



**Snježana Cvijić Amulić**, snjezana.cvijic@gmail.com, Republic Hydrometeorological Institute, Banja Luka

**Sanja Tucikešić**, sanja.tucikesic@aggf.unibl.org, Faculty of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, University of Banja Luka

## ACCELEROMETRIC NETWORK AND ELASTIC RESPONSE SPECTRUM FOR GROUND TYPE A IN THE REPUBLIC OF SRPSKA

### **Abstract:**

This paper presents the content of an analysis of available relevant accelerometric data, which aims at identifying a group of nationally determined parameters in the field of seismological activity that was used in the preparation phase of the B&H national annex for Eurocode 8. Seismological data analysis related to parameters that are in Eurocode 8 open to national choice, refer to the: soil classification, horizontal elastic response spectrum and reference ground acceleration, respectively seismic hazard map.

*Keywords: Eurocode 8, elastic response spectra, peak ground acceleration, seismic hazard*

## АКЦЕЛЕРОМЕТРИЈСКА МРЕЖА И СПЕКТРИ ОДГОВОРА ЕЛАСТИЧНЕ СРЕДИНЕ ЗА ТЛО ТИПА А У РЕПУБЛИЦИ СРПСКОЈ

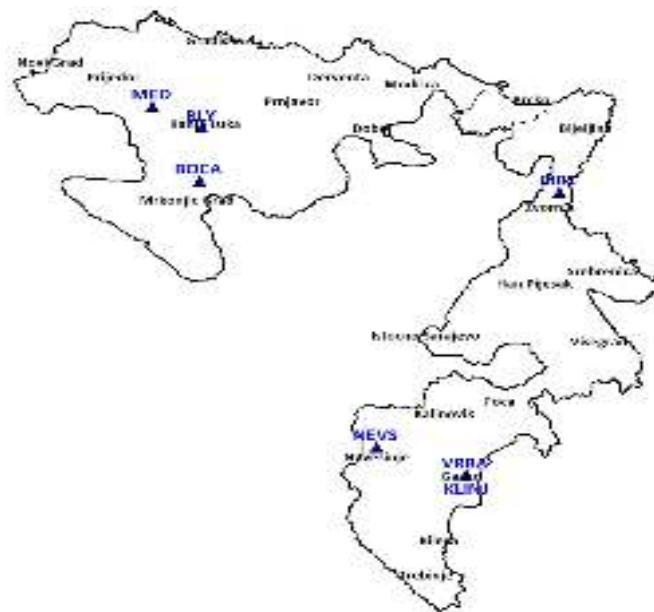
### **Sadržaj:**

У овом раду је приказан садржај анализе расположивих релевантних акцелерометријских података који има за циљ могућност утврђивања групе национално детерминисаних параметара из области сеизмолошке дјелатности која је коришћена у фази припреме националног анекса БиХ за Еврокод 8. Анализа сеизмолошких података се односила на параметре који су у Еврокоду 8 отворени за национални избор, а односе се на: класификацију тла, хоризонтални спектар одговора еластичне средине и референтно убрзање тла, односно карту сеизмичког хазарда.

*Кључне ријечи: Еврокод 8, спектар одговора еластичне средине, референтно убрзање тла, сеизмички хазард*

## 1. УВОД

Акцелерометријска мрежа је значајна за утврђивање параметара осциловања тла при дејству јаких земљотреса, који су неопходни у процесу сеизмички сигурног пројектовања, планирања и грађења објеката у Републици Српској, као и за потребе утврђивања реалног степена сеизмичког хазарда и очекиваног нивоа сеизмичког ризика. Активности на формирању акцелерометријске мреже Републике Српске започете су 2009. године. Први акцелерометар у мрежи Републике Српске инсталиран је у Бањој Луци, 2009. године заједно са широкопојасним сензором, што представља стандард савремених европских сеизмолошких мрежа у сарадњи са Институтом за вулканологију и геофизику из Рима. С обзиром на то да би формирање акцелерометријске мреже на споменути начин изискивало значајна финансијска средства којима Завод не располаже, Завод се окренуо сарадњи са привредним субјектима који управљају високим бранама које према Правилнику о техничким нормативима за сеизмичко осматрање високих брана (Службени Лист СФРЈ број 06/88) и Правилнику о вршењу техничког прегледа објеката, издавању одобрења за употребу и осматрање тла и објеката у току грађења и употребе (Службени Гласник Републике Српске број 46/11), морају имати инсталиран прописан број акцелерометара с циљем сеизмичког осматрања за регистровање динамичког понашања тла, темеља и тијела бране за вријеме јаких земљотреса. На овај начин остварена је сарадња са Рудником жељезне руде Омарска (MED) и Рудником и термоелектраном Гацко (VRBA и KLINJ), од јануара 2011. године са Водоводом из Невесиња на брани Алаговац (NEVS), затим са фабриком Алумина из Зворника (BIR1) и са Хидроелектраном Боцац (BOCA), Слика 1.



