ali 250 m/s globina pa v obeh primerih H_{800} 5 m (sliki 13 in 14). Po novem standardu bi glede na preglednico 8 obema območjema dodelili tip tal A. Glede na preglednico 3 po trenutno veljavnem standardu pa spada prva kombinacija v tip tal B, druga pa v tip tal E. Torej bodo konstrukcije po novem standardu projektirane na manjšo potresno silo kot bi bile po starem standardu, z izjemo konstrukcij z zelo nizkim nihajnim časom, kjer sta spektra po novi različici standarda nekoliko višje od spektra po trenutno veljavnem standardu. Na sliki 13 se vrednosti spektra na platoju razlikujejo za 8 % in na sliki 14 za 20 %. Pri nihajnem času 1 s se glede na trenutno veljavni standard in prvi postopek novega standarda na sliki 13 vrednosti razlikujejo za 73 %, na sliki 14 pa za 34 %.



Slika 13: Elastični spekter pospeškov, ko je $v_{s,H}$ 400 m/s in H_{800} 5 m za Ljubljano.



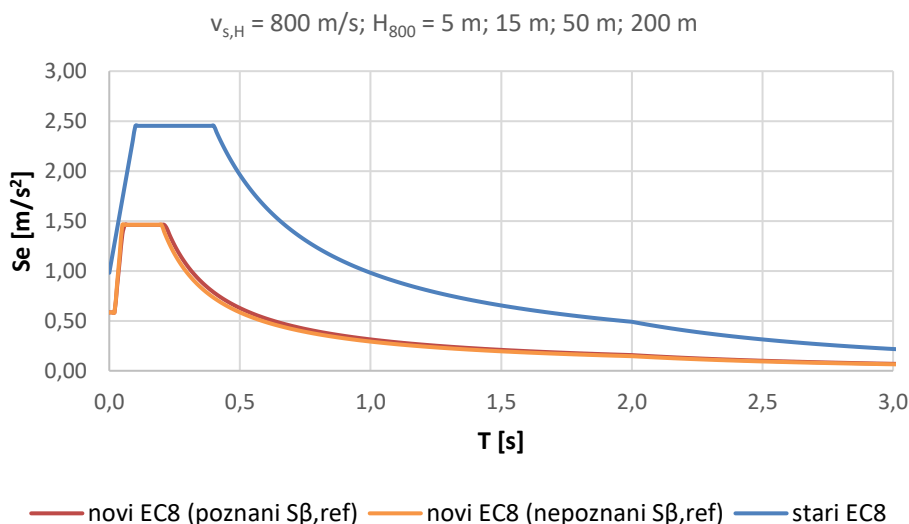
Slika 14: Elastični spekter pospeškov, ko je $v_{s,H}$ 250 m/s in H_{800} 5 m za Ljubljano.

4.1.2 Murska Sobota

Pospešek tal iz analize potresne nevarnosti po trenutno veljavni karti potresne nevarnosti (ARSO, 2001) in prav tako po novi karti potresne nevarnosti (ARSO, 2021) za Mursko Soboto znaša 0,100 g, kar je spodnja meja pospeška tal, ki je bila določena za projektiranje zaradi negotovosti analize potresne nevarnosti. Pospešek tal se za omenjeno lokacijo torej ni spremenil, medtem ko se je elastični spekter zaradi spremembe definicije spektra in različnih spektralnih pospeškov na platoju spremenil. Vrednoti v spektru pospeškov so po novem standardu bistveno manjše. Namreč, avtorji analize potresne nevarnosti so v tej fazi izdali le karto projektnega pospeška tal. Ta se lahko uporablja za projektiranje. Karte projektnih spektralnih pospeškov pa izhajajo neposredno iz nove analize potresne nevarnosti. Zaradi tega še niso prirejene za potrebe potresno odpornega projektiranja objektov, saj novi osnutek standarda še ni možno uporabiti v praksi. Rezultati in ugotovitve primerjav spektrov pospeškov so sicer podobni kot za Ljubljano, s tem, da so vrednosti v tem primeru precej manjše, zaradi manjše ocenjene potresne nevarnosti lokacije.

Vrednosti spektra pospeškov so po trenutno veljavnem nižje pri vseh nihajnih časih kot po novem standardu. Vrednost parametra T_D je v tem primeru 2,0 s, kar je enako kot po trenutno veljavnem standardu. Območje maksimalnih pomikov se torej začne ob enaki vrednosti nihajnega časa kot po

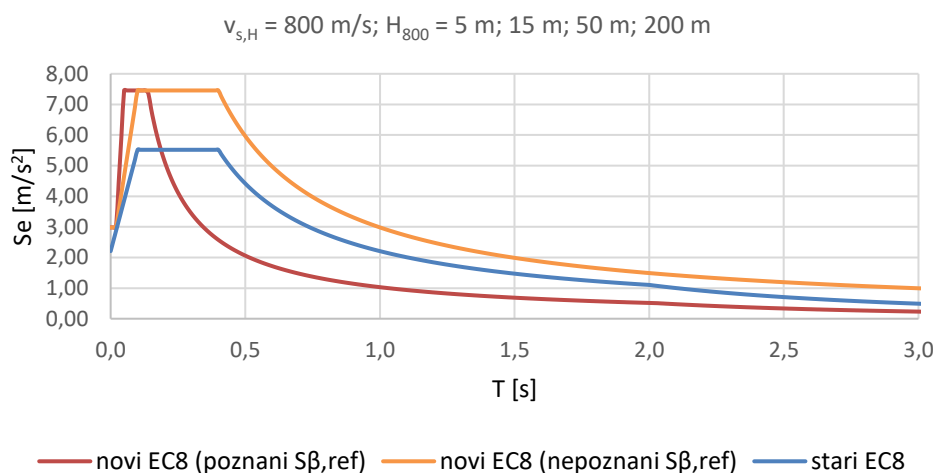
trenutno veljavnem standardu. Vrednost T_B za tip tal A znaša po postopku v trenutno veljavnem standardu in podatki iz (ARSO, 2001) 0,10 s, vrednost T_C pa 0,40 s. Po prvem postopku novega standarda znaša T_B 0,05 s in T_C 0,21 s. Po drugem postopku novega standarda pa znaša T_B 0,05 s in T_C 0,21 s. Spektra glede na oba postopka po novem standardu se torej skoraj prekrivata (slika 15).



