

СЕИЗМИЧКО МИКРОЗОНИРАЊЕ КАО ОСНОВА ЗА „СПУШТАЊЕ” АНАЛИЗЕ СЕИЗМИЧКОГ РИЗИКА НА НИВО ЛОКАЛНЕ САМОУПРАВЕ

др Жељко Жугић, пројектни координатор*
Влада Републике Србије, Канцеларија
за управљање јавним улагањима

мр Дејан Драгојевић, докторант
Универзитет Св. Ђирило и Методије, Институт за земљотресно
инжењерство и инжењерску сеизмологију, Северна Македонија

мр Сандра Недељковић, заменик директора
Влада Републике Србије, Канцеларија
за управљање јавним улагањима

* zeljko.zugic@obnova.gov.rs

СЕИЗМИЧКО МИКРОЗОНИРАЊЕ КАО ОСНОВА ЗА „СПУШТАЊЕ” АНАЛИЗЕ СЕИЗМИЧКОГ РИЗИКА НА НИВО ЛОКАЛНЕ САМОУПРАВЕ

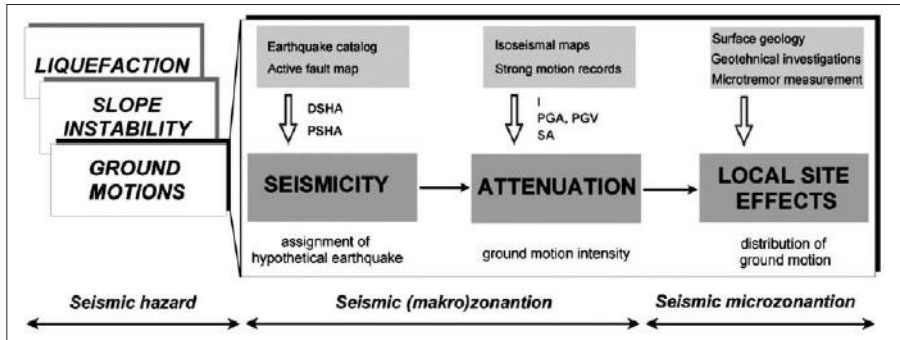
Сажетак: *Анализама сеизмичког хазарда и сеизмичког ризика се у Републици Србији у већини случајева баве националне институције, док је сеизмичко микрозонирање у већини случајева занемарено иако представља битан елемент у тим анализама. Рад ће се бавити проблемима у подели надлежности и послова у овој области, као и значају самог посла који за резултат има отпорност инфраструктуре и друштва уопште када су елементарне непогоде у питању. У раду су приказани различити типови-нивои сеизмичког микрозонирања и објашњени су бенефити њихове примене приликом планирања и пројектовања грађевинских објеката и инфраструктуре, и пре свега 'спуштања' процене сеизмичког и геолошког ризика на ниво локалне самоуправе. Наглашена је важност спровођења теренских истражних геолошких и геофизичких радова, како за потребе прецизније анализе сеизмичког ризика на конкретној микролокацији тако и са аспекта геолошких ризика који се морају узимати у обзир приликом спровођења детаљне сеизмичке микрорејонизације. Кроз конкретне примере, објашњени сви ефекти које крајњи корисници, као што су градови, општине, али и индивидуални корисници, могу имати од сеизмичког микрозонирања. Такође, приказано је како нове технологије могу помоћи да се хазарди и ризици мапирају, подаци деле, а све у корист мултихазард приступа у дефинисању и процењивању ризика, као и у даљој примени превентивних мера.*

Кључне речи: *сеизмички хазард, сеизмички ризик, микрозонирање, геолошки ризици, Регистар ризика од катастрофа*

Увод

Анализама сеизмичког хазарда и сеизмичког ризика се у Републици Србији у већини случајева баве националне институције, док је сеизмичко микрозонирање у већини случајева занемарено иако представља битан елемент у тим анализама. Рад ће се бавити проблемима у подели надлежности и послова у овој области, као и значају самог микрозонирања у целокупном процесу процене и редукције сеизмичког ризика (слика 1).

Слика 1. Сеизмичко зонирање померања терена
(ISSMGE 1999)



У зависности од важности објеката, површине коју је потребно зонирати, расположивог буџета и претходно доступних података, разликују се три нивоа сеизмичког микрозонирања.