Слика 1. Акцелерометријске станице на простору Републике Српске

На свим локацијама су инсталирани инструменти америчког произвођача Kinemetrics чији је преглед дат у Табели 1.

Табела 1. Акцелерометријске станице у Републици Српској са кодним називом и инструментаријем

Код	Мрежа	Латитуда N (°)	Лонгитуда E (°)	Надморска висина (m)	Дигитализатор	Сензор
BLY	WS	44.749	17.175	256	Q730	Episensor FBA-EST
VRBA	WS	43.174	18.579	1112	Basalt	Episensor FBA-EST
MED	WS	44.847	16.911	200	Q330	Episensor FBA-EST
BIR1	WS	44.457	19.076	197	Basalt	Episensor FBA-EST

BOCA	WS	44.508	17.163	308	Q330	Episensor FBA-EST
NEVS	WS	43.299	18.103	894	Basalt	Episensor FBA-EST
KLINJ	WS	43.169	18.585	1076	Basalt	Episensor FBA-EST

Сигнали на свим станицама се дигитализују са 100 узорака у секунди и резолуцијом од 24 бита. Регистрација пуне скале износи +/- 4 g, а преузимање података се врши путем IP протокола. У Табели 2 су приказани параметри акцелерометријских станица, као и класификација тла у сагласности са Еврокодом 8.

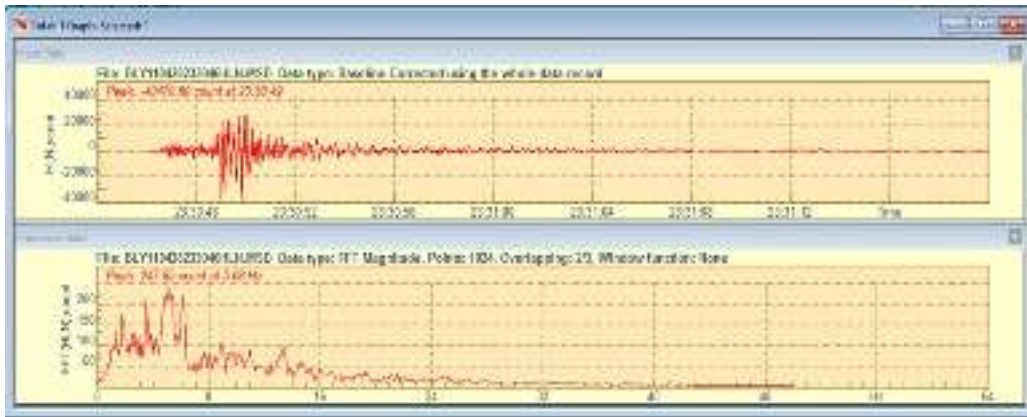
Табела 2. Параметри акцелерографских станица и класификација тла на локацији

Код	Геолошки састав тла	Класификација тла по EN98-1
BLY	Слојевити доломити са глиновитим прослојцима око 0.5 m при површини	A
VRBA	Еоценски флиш, танкослојевити хетерогени материјали	B
MED	Хумус, жутосмеђе пјесковите глине, сивосмеђи пјешчар са прослојцима алевролита (6-100 m)	B
BIR1	Кречњак испуњен са доста глиновитог материјала	B
BOCA	Слојевити до банковити кречњаци	A
NEVS	Глацијални седименти, шљунак са глином	B
KLINJ	Еоценски флиш, танкослојевити хетерогени материјали	B

Класификација тла на локацијама акцелерографских станица дата је на бази површинске геологије. Како не постоје подаци о дебљини појединих геолошких формација (глина, шљунак, итд) ова класификација тла се не може узети као коначна, већ су потребна геофизичка истраживања којима би се одредила вриједност смичућих таласа на локацијама станица.

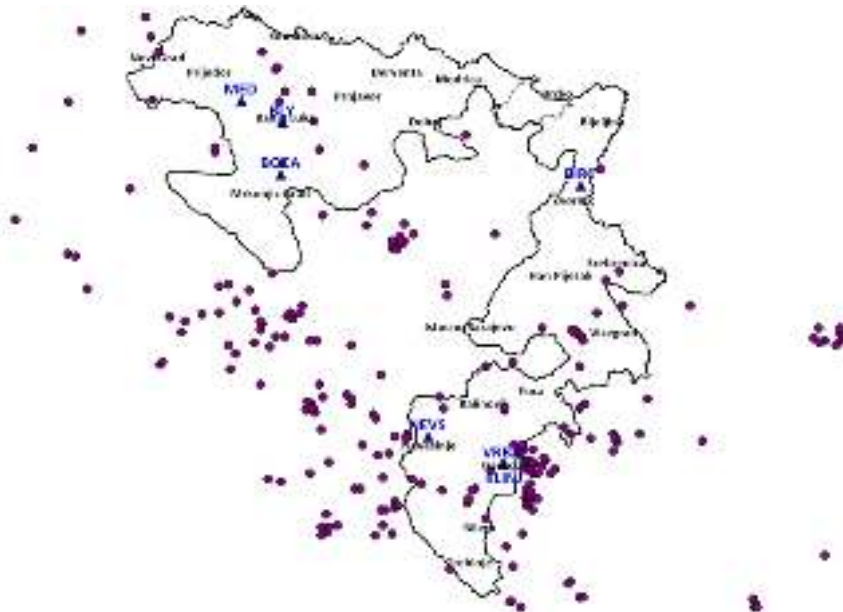
## 1.2. База података са историјама убрзања