Slika 15: Primerjava elastičnih spektrov pospeškov za tip tal A za M. Soboto.

4.1.3 Brežice

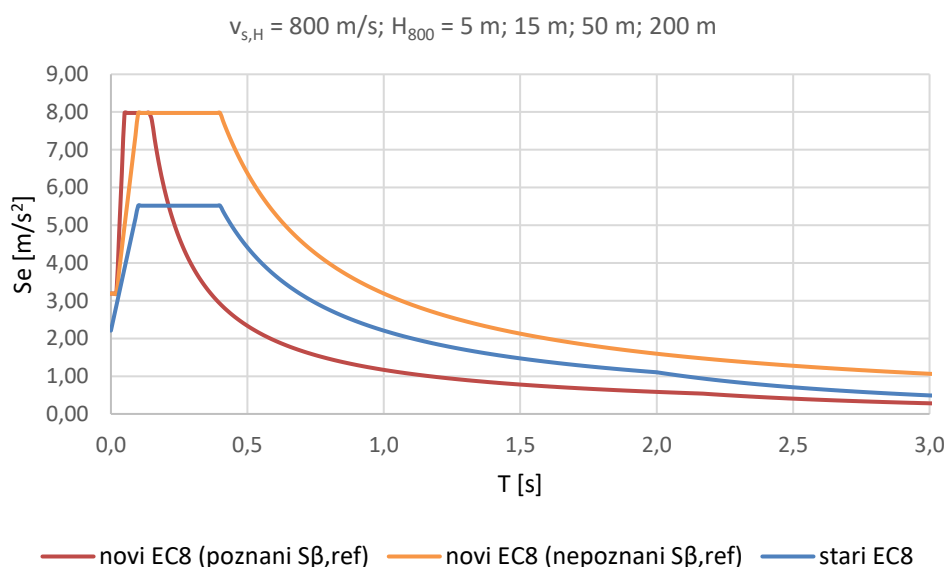
Razlike v vrednostih spektrov glede na trenutni standard in prvi postopek novega standarda se spreminjajo glede na nihajne čase. Pri nihajnem času 0 s in na območju platoja znašajo razlike približno 26 %, pri nihajnem času 0,5 s približno 53 % in pri nihajnem času 1,0 s približno 54 %. Med drugim postopkom novega standarda in trenutno veljavnim standardom so razlike med vrednostmi približno enake za vse nihajne čase in znašajo 26 %. Potresna obtežba bo za konstrukcijo, projektirano po novi različici Evrokoda 8 po prvem postopku, večja za manjše nihajne čase in manjša za večje nihajne čase, glede na konstrukcijo, projektirano po trenutno veljavni različici standarda. Po drugem postopku novega standarda bo potresna obtežba večja za vse nihajne čase, kot bi bila po trenutno veljavnem standardu. Razlikuje se tudi pospešek tal PGA iz analize potresne nevarnosti, ki po novem standardu sicer ne vpliva na spekter. Po novi karti potresne nevarnosti (ARSO, 2021) PGA znaša 0,300 g, kar je 33 % več kot po trenutno veljavni karti (ARSO, 2001).



Slika 16: Primerjava elastičnih spektrov pospeškov za tip tal A za Brežice.

4.1.4 Bovec

Razlike v spektrih so za tip tal A za kraj Bovec podobne kot za Brežice (razdelek 4.1.3). Med trenutno veljavnim in drugim postopkom novega standarda so razlike približno enake in znašajo 31 %. Potresna obtežba bo torej za vse konstrukcije, ne glede na nihajni čas, večja. Med trenutno veljavnim in prvim postopkom novega standarda se razlike spreminjajo z nihajnim časom. Pri nihajnem času 0 s in na platoju spektra je razlika 31 %, pri nihajnem času 0,5 s je razlika 47 % in pri nihajnem času 1,0 s prav tako 47 %. Potresna obtežba bo v tem primeru za konstrukcije z manjšimi nihajnimi časi, projektirane glede na prvi postopek novega standarda večja, za tiste z večjimi nihajnimi časi pa manjša. PGA iz analize potresne nevarnosti po novi karti (ARSO, 2021) znaša 0,300 g, kar je približno 17 % več kot je znašal PGA po trenutni veljavni karti (ARSO, 2001).



Slika 17: Primerjava elastičnih spektrov pospeškov za tip tal A za Bovec.

4.2 Primerjava spektrov glede na različne modele potresne nevarnosti

V tem razdelku primerjamo spektre glede na vhodne podatke, ki smo jih pridobili iz različnih analiz potresne nevarnosti. Za formulacijo spektrov smo uporabili postopek po novi različici Evrokoda 8, tj. postopek na osnovi znanega spektralnega pospeška pri nihajnem času 1 s. Pri tem uporabimo rezultate analize potresne nevarnosti ARSO 2001 (Lapajne in sod., 2001), ARSO 2021 (Šket Motnikar in sod., 2021), ESHM13 (Giardini in sod., 2014) in ESHM20 (Weatherhill in sod., 2020). Analizi ARSO 2001 in ARSO 2021 sta bili opravljeni za pridobitev uradnih podatkov o potresni nevarnosti v Sloveniji, analizi ESHM13 in ESHM20 pa za izdelavo enotnega modela potresne nevarnosti v Evropi, ki je manj natančen kot ARSO 2021 (Šket Motnikar in sod., 2021), vendar pokriva večje območje in je zato lahko zanimiv za analize potresnega tveganja čezmejnih območij ali večjega števila držav.