Када се ради о сеизмичком микрозонирању ширег подручја, треба имати у виду да у зависности од нивоа сложености студије оно може да носи и значајне трошкове (Yamin, 2018). У том смислу је претходно потребно урадити cost-benefit анализу за предвиђени одређени истражни простор, а свакако да нивои сложености 2 и 3 (даље објашњени у тексту) нису оправдани за целокупну територију једне државе, нити за ненасељена подручја на којима се не планира грађење. Међутим, за локалне самоуправе које желе да привуку инвеститоре и капиталне инвестиције сеизмичко микрозонирање може бити од есенцијалног значаја.

Након великих поплава које су задесиле Републику Србију 2014. године, које се карактеришу као стогодишње воде (Национални програм управљања ризиком од елементарних непогода, 2014), држава је почела да успоставља проактивнији систем управљања ризиком. До тада, Србија је реактивно деловала када се деси опасност, реагује се, што је дефинисано релативно новим законским оквиром, законом о ванредним ситуацијама из 2009. године. Превентива је у периоду транзиције запала у заборав. Новим правним оквиром из 2018. године, Законом о смањењу ризика од катастрофа Србија уводи нове институте који упућују на превентивно деловање. Један од њих, а важан за тему овог рада, је успостављање Регистра ризика од катастрофа (Закон, члан 22). Регистар ризика од катастрофа је интерактивна, електронска, географско-информациона база података за територију Републике Србије која у себи садржи податке о опасностима и ризи-

цима. Регистар успоставља и одржава Републички геодетски завод и представља интегрисан део Гео Србије као јединствене платформе за све геопросторне податке. Подаци из регистра треба да буду основни улазни подаци за планирање урбанизације и капиталних инвестиција у циљу очувања отпорности и одрживости инвестиција, како националних тако и приватних, услед катастрофа и климатских промена.

Микросеизмичко зонирање – нивои сложености и употреба

Нивои сложености сеизмичког микрозонирања (у даљем тексту СМ) студија ширих подручја могу се поделити у 3 нивоа:

- Ниво 1 представља припремни ниво сеизмичке микрорејонизације који се у највећем делу састоји у прикупљању и систематизацији свих расположивих података, односно претходних истраживања о будућем истражном подручју са циљем поделе истражног простора на квалитативно хомогене микронеоне – може да спроводи институција са републичког нивоа – Сеизмолошки или Геолошки завод, или надлежно министарство.
- Ниво 2 представља надградњу Нивоа 1 у смислу извођења истражних радова и потом квантиковања сеизмичког дејства поједностављеним поступцима – препорука да се ради на нивоу локалне самоуправе, округа или покрајине.
- Ниво 3 је најсложенији облик микрозонирања подручја који подразумева коришћење најтачнијих истражних и нумеричких метода који су истог нивоа тачности, као и студије микрозонирања за појединачне објекте – спроводи локална самоуправа (за део своје територије) или индивидуални корисник-инвеститор.

Као коначан производ свих нивоа сложености јесте и карта сеизмичког микрозонирања (у даљем тексту СМ), на којој се, у зависности од нивоа студије, представљају само зоне хомогене сеизмичке опасности, односно зоне и нумерички подаци добијени прорачуном (нпр. амплификациони фактори на одређеној периоди, фактори тла итд.).

Употребна вредност студија СМ је велика и обухвата:

- Урбанистичко планирање при пројектовању нових насеља;
- Одређивање пројектних параметара за одређену зону;
- Дефинисање даљих истраживања по нивоу и обиму;

- Одређивање сеизмичког ризика у постојећим изграђеним срединама;
- Дефинисање приоритета за евентуално хитно деловање (ублажавање ризика) и планова реаговања у случају земљотреса.

Детаљна сеизмичка микрорејонизација представља важну подлогу за урбанистичко планирање јер се на тај начин значајно смањује сеизмички ризик тако што се за грађење могу у потпуности избећи зоне великих локалних сеизмичких опасности – на пример, тла подложна ликвефакцији, или изузетно мека тла са великим фактором појачања сеизмичког дејства, и на том месту, уместо стамбеног или инфраструктурног (зграде, саобраћајнице првог реда), предвидели би се садржаји рекреативног и јавног садржаја (паркови, зелене површине, спортски садржаји). Такође, могуће је планирање спратности објеката према саставу тла, тј. специфичним фреквентно-амплификационим карактеристикама како би се будући објекти градили тако да њихова сопствена периода не буде у зони периода максималних појачања тла.

У случају већ делимично или потпуно изграђене средине, поред претходно наведеног, студија микрозонирања је неопходна како би се прецизно одредио сеизмички ризик одређеног подручја, идентификовала подручја са великим сеизмичким ризиком, те на основу тога разрадили планови реаговања у ванредним ситуацијама (у случају појаве пројектног земљотреса) како би се ублажио сеизмички ризик. Такође, проценило би се стање грађевинских објеката на тој територији и предложиле мере за унапређење отпорности објеката у случају земљотреса, применом структурних и неструктурних мера.