Осциловање тла током дејства земљотреса се може приказати преко временских историја убрзања тла (акцелерограма) и повезаних величина (брзина и помјерај). Сеизмичка побуда се може описати кроз анализу акцелерограма, који се генеришу путем физичке симулације извора и механизма пропагације сеизмичких таласа кроз тло. База акцелерограма Сектора за сеизмологију Републичког хидрометеоролошког завода Републике Српске се састоји од временских историја који су регистровани од маја 2009. године када је инсталирана прва акцелерометријска станица у Бањој Луци. Ова база података се састоји од 264 акцелерограма за 88 земљотреса магнитуда  $3.0 \leq ML \leq 4.9$  степени по Рихтеру, од којих је један акцелерограм приказан на Слици 2 са FFT спектром.



Слика 2. Акцелерограм земљотреса (*N*-компонента) са *FFT* спектром од 28. априла 2011. године у 23:30:43 (GMT),  $M_L=4.3$ ,  $I_0=60MCS$ , који се десио у околини Бање Луке

На Слици 3 приказани су епицентри земљотреса који су регистровани на акцелерометријским станицама који су даље коришћене у анализи параметара за припрему овог рада. Сви акцелерограми су екстраховани из континуалних записа и архивирани у *mseed* формату.



Слика 3. Просторна дистрибуција епицентара земљотреса који су регистровани на акцелерометријским станицама *RXM3 PC*

## 2. СПЕКТАР ОДГОВОРА ЕЛАСТИЧНЕ СРЕДИНЕ

Разорно дејство јачих земљотреса нарочито је изражено у густо изграђеним градским срединама у којима се могу очекивати најтеже последице за људе и грађевинске објекте. У урбаним градским срединама већину грађевина чине постојеће зграде које у највећем броју не испуњавају услове одређене најновијим техничким прописима за пројектовање и извођење грађевина изложених утицају земљотреса. Основни циљ правилног пројектовања и извођења грађевина јесте очување људских живота. То значи да се зграде, и при најјачим потресима који се очекују у вијеку трајања грађевине, не би требале срушити, али се значајна оштећења не могу избјећи.

Осим разматрања тзв. сигурносних потреса, некада желимо установити и за коју јачину потреса можемо очекивати појаву првих оштећења на носивим и неносивим елементима. Такви потреси се могу појавити више пута у вијеку трајања неке грађевине. Посебно значење имају грађевине у којима су смјештена критична постројења, значајна за функционисање цијелог друштва. Таква постројења би требала да функционишу и након снажнијих земљотреса. Због тога је важно познавати, односно претпоставити како ће се понашати нека

посматрана конструкција за очекивани потрес на том подручју. Другим ријечима, неопходно је провјерити да ли су њена носивост, крутост<sup>4</sup> и дуктилност<sup>5</sup> довољни да би се постигло:

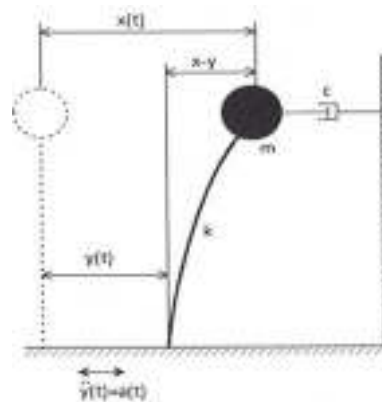
- ограничење деформација
- жељени ниво носивости конструктивних елемената и
- дисипацију енергије унесене потресом.

Ови захтјеви представљају основне циљеве за добро пројектоване асеизмичке конструкције. Након сагледавања могућег одзива конструкције на потрес може се приступити корекцији ако неки од захтјева није испуњен. Као што је познато, земљотрес је веома сложен природни феномен при којем долази до различитих појава, али са инжењерског становишта најважнија је појава помјерања површинских слојева тла.

Иако су многе методе прорачуна засноване на помјерањима, у свим савременим сеизмичким прописима као што су Еврокодови, уобичајене сеизмичке прорачунске процедуре и даље су засноване на силама. Конструкције се прорачунавају за гранично стање носивости на основу јединственог спектра сеизмичког хазарда за различите вриједности повратног периода. За инжењерске потребе приликом пројектовања битна је релација између максималног хоризонталног убрзања тла и интензитета потреса, односно магнитуде, као и спектри одговора еластичне средине добијени на основу записа регистрованих јачих земљотреса. Под појмом спектра одговора еластичне средине подразумијевају се спектри помјераја, брзине и убрзања. У пракси се највише користе спектри убрзања и они су саставни дио свих савремених техничких норми за планирање и грађење у сеизмичким подручјима. Спектар одговора еластичне средине се може дефинисати као скуп максималних одговора система са једним степеном слободe на побуду у облику акцелерограма потреса. Спајањем максималних одговора добија се крива која се назива спектар одговора. Спектар одговора еластичне средине је добијен уз претпоставку о линеарном, односно еластичном понашању средине кроз коју сеизмички талас пролази. Из угла пројектанта, у току земљотреса долази до вибрационог кретања темељног тла на којем је објекат фундиран, те сеизмичко дејство има изразито динамички карактер.