Obravnavali smo iste lokacije kot v razdelku 4.1, pri tem pa upoštevali le skalnata oz. trdna tla, torej tip tal A. Z evropskih modelov seizmične nevarnosti ESHM13 (Giardini in sod., 2014) in ESHM20 (Weatherhill in sod., 2020) smo pridobili podatke o spektralnih pospeških pri nihajnem času 0 s (PGA_e), vrednosti spektralnih pospeškov na platoju spektra (maksimalne vrednosti) ($S_{\alpha,ref}$) in pripadajoče nihajne čase ter vrednosti spektralnih pospeškov pri nihajnem času 1 s ($S_{\beta,ref}$). Vse omenjene količine prikazujemo v preglednici 19, velja pa poudariti, da le parametra $S_{\alpha,ref}$ in $S_{\beta,ref}$ vplivata na formulacijo spektra, ki jo upoštevamo v tem razdelku.

Preglednica 18: Vrednosti spektralnih pospeškov glede na različne karte.

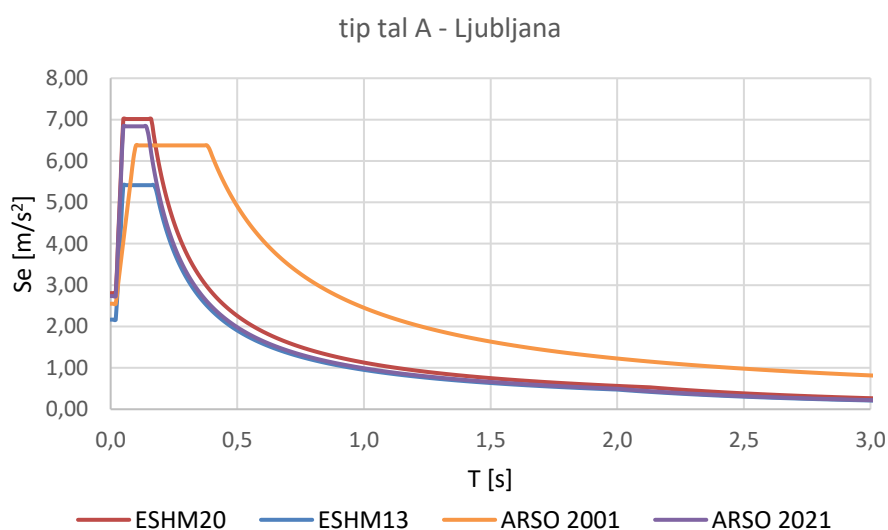
	[g]	Ljubljana	Murska Sobota	Brežice	Bovec
ESHM20	PGA_e	0,273	0,070	0,315	0,191
	$S_{\alpha,ref}$ (T)	0,715 (0,15s)	0,184 (0,15s)	0,846 (0,15s)	0,500 (0,15s)
	$S_{\beta,ref}$	0,115	0,041	0,119	0,104
ESHM13	PGA_e	0,236	0,080	0,325	0,262
	$S_{\alpha,ref}$ (T)	0,552 (0,15s)	0,190 (0,15s)	0,761 (0,15s)	0,639 (0,15s)
	$S_{\beta,ref}$	0,097	0,045	0,134	0,099
ARSO 2001	PGA_e	0,250	0,100	0,200	0,250
	$S_{\alpha,ref}$	0,650	0,250	0,550	0,700
	$S_{\beta,ref}$	0,225	0,075	0,175	0,250
ARSO 2021	PGA_e	0,264	0,056	0,284	0,305
	$S_{\alpha,ref}$ (T)	0,697 (0,10s)	0,149 (0,15s)	0,760 (0,10s)	0,813 (0,10s)
	$S_{\beta,ref}$	0,101	0,032	0,105	0,119

4.2.1 Ljubljana

S primerjavo spektrov, določenih na podlagi različnih modelov potresne nevarnosti za Ljubljano (slika 18) lahko ugotovimo, da se krivulje na podlagi modelov ESHM20 in ARSO 2021 dobro ujemajo. Tudi

krivulja ESHM13 dobro sovпада s prej omenjenima, razen na območju platoja, kjer so pospeški nižji za okoli 20%. Izstopa pa krivulja ARSO 2001. Območje konstantnih pospeškov se konča pri višjem nihajnem času, kar pomeni, da so projektne potresne sile večje. Razlike v vrednostih maksimalnih spektralnih pospeškov glede na vse štiri krivulje niso velike – gibljejo se med 15 in 20%. Večje razlike se pojavijo pri večjih nihajnih časih, kjer so vrednosti glede na model ESHM20, ESHM13 in ARSO 2021 več kot dvakrat manjše od vrednosti glede na model ARSO 2001.