Код веома важних објеката или комплексних услова тла, детаљном сеизмичком микрорејонизацијом (највећег нивоа сложености), могуће је, поред дефинисања потенцијално динамички нестабилног терена (ликвефакција, клизиште), и прецизно одредити фреквентно амплитудне карактеристике сеизмичког дејства, као улазне параметре за пројектовање. На тај начин се дефинишу прецизни улазни подаци за прорачун на економичан начин са становишта сеизмички отпорног пројектовања.

Дакле, студије микрозонирања имају своју примену како у припремној фази тако и у фази већ изграђене средине. Корисници ових студија могу бити општине, градови, поједини органи који се баве реаговањем у ванредним ситуацијама, или пак инвеститори појединачних објеката.

Ниво 1 – основни ниво сеизмичког микрозонирања

Овај ниво је полуквалитативан и има за циљ развој референтног „сеизмички оријентисаног” геолошког модела (Pitilakis, 2001). Циљ овог нивоа студије је да се подручје истраживања подели на зоне за које се очекује да ће имати сличне ефекте у случају земљотреса, односно сеизмички хомогене микрозоне, и резултира картама у размери 1:5000 до 1:10000. Иако се на овом нивоу студије раде само квалитативне процене, овај корак је неопходан како би се рационално спровеле сложеније студије нивоа 2 и 3.

Сеизмички хомогене зоне које се одређују на овом нивоу студије класификују се у:

- (1) Стабилне зоне – у којима се не очекује било какво значајније појачање ефеката земљотреса услед састава локалног тла и/или морфологије терена.
- (2) Стабилне зоне склоне локалном појачању (амплификацији) сеизмичког дејства у којима се очекује појачање сеизмичких ефеката у фреквентном и амплитудном домену услед састава локалног тла и/или морфологије терена.
- (3) Нестабилне зоне у којима се очекује да сеизмички ефекти, поред локалног појачања, изазову и неке од трајних деформација тла, попут појаве клизишта, ликвефакције, диференцијалног слегања или активирања раседа у самој зони.

Подаци који се користе у овом нивоу студије обухватају:

- а. Пуну експлоатацију информација доступних у јавним архивама; карте у размери најмање 1:10000 (геолошке, инжењерско геолошке, геоморфолошке...), претходни истражни радови и сви подаци (бушења, геофизичких истраживања, геотехничких извештаја итд.) прикупљају се и чувају у кодификованој бази података.
- б. Геолошка истраживања усредсређена су на геотехничку карактеризацију геолошких средина у смислу инжењерско-геолошких јединица.
- в. Економична површинска геофизичка мерења, као што су микротемори.

Овим нивоом студије се, дакле, грубо диференцирају сеизмички хомогене зоне како би се одредиле пре свега зоне које карактерише ниска сеизмичка опасност (стабилне зоне) у којим није потребно даље

детаљније истраживање, односно да се на основу овог нивоа студије планирају даља детаљнија истраживања у зависности од процењених могућих ефеката. Овај ниво студије може бити користан и као почетна основа за урбанистичко планирање у случајевима ограниченог буџета.

Ниво 2 – средњи ниво сеизмичког микрозонирања

Овај ниво студије подразумева све претходне кораке у студији Нивоа 1, на основу које се идентификују зоне са највећим степеном несигурности у којима би се евентуално планирали додатни истражни радови уколико исти не постоје претходним испитивањима терена.

На нивоу ове студије најчешће се спроводе геофизичка испитивања у циљу одређивања брзине смичућих таласа слојева до најмање 30 м од површине терена. На основу тих података се поједностављеним рачунским приступима рачунају фактори повећања сеизмичког дејства, и/или комплетне спектралне криве појачања сеизмичког дејства. Затим се на карти представљају зоне са истим повећањем, тј. амплификационим фактором.

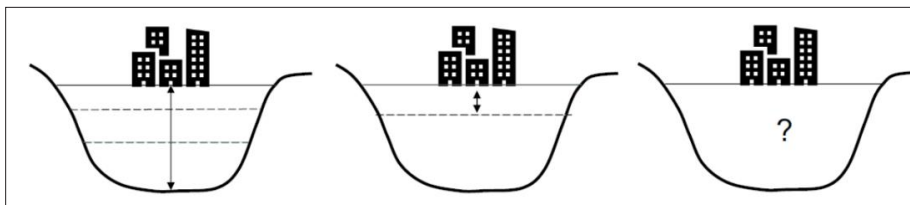
На овом нивоу сложености потребно