Приказ земљотресног дејства преко спектра одговора еластичне средине условљава анализу конструкције у фреквентном домену, а када је дејство могућег земљотреса дато преко временске историје убрзања тла, анализа се спроводи у временском домену.

Понашање једноставних облика конструкције, са јединственом сопственом периодом осциловања  $T$ , при дејству земљотреса се може апроксимирати реакцијом механичког осцилатора (еластичног система) са једним степеном слободe, Слика 4. При томе се његово понашање може квалитетно изразити преко спектра одговора еластичне средине (енг. *elastic response spectra*) на дејство земљотреса, које је репрезентовано регистрованом историјом убрзања тла. Спектар одговора еластичне средине таквог система представља његов максимални одзив у времену, у функцији сопствене периоде побуде манифестоване кроз историју убрзања тла која је саопштена том осцилатору.



Слика 4. Математички модел механичког система са једним степеном слободe

<sup>4</sup> стабилност конструкције и њених елемената да се на одговарајући начин супротставе, свим облицима деформација које изазивају спољашње силе, односно, да настале деформације не прекораче неке дозвољене вриједности

<sup>5</sup> особина материјала да се под утицајем спољашњег напрезања пластично деформише прије него што наступи лом

Осциловање таквог еластичног система је могуће описати тзв. нехомогеном линеарном диференцијалном једначином другог реда, а његов еластични одзив се може срачунати вишеструком сукцесивном нумеричком интеграцијом те једначине, за различите вриједности сопствених периода осцилатора.

Према математичком моделу механичког система са једним степеном слободе, можемо, користећи услов равнотеже свих хоризонталних сила, написати сљедећу диференцијалну једначину кретања:

$$m[\ddot{u}(t) + \ddot{y}(t)] = -k \cdot u(t) - c\dot{u}(t), \quad (1)$$

гдје је са  $m$  обиљежена маса,  $c$  пригушење,  $k$  крутост система,  $u(t) = x(t) - y(t)$  генерализана координата (релативно помјерање масе),  $x(t)$  је апсолутно (укупно) помјерање масе,  $y(t)$  помјерање тла, а  $\ddot{u}(t)$  убрзање тла.

Даље слиједи:

$$m\ddot{u}(t) + m\ddot{y}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = 0, \quad (2)$$

Дијелењем обје стране једначине (2) са  $m$  добијамо:

$$\ddot{u}(t) + \frac{c}{m}\dot{u}(t) + \frac{k}{m}u(t) = -\ddot{y}(t), \quad (3)$$

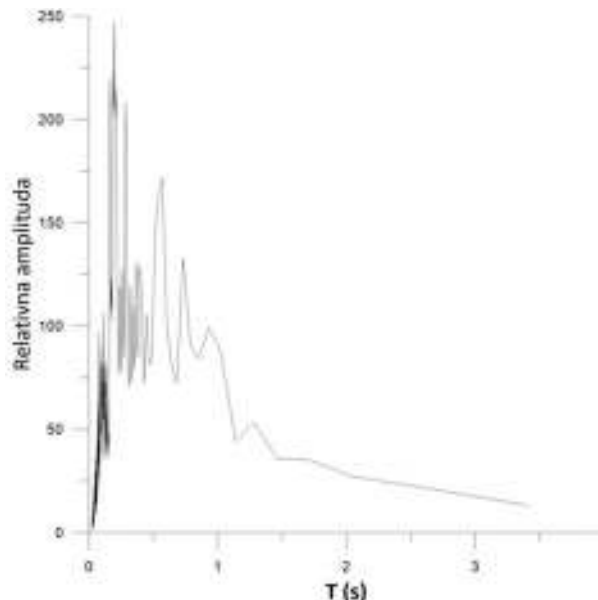
Ако замјенимо да је  $\frac{c}{m} = 2n$ ;  $\frac{k}{m} = \omega^2$ ;  $\ddot{y}(t) = a(t)$  добићемо сљедећи дефинитивни облик једначине кретања:

$$\ddot{u}(t) + 2n\dot{u}(t) + \omega^2 u(t) = -a(t). \quad (4)$$

Рјешавањем диференцијалне једначине (4) добија се одговор конструкције  $u(t)$  на задато кретање тла у току потреса. Са познатим помијерањем  $u(t)$ , сеизмичке силе за вријеме земљотреса одређују се као:

$$F_s(t) = k \cdot u(t) \quad (5)$$

Оваквим поступком се добија спектар одговора еластичне средине који се најчешће представља дијаграмом максималног одзива симплификоване конструкције, односно механичког осцилатора са једним степеном слободе, у функцији сопствене периоде осциловања (Слика 5), као и у зависности од задатог пригушења тог система (у пракси се најчешће користи пригушење од 5%).