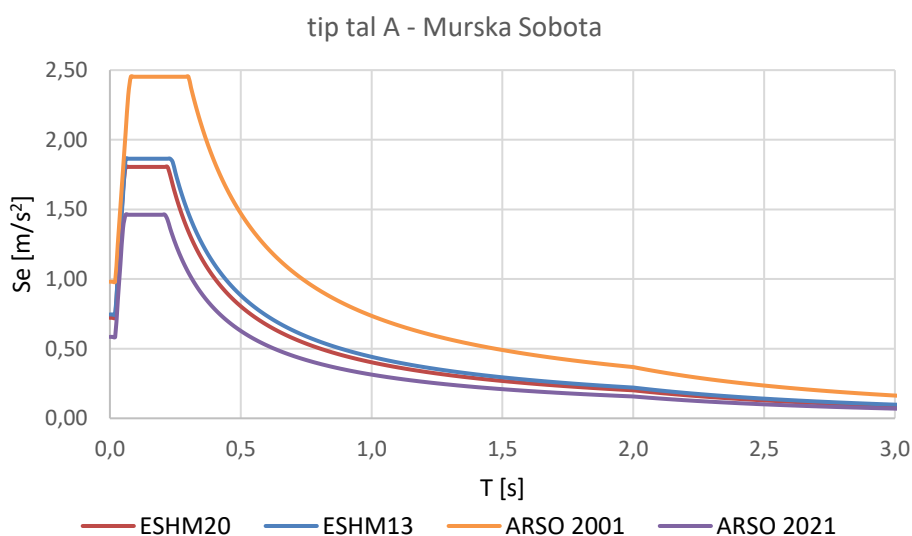
Za stavbe z višjimi nihajnimi časi (npr. višje stavbe) so zato projektne potresne sile na podlagi modela ARSO 2001 mnogo večje kot projektne potresne sile na podlagi modelov ESHM13, ESHM20 in ARSO 2021. Čeprav sta se obe novi karti, ARSO 2021 in ESHM20, razvijali vzporedno, vrednosti spektralnih pospeškov omenjenih krivulj niso enake. Sklepamo, da so parametri, uporabljeni za pripravo slovenske karte bolj natančni in bolj prilagojeni razmeram v Sloveniji, kot evropski.



Slika 18: Primerjava el. spektrov pospeškov za tip tal A za Ljubljano.

4.2.2 Murska Sobota

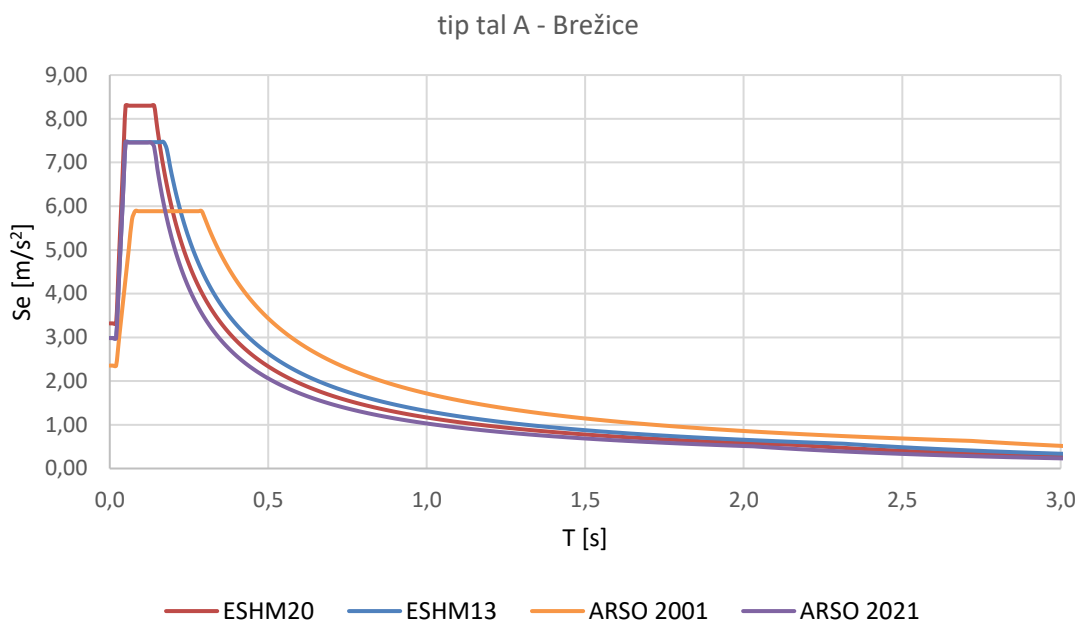
Na sliki 19 vidimo, da so vrednosti krivulje ARSO 2021 manjše od vrednosti krivulj na podlagi evropskih podatkov za približno 20% in več kot dvakrat manjše od vrednosti krivulje ARSO 2001. Za omenjeni kraj se maksimalni spektralni pospešek (na platoju) ni povečal, temveč se je zmanjšal. Območje, kjer je kraj lociran velja, za manj potresno ogroženo v Sloveniji. Projektni pospešek tal na tleh tipa A za povratno dobo 475 let po novi karti potresne nevarnosti še naprej ostaja 0,100 g. Ker po definiciji novega standarda Evrokod 8 spekter več ni odvisen od projektnega pospeška tal, temveč od maksimalne vrednosti spektralnega pospeška, ki pa je po novih podatkih ARSO za povratno dobo 475 let manjša, so se vrednosti spektralnih pospeškov zmanjšale.



Slika 19: Primerjava el. spektrov pospeškov za tip tal A za M. Soboto.

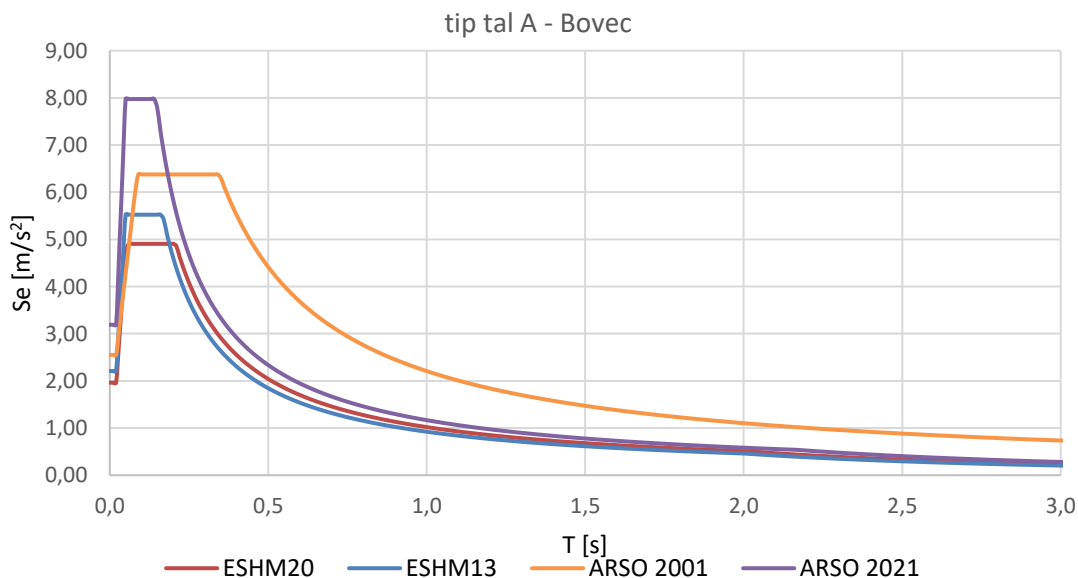
4.2.3 Brežice in Bovec

Za kraj Brežice znaša vrednost spektralnega pospeška na platoju po trenutno veljavnem standardu (SIST, 2005) in glede na vhodne podatke modela ARSO 2001 $5,52 \text{ m/s}^2$, medtem ko po novi različici standarda in glede na vhodne podatke modela ARSO 2021 spektralni pospešek na tej točki znaša $7,46 \text{ m/s}^2$, kar je približno 26 % več. Pri nihajnem času 1 s se vrednosti spektralnih pospeškov na omenjenih krivuljah razlikujejo za približno 40 %. Spektralni pospešek po novi različici standarda je v tem primeru manjši. Vrednosti spektralnih pospeškov glede na krivulje ESHM20 in ESHM13 se na platoju spektra razlikujejo za približno 10 % (vrednost spektralnega pospeška po osnutku novega standarda je večja), pri nihajnem času 1 s pa za približno 11 % (slika 20). Poleg tega so vrednosti krivulje ESHM13 na platoju spektra praktično enake kot vrednosti krivulje ARSO 2021, medtem ko so vrednosti krivulje ESHM20 višje za okoli 10%.



Slika 20: Primerjava el. spektrov pospeškov za tip tal A za Brežice.

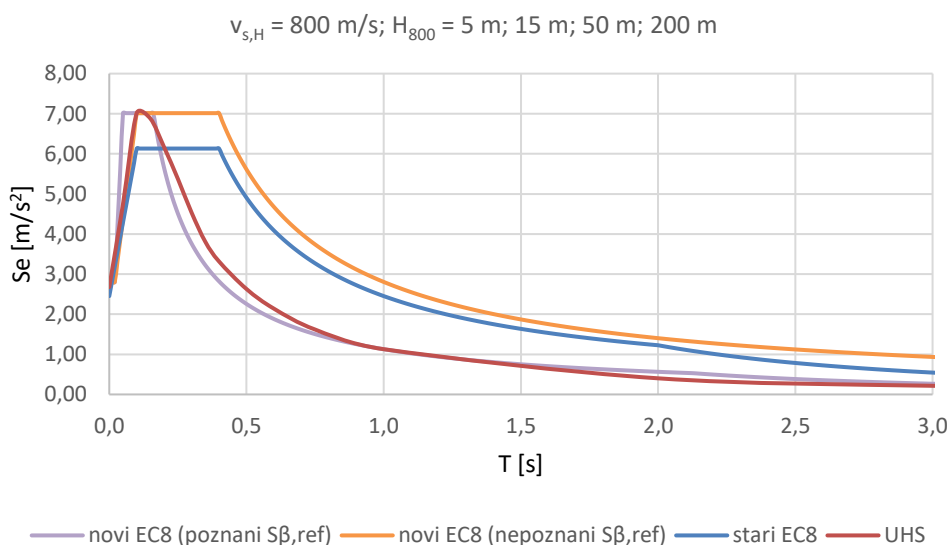
Za kraj Bovec je razlika spektralnih pospeškov na platoju, glede na krivulji ARSO 2001 in ARSO 2021 približno 20 %, glede na krivulji ESHM13 in ESHM20 pa približno 11 %. Spektralni pospešek pri nihajnem času 1 s znaša za krivuljo ARSO 2001 2,21 m/s², za krivuljo ARSO 2021 1,17 m/s², za krivuljo ESHM20 1,02 m/s² in za krivuljo ESHM13 0,92 m/s². Glede na podane vrednosti lahko vidimo, da so spektralni pospeški pri 1 s modelov zelo podobni za modele ESHM13, ESHM20 in ARSO 2021, medtem ko so za ARSO 2021 višji za okoli dvakrat (slika 21).



Slika 21: Primerjava el. spektrov pospeškov za tip tal A za Bovec.

4.3 Primerjava povratnih dob za spektralni pospešek pri nihajnem času 1 s, glede na različne oblike spektra

Že v poglavju 4.1 te naloge smo videli, da so spektri glede na različen postopek izračuna različni. Te razlike v spektrih lahko obravnavamo tudi z vidika povratnih dob. Ker so spektralni pospeški pri danem nihajnem času različni, so različne tudi njihove povratne dobe, če jih ocenimo po enakem postopku. V tem poglavju bomo za primer Ljubljane prikazali, kako se pri nihajnem času 1 s povratne dobe glede na različne spektre razlikujejo. Pri tem bomo za izračun povratnih dob uporabili model ESHM20, ki je bil uporabljen že v poglavju 4.2 ter upoštevali mejno stanje velikih poškodb in razred običajne pomembnosti.