Слика 5. Ненормирани спектар одговора еластичне средине за земљотрес од 28. априла 2011. године у околини Бање Луке са степена Рихтерове скале ( $N$ -компонента)

Конкретан одзив система са једним степеном слободе се може срачунати као функција његовог убрзања, брзине или помјераја. Код осцилација са врло малим периодама, односно код врло крутих конструкција, спектар убрзања еластичне средине тежи вриједности која је еквивалентна величини очекиваног максималног убрзања тла на тој локацији, односно тзв. PGA. Због тога се вриједности убрзања, добијеног спектром одговора еластичне средине,

приликом графичког приказивања нормирају са вриједношћу PGA, који је утврђен за одговарајући повратни период времена. Такође се, спектар одговора еластичне средине за одређене вриједности пригушења, увијек приказује у виду апсолутних вриједности.

## 2.2. Хоризонтални спектар одговора еластичне средине

У Еврокоду 8 за хоризонталне компоненте сеизмичког дејства, препоручени облик пројектног спектра  $S_e(T)$  је дефинисан функцијом коју чине четири гране, дефинисане следећим изразима, Слика 6:

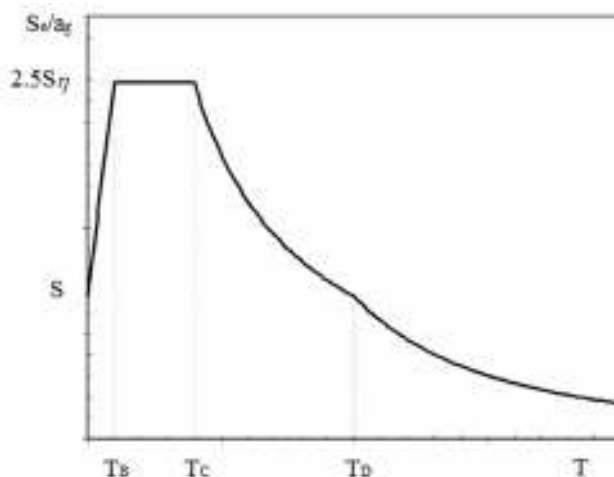
$$S_e(T) = a_g S \left[ 1 + \frac{T}{T_B} (\eta \cdot 2.5 - 1) \right]; 0 \leq T \leq T_B \quad (6)$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5; T_B \leq T \leq T_c \quad (7)$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \left[ \frac{T_c}{T} \right]; T_c \leq T \leq T_D \quad (8)$$

$$S_e(T) = a_g S \cdot \eta \cdot 2.5 \left[ \frac{T_c T_D}{T^2} \right]; T_D \leq T \leq 0.4s \quad (9)$$

при чему је:  $S_e(T)$  спектар одговора еластичне средине,  $a_g$  пројекто убрзање тла за тло типа А ( $a_g = \gamma_1 \cdot a_{gR}$ ),  $T$  период вибрација линеарног система са једним степеном слободe,  $T_B$  доња граница периода у области са константним спектралним убрзањем,  $T_c$  горња граница периода у области са константним спектралним убрзањем,  $T_D$  вриједност периода која дефинише почетак области спектра са константним одговором помијерања у спектру,  $S$  фактор тла,  $\eta$  фактор корекције пригушења са референтном вриједношћу  $\eta = 1$  за вискозно пригушење од 5%.



Слика 6. Облик спектра одговора еластичне средине [1]

Ове четири гране, као што је речено, су одвојене са три карактеристична периода  $T_B$ ,  $T_c$  и  $T_D$ , као и фактор тла  $S$ , који се у Национаном анексу утврђују као национално одређени параметри омогућавајући прилагођавање спектралног облика сеизмогенетским карактеристикама сваке земље. Избор облика спектра одговора еластичне средине који ће бити коришћен, мора бити дефинисан у Националном анексу. Приликом избора одговарајућег облика спектра, треба да се разматра магнитуда земљотреса која највише доприноси сеизмичком hazardу у пробабилистичкој оцјени hazardа, више него максималан вјеродостојан земљотрес дефинисан за ту потребу.

Дејство потреса у хоризонталној равни се описује са две ортогоналне компоненте које се третирају као међусобно независне и које су приказане истим спектром одговора. За три компоненте сеизмичког дејства, један или више алтернативних облика спектра одговора може да се усвоји, у зависности од сеизмичких жаришта и магнитуда које се генеришу. Када се земљотреси који утичу на дату локацију генеришу из веома различитих жаришта, треба да се разматри могућност да се користи више од једног облика спектра како би било омогућено адекватније приказивање сеизмичког дејства. У таквим околностима, различите вриједности  $a_g$  ће бити потребне за сваки тип спектра и земљотреса. Вриједност периода  $T_B$ ,  $T_c$  и  $T_D$  као и фактора тла  $S$  којима се дефинише облик спектра одговора еластичне средине зависи од категорије тла. Ако се дубока геологија не узима у обзир Еврокод 8 препоручује употребу два типа спектра: тип 1 и тип 2. Уколико су земљотреси који највише доприносе сеизмичком

хазарду за посматрану локацију у пробабилистичкој оцјени хазарда, са магнитудама површинских таласа  $M_s \leq 5.5$  препоручује се да се узме спектар типа 2, док за земљотресе са магнитудама површинских таласа  $M_s > 5.5$  препоручује спектар типа 1. Вриједности параметара који описују препоручене спектре одговора за тип тла А су дати у Табели 3.

Табела 3. Вриједности параметара за земљотресе типа 1 и типа 2 на тлу типа А

Спектар	Категорија тла	$S$	$T_B$	$T_c$	$T_D$
Тип 1	А	1.0	0.15	0.40	2.0
Тип 2	А	1.0	0.05	0.25	2.0

Вриједност фактора пригушења  $\eta$  може се одредити према изразу:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5+\xi}} \geq 0.55 \quad (10)$$

гдје је  $\xi$  релативно вискозно пригушење конструкције, изражено у процентима.

Еластични спектар одговора помјерања  $S_{De}(T)$  може да се одреди директном трансформацијом спектра одговора убрзања еластичне средине  $S_e(T)$  коришћењем следећег израза:

$$S_{De}(T) = S_e(T) \cdot \left[ \frac{T}{2\pi} \right]^2 \quad (11)$$

Израз (11) може да се нормално примјењује за периоде вибрација који не прелазе 4.0 s. За конструкције чији је основни период дужи од ове вриједности, неопходна је потпунија дефиниција спектра помјерања.

### 2.3. Вертикални спектар одговора еластичне средине

Вертикална компонента сеизмичког дејства је представљена еластичним спектаром одговора  $S_{ve}(T)$  дефинисан са четири гране следећим изразима:

$$S_{ve}(T) = a_{vg} S \left[ 1 + \frac{T}{T_B} (\eta \cdot 3.0 - 1) \right]; 0 \leq T \leq T_B \quad (12)$$

$$S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot S \cdot \eta \cdot 3.0; T_B \leq T \leq T_c \quad (13)$$

$$S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot S \cdot \eta \cdot 3.0 \cdot \left[ \frac{T_c}{T} \right]; T_c \leq T \leq T_D \quad (14)$$

$$S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot S \cdot \eta \cdot 3.0 \left[ \frac{T_c T_D}{T^2} \right]; T_D \leq T \leq 0.4s \quad (15)$$

Вриједности које се додијелују параметрима  $T_B$ ,  $T_c$  и  $T_D$  и  $a_{vg}$  за сваки облик вертикалног спектра који се користи у земљи треба да се дефинише у Националном анексу. Препоручени избор је употреба два типа вертикалног спектра: тип 1 и тип 2. Као и за спектар којим се дефинише хоризонтална компонента сеизмичког дејства, уколико земљотреси који највише доприносе сеизмичком хазарду, дефинисаном за локацију у пробабилистичкој оцјени хазарда, имају магнитуде површинских таласа  $M_s \leq 5.5$  препоручује се да се усвоји спектар типа 2, док за  $M_s > 5.5$  препоручује се спектар типа 1. Карактеристични периоди  $T_B = 0.05$ ,  $T_c = 0.15$  и  $T_D = 1.0$  који описују вертикални спектар одговора су исти за свих пет типова тла, А, В, С, D и Е, док се ове препоручене вриједности не односе на специјалне типове тла  $S_1$  и  $S_2$ . Однос  $\frac{a_{vg}}{a_g} = 0.9$  се препоручује за спектре одговора типа 1, а  $\frac{a_{vg}}{a_g} = 0.45$  за спектре одговора типа 2. Фактор тла  $S$  не утиче на вертикални спектар одговора еластичне средине. Примјена метода анализе спектра одговора еластичне средине је веома значајна у савременом грађевинарству. У Еврокоду 8 су дефинисани препоручени облици спектра еластичне средине за различите типове тла, али је наведено да су надлежне националне институције мјеродавне за утврђивање оправданости усвајања или измјене препоручених облика спектра одговора. Пројектно помјерање тла  $d_g$  које одговара пројектном убрзању тла  $a_g$  израчунава се из израза:

$$d_g = 0.025 \cdot a_g \cdot S \cdot T_c \cdot T_D \quad (16)$$

гдје су чланови у изразу дефинисани у Табели 3 за тло типа А.



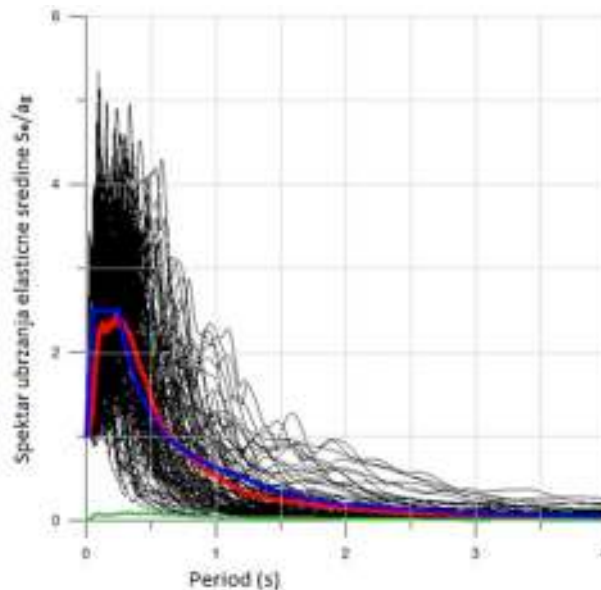
### 3. СПЕКТАР ОДГОВОРА ЕЛАСТИЧНЕ СРЕДИНЕ ЗА ТЛО ТИПА А У РЕПУБЛИЦИ СРПСКОЈ НА ОСНОВУ ОБРАДЕ БАЗЕ ПОДАТАКА УБРЗАЊА

Национална база акцелерограма Републике Српске садржи само акцелерограме за земљотресе типа 2, тј. земљотресе магнитуда  $M_s \leq 5.5$ . Из укупне базе акцелерограма за подручје Републике Српске, односно БиХ издвојена је група акцелерограма од 2009. до маја 2015. године за услове чврстог тла, за случај земљотреса типа 2, у циљу поређења облика пројектних спектра са препорученим облицима у Еврокоду 8.

За потребе прорачуна спектра одговора еластичне средине коришћен је компјутерски програм, развијен у Сектору за сеизмологију, Завода за хидрометеорологију и сеизмологију Црне Горе, базиран на нумеричком приступу и рјешењу које су публиковали Nigam и Jennings 1969. године.

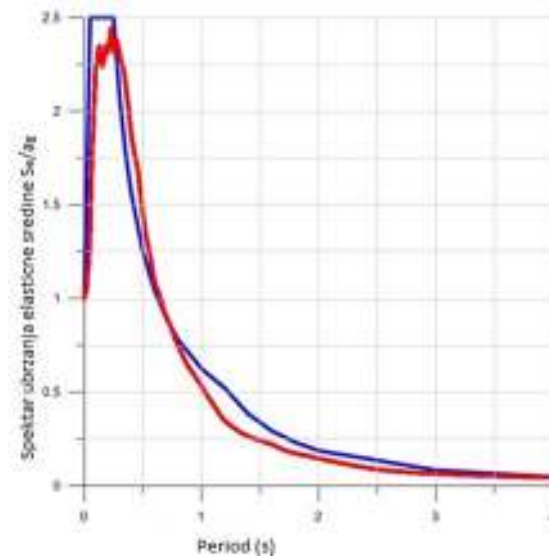
Анализом добијене средње вриједности прорачунатих спектра одговора еластичне средине за 140 временских историја убрзања тла, за тип тла А и земљотресе типа 2, може се генерално констатовати добра корелација са одговарајућим препорученим обликом спектра у највећем домену периода (Слика 7). Срачуната средња вриједност спектра одговора означена је црвеном дебљом линијом, стандардна девијација те функције дебљом зеленом линијом, а препоручени облик пројектног спектра је представљен плавом бојом. Детаљнијом анализом је могуће утврдити следеће закључке:

- Периода  $T_B = 0.05$ , која по препорученом облику пројектног спектра износи 0.05 секунди, на бази обраде хоризонталних историја убрзања, има вриједност око 0.10 секунди.
- Препоручена периода  $T_C$  за тип 2 земљотреса на тлу типа А износи 0.25 секунди, док на основу резултата обраде износи око 0.30 секунди.



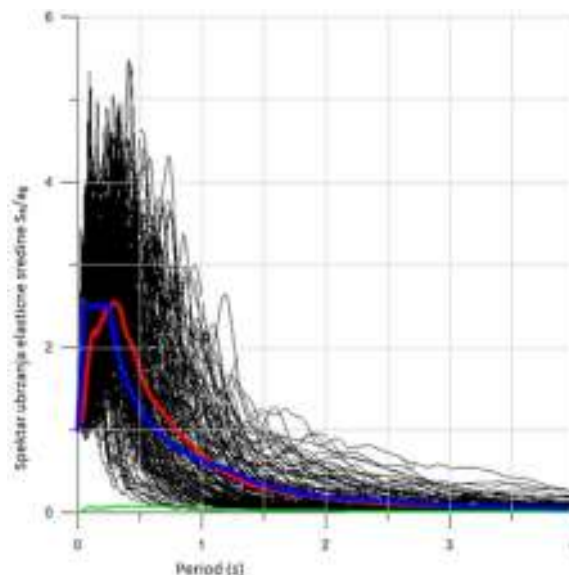
Слика 7. Нормирани хоризонтални спектар одговора еластичне средине у функцији сопствене периоде  $T$  за 140 историја убрзања тла и тип 2 земљотреса  $M_s \leq 5.5$

Дакле, резултати обраде базе акцелерограма за тло типа А, за случај земљотреса типа 2 су исказали мало, али конзистентно повећање вриједности периода за карактеристичне тачке  $T_B$  и  $T_C$  на препорученом облику спектра одзива (Слика 8).



Слика 8. Срачунате средње вриједности хоризонталних спектра одговора за тип земљотреса 2 (црвена линија) у поређењу са коресподентним препорученим обликом пројектног спектра, по Еврокоду 8 (плава линија)

Изложене резултате треба узети у обзир приликом детерминисања параметара у Националном анексу Еврокода 8. Временске историје убрзања тла које су коришћене за прорачун спектра одговора односе се на земљотресе који су регистровани на ближим (до 100 km, Слика 7) и даљим (већим од 100 km, Слика 9) епицентралним растојањима од акцелерометријских станица. Међутим, база акцелерација Републике Српске садржи већи број временских историја убрзања тла за земљотресе који су регистровани на већим епицентралним растојањима од акцелерометријских станица. Стога је извршена и обрада спектра одговора за базу акцелерација која садржи већи број земљотреса регистрованих на даљим епицентралним растојањима, а резултат је приказан на Слици 9.



Слика 9. Нормирани хоризонтални спектар одговора еластичне средине у функцији сопствене периоде  $T$  за 176 историја убрзања тла и тип 2 земљотреса  $M_s \leq 5.5$

Срачуната средња вриједност спектра одговора означена је црвеном дебљом линијом, стандардна девијација те функције дебљом зеленом линијом, а препоручени облик пројектног спектра је представљен плавом бојом. Резултати обраде спектра одговора за 176 акцелерограма, за тип тла А са акцелерометријске станице Бања Лука (BLY) за случај земљотреса типа 2 исказује значајно повећање вриједности периода за карактеристичне тачке  $T_B$  и  $T_C$  у односу на препоручени облик спектра одговора. Наиме, како је спектар одговора еластичне средине, за земљотресе на већим епицентралним растојањима богатији у домену

дужих периода, то је и средња вриједност срачунатих спектара одговора, за карактеристичне тачке и већа у домену дужих периода. Анализирајући многе земљотресе и њихове ефекте на површини тла запажено је да локални услови имају велики утицај на дистрибуцију штета. Да би се урадила карта сеизмичког хазарда за површину локалног тла, неопходна је набавка и постављање већег броја акцелерометара на цијелом простору Републике Српске.

#### 4. ЗАКЉУЧАК

У овом раду је извршена спектрална анализа базе акцелерограма РХМЗ-а ради утврђивања хоризонталног спектра одговора еластичне средине за тло типа А. Без обзира на чињеницу да су на простору Републике Српске, односно БиХ, у ранијој историји, а и даље генерисани и јачи земљотреси од 5.5 степени Рихтерове скале, због недостатка акцелерација јачих земљотреса  $M_s > 5.5$  није било могуће добити карактеристични спектар периода одговора еластичне средине за земљотресе типа 1 на тлу типа А, а тиме ни интервал у којем се могу очекивати максималне могуће амплитуде будућих јачих земљотреса.

Анализом добијених резултата за прорачун хоризонталног спектра одговора за тип тла А и земљотресе типа 2, односно земљотреса за  $M_s \leq 5.5$  еластичне средине, констатована је добра корелација између срачунатих и вриједности препоручених Еурокодом 8, за карактеристичне периоде  $T_B$  и  $T_C$ . На основу анализирани базе акцелерација Републичког хидрометеоролошког завода Републике Српске, која садржи већи број временских историја убрзања тла за земљотресе који су регистровани на већим епицентралним растојањима (преко 100 km) од коришћене акцелерометријске станице, карактеристични периоди су помјерени у домену виших периода. То представља ограничење у спроведеној анализи, с обзиром на количину и врсту доступних података са којим се располагало. Под тим се подразумијева да, у фонду података на којем је изведена ова анализа, постоје празнине усљед којих је интервал периода максималних очекиваних амплитуда земљотреса који ће бити генерисани у будућности, ускраћен за дио садржаја спектра.

У складу са савременим сеизмолошким мониторингом, Република Српска би требала да има мрежу акцелерометарских станица чији број вишеструко премашује број сеизмолошких станица. Да бисмо могли правилно процијенити сеизмички хазард, било би неопходно регистровати што је више могуће акцелерација једног сеизмичког догађаја, јер се њихове вриједности разликују зависно од удаљености од епицентра, али и од квалитета локалног тла. Ризик од земљотреса је питање јавне сигурности које захтијева одговарајуће мјере и средства управљања ризиком с циљем да се заштите имовина, становништво, инфраструктура, природна средина и културно наслеђе.

#### ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic action and rules for buildings
- [2] Snježana N. Cvijić, Analiza podataka u cilju određivanja nacionalnih parametara prema Evrokodu 8 za prostor Republike Srpske, magisarska teza, Beograd, 2016. godine