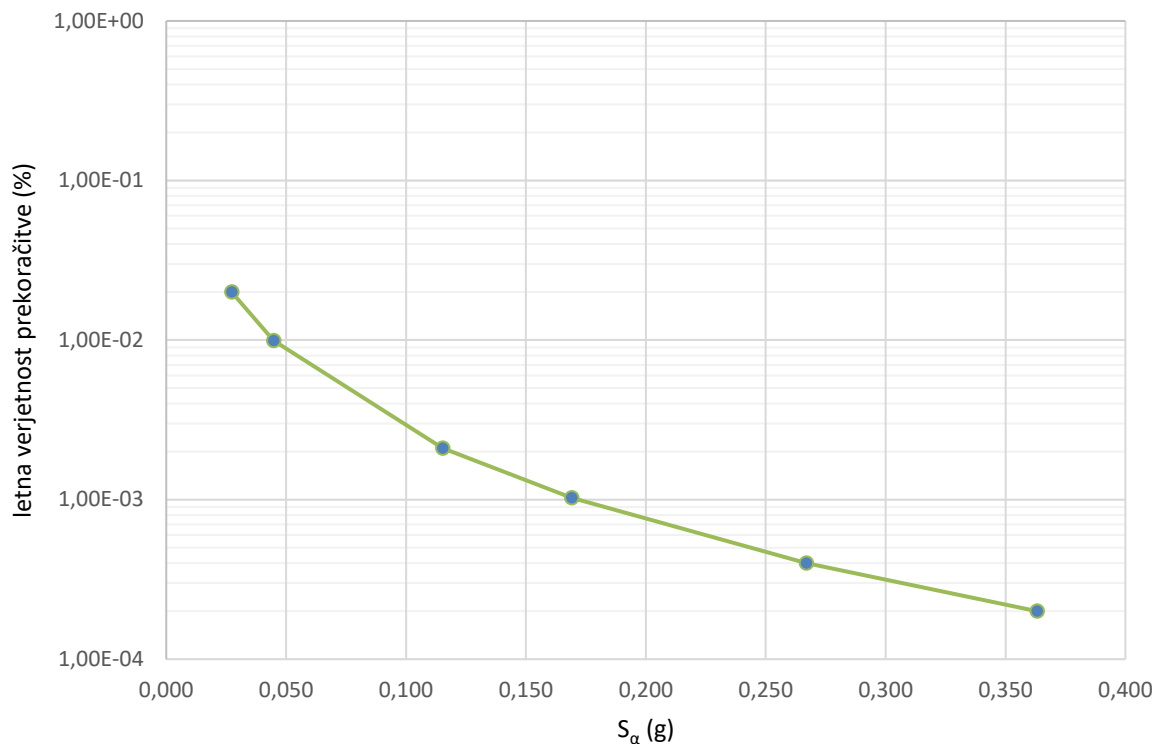
Slika 22: Primerjava el. spektrov za tip tal A za Ljubljano, glede na vhodne podatke ESHM20.

Za spekter, izračunan po novem standardu, ko sta $S_{\alpha,ref}$ in $S_{\beta,ref}$ poznana, vemo, da je povratna doba vsake točke 475 let. To se odraža tudi na sliki 22, kjer vidimo, da se spekter enotne potresne nevarnosti (UHS), ki po definiciji povezuje spektralne pospeške z enako povratno dobo, in spekter po standardu (ESHM20) dobro prilegata drug drugemu. Za drugi dve krivulji na sliki 22 pa lahko opazimo, da se s spektrom UHS slabše ujemata. To pomeni, da povratna doba pospeškov na teh dveh spektrih z vidika modela ESHM20 ni enaka 475 let. Z modre in oranžne krivulje smo pri nihajnem času 1 s odčitali vrednosti pospeškov in pogledali, kakšnima povratnima dobama pripadata. Vrednosti pospeškov ter pripadajoče povratne dobe so prikazane v preglednici 20.

Preglednica 19: Povratne dobe za različne spektre pri nihajnem času 1 s.

spekter	$S_{\beta} (T = 1 \text{ s})$ [m/s ²]	letna verjetnost prekoračitve [%]	povratna doba [let]
novi EC8 (poznani $S_{\beta,ref}$)	1,128	0,211	475
novi EC8 (nepoznani $S_{\beta,ref}$)	2,806	0,036	2776
stari EC8	2,453	0,051	1970

Povezava med vrednostmi spektralnega pospeška in povratnimi dobami je podana v obliki krivulje potresne nevarnosti, ki je za Ljubljano in spektralni pospešek pri nihajnem času 1 s prikazana na sliki 23.



Slika 23: Krivulja potresne nevarnosti za spektralni pospešek pri nihajnem času 1 s za Ljubljano.

Na podlagi preglednice 20 in slike 23 ugotovimo, da za spektralne pospeške pri nihajnem času 1 s, po obstoječem standardu uporabljamo bistveno večje povratne dobe kot 475 let. Glede na novi standard lahko vidimo, da je redukcija povratnih dob iz približno 2776 let na 475 let.

5 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi smo obravnavali elastične spektre pospeškov, kot jih predvideva osnutek nove različice standarda Evrokod 8.

Predstavili smo novo definicijo spektra in njene glavne razlike s spektrom, ki ga predpisuje trenutno veljavna različica standarda. Bistveno spremembo predstavlja izhodišče za definicijo spektra. Slednji je v novi različici standarda namreč definiran na podlagi maksimalnega spektralnega pospeška $S_{\alpha,ref}$ in spektralnega pospeška $S_{\beta,ref}$ pri nihajnem času 1 s. Oblika spektra tako ni določena vnaprej, temveč je odvisna od razmerja med $S_{\alpha,ref}$ in $S_{\beta,ref}$. Ob tem je treba poudariti, da standard dovoljuje dve definiciji spektra. Prva temelji na $S_{\alpha,ref}$ in $S_{\beta,ref}$, kot sta podana v uradnih kartah potresne nevarnosti, druga pa neposredno upošteva le $S_{\alpha,ref}$, medtem ko je $S_{\beta,ref}$ izračunan na osnovi privzete vrednosti deleža med $S_{\beta,ref}$ in $S_{\alpha,ref}$. Razlika je tudi v kategorizaciji tipov tal, ki so po novem definirani od A do F in se jih za posamezno lokacijo določi glede na H_{800} , tj. globino kamninske tvorbe, kjer je hitrost strižnega valovanja enaka najmanj 800 m/s, in glede na povprečno hitrost strižnega valovanja $v_{s,H}$ do globine H_{800} . Zaradi nekoliko drugačne kategorizacije tal je možno, da bodo dana tla v novi različici standarda uvrščena v različen razred kot v stari različici standarda, vendar le v redkih primerih.

Ker bo z novo različico standarda vpeljan tudi posodobljen model potresne nevarnosti, od katerega bosta odvisna velikost in oblika spektra, smo na kratko predstavili tudi metode za oceno potresne nevarnosti in značilnosti nove karte potresne nevarnosti. Bistvena novost novega modela potresne nevarnosti je, da ocena potresne nevarnosti ne temelji samo na preteklih potresih, temveč tudi na aktivnih prelomih, na podlagi katerih je mogoče določiti tudi nevarna območja, kjer do zdaj še nismo zasledili potresov. Poleg tega nov model potresne nevarnosti uporablja novejši model gibanja tal, ki temelji na mnogo več zapisih gibanja tal kot model, ki je bil podlaga za trenutni uradni model potresne nevarnosti.

V zadnjem in najbolj obširnem delu diplomske naloge smo v okviru primerjalnih analiz ugotavljali, kolikšen vpliv na obliko in velikost spektra ima formulacija spektra ter kolikšen vpliv predstavlja izbira model potresne nevarnosti. Upoštevali smo trenutno veljavni model v Sloveniji, model, ki bo v Sloveniji predvidoma uradno zavezujoč v prihodnje in dva evropska modela potresne nevarnosti, ki sta za manjša območja manj natančna, vendar pokrivata večje območje in sta zato lahko zanimiva za analize potresnega tveganja čezmejnih območij ali večjega števila držav.

V analizi vpliva formulacije spektra smo upoštevali definicijo spektra iz trenutno veljavnega standarda in dve definiciji spektra glede na novo različico standarda. Pri tem smo v stari definiciji spektra upoštevali podatke o potresni nevarnosti, ki so bili uradno veljavni od vpeljave prve različice Evrokodov, v novih definicijah pa podatke, ki bodo predvidoma uradno veljavni v novi različici standarda.

Ugotovili smo, da so se vrednosti elastičnega spektra pospeškov, ko kot vhodni podatek uporabimo tako $S_{\alpha,ref}$ kot $S_{\beta,ref}$, za večino lokacij povečale pri manjših nihajnih časih in zmanjšale pri večjih nihajnih časih. Povečale so se torej projektne potresne sile pri višjih stavbah. V primeru, ko spekter izračunamo samo na podlagi vhodnega podatka $S_{\alpha,ref}$, pa ugotovimo, da je ujemanje veliko boljše. Razlog je v tem,

da druga definicija spektra v novi različici standarda predpisuje podobno razmerje med $S_{\alpha,ref}$ in $S_{\beta,ref}$ kot trenutno veljavni standard. Čeprav bi iz primerjave lahko sklepali, da so elastični spektri pospeškov po obstoječem standardu precenjeni za območje srednjih in dolgih nihajnih časov, tega zaključka ni možno enostavno podati, saj je celoten standard Evrokod 8 utemeljen empirično. Če bi želeli uporabiti nižane vrednosti spektralnih pospeškov, bi morali upoštevati tudi bolj stroge zahteve glede varnosti za prekoračitev mejnega stanja SD oziroma NC.

V primerjavi spektrov, izračunanih na podlagi različnih modelov potresne nevarnosti, smo ugotovili, da so rezultati glede na nov evropski in nov slovenski model potresne nevarnosti precej podobni, kar je posledica tega, da sta se obe novi karti potresne nevarnosti, slovenska in evropska, razvijali sočasno. Po drugi strani pa se občutno razlikujejo spektri, izračunani na podlagi trenutno veljavnega modela potresne nevarnosti v Sloveniji. Razlike v modelih potresne nevarnosti imajo torej velik vpliv na projektne potresne sile, s tem pa tudi na gradbene konstrukcije.

V zadnjem delu primerjalne analize ugotavljamo, kako se odstopanja v spektrih odražajo v razlikah v povratnih dobah potresov. V analizi smo upoštevali lokacijo Ljubljane, tip tal A, mejno stanje velikih poškodb in razred običajne pomembnosti stavb, izvedli pa smo jo tako, da smo na podlagi spektralnih pospeškov pri nihajnem času 1 s glede na trenutno veljavni standard in obe definiciji spektra iz nove različice standarda iz krivulje potresne nevarnosti odčitali pripadajoče povratne dobe. Krivuljo potresne nevarnosti smo definirali glede na nov evropski model, ki podrobneje obravnava večje število povratnih dob. V primeru, ko uporabimo $S_{\beta,ref}$ neposredno iz kart potresne nevarnosti, je povratna doba spektralnega pospeška pri nihajnem času 1 s praktično enaka 475 let, kar je pričakovan rezultat, saj to sledi neposredno iz definicije $S_{\beta,ref}$. Ko $S_{\beta,ref}$ ni poznan in ga določimo kot delež $S_{\alpha,ref}$, pa se povratna doba obravnavanega spektralnega pospeška poveča na 2776 let. Prav tako se občutno poveča povratna doba obravnavanega spektralnega pospeška, če izhajamo iz trenutno veljavnega standarda, in sicer na 1970 let.

Iz teh rezultatov bi lahko sklepali, da trenutno veljavni standard potresne sile preceni, vendar bi morali takšno trditev dokazati. Namreč, zavedati se moramo, da je standard skupek zahtev, ki le v celoti zagotavlja zadostno varnost. Zato je pri uveljavljanju novih konceptov v projektiranju, kakršen je nov način definicije spektra pospeškov, treba biti pazljiv in analizirati posledice sprememb na potresno tveganje. Višje povratne dobe spektralnih pospeškov namreč zagotavljajo dodatno varnost, ki je smiselna tudi zaradi tega, ker se razlike v povratnih dobah odražajo predvsem pri srednje visokih in visokih nihajnih časih, ki so značilne za višje stavbe, kjer je zasedenost, s tem pa tudi tveganje, večje.

6 VIRI

ARSO, Agencija Republike Slovenije za okolje, 2001. Potresna nevarnost Slovenije – projektni pospešek tal.

Karta: https://potresi.arso.gov.si/doc/dokumenti/potresna_nevarnost/projektni_pospesek_tal.jpg
http://potresi.arso.gov.si/doc/dokumenti/Karta_potresne_nevarnosti_2021.jpg (Pridobljeno 16. 2. 2022)

Tolmač karte. https://potresi.arso.gov.si/doc/dokumenti/potresna_nevarnost/tolmac_pospeska_tal.pdf
(Pridobljeno 16. 2. 2022)

ARSO, Agencija Republike Slovenije za okolje, 2021. Potresna nevarnost Slovenije – projektni pospešek tal.

Karta: https://potresi.arso.gov.si/doc/dokumenti/Karta_potresne_nevarnosti_2021.jpg (Pridobljeno 16. 2. 2022)

Tolmač karte. https://potresi.arso.gov.si/doc/dokumenti/Tolmac_karte_potresne_nevarnosti_2021.pdf
(Pridobljeno 16. 2. 2022)

Atanackov, J., Jamšek Rupnik, P., Zupančič, P., Šket Motnikar, B., Živčič, M., Čarman, M., Milanič, B., Kastelic, V., Rajh, G. and Gosar, A., 2022. Seismogenic fault and area sources for probabilistic seismic hazard model in Slovenia. PANGAEA.

Atanackov, J., Jamšek Rupnik, P., Jež, J., Celarc, B., Novak, M., Milanič, B., Markelj, A., Bavec, M. and Kastelic, V., 2021. Database of active faults in Slovenia: compiling a new active fault database at the junction between the Alps, the Dinarides and the Pannonian Basin tectonic domains. *Frontiers in Earth Science*, 9, p.151.

Beg, D., Pogačnik, A. 2017. Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih – 2. izdaja. Ljubljana. Inženirska zbornica Slovenije.

CEN, 2021. Eurocode 8: Earthquake resistance design of structures, EN1998-1-1_version_01-10-2021, Working draft.

Dolšek, M., 2020. Osnove potresnega inženirstva. Predavanje.

Douglas, J., 2018. Calibrating the backbone approach for the development of earthquake ground motion models. Paper presented at Best Practice in Physics-based Fault Rupture Models for Seismic Hazard Assessment of Nuclear Installations: Issues and Challenges Towards Full Seismic Risk Analysis, Cadarache, France

ESHM2013 Overview, 2013. <http://hazard.efehr.org/en/Documentation/specific-hazard-models/europe/overview/> (Pridobljeno 17. 2. 2022)

ESHM2020 Overview, 2020. <http://hazard.efehr.org/en/Documentation/specific-hazard-models/europe/eshm2020-overview/> (Pridobljeno 17. 2. 2022)

Giardini, D., Wössner, J., & Danciu, L., 2014. Mapping Europe's seismic hazard. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 95(29), 261-262.

Kotha, S. R., Weatherhill, G., Bindi, D., 2020. A regionally-adaptable ground-motion model for shallow crustal earthquakes in Europe. *Bull Earthquake Eng.*

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, 2502–2515.

Sabetta, F., Pugliese, A., 1996. Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motions, *Bull. Seism. Soc. Am.* 86, 337-352.

SIST EN 1998-1:2005 - Evrokod 8 - Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij - 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe, slovenski standard, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, 2005 - Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, angl. standard, I.

SIST EN 1998-1:2005/oA101:2005 - Evrokod 8 - Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij - 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe - Nacionalni dodatek, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, 2005.

Šket Motnikar, B., 2022. Spektri potresne nevarnosti. Osebna komunikacija. (Pridobljeno 28.2.2022)

Šket Motnikar, B., 2021. Nova karta potresne nevarnosti Slovenije in metodologija izdelave. Predavanje – Slovenski inženirski dan 2021. (Pridobljeno 4. 3. 2021)

Šket Motnikar, B., Zupančič, P., Živčič, M., Atanackov, J., Jamšek Rupnik, P., Čarman, M., Kastelic, V., Gosar, A. 2021. Tolmač karte, Nova karta potresne nevarnosti Slovenije (2021) za namen projektiranje potresno odpornih stavb. Ljubljana.

Šket Motnikar, B., Zupančič, P., Živčič, M., Atanackov, J., Jamšek Rupnik, P., Čarman, M., Danciu, L. and Gosar, A., 2022. The 2021 seismic hazard model for Slovenia (SHMS21): overview and results. *Bulletin of Earthquake Engineering*, pp.1-30.

Weatherhill, G., Kotha, S. R., Cotton, F., 2020. A regionally-adaptable “scaled backbone” ground motion logic tree for shallow seismicity in Europe: application to the 2020 European seismic hazard model. *Bull Earthquake Eng* 18, 5087–5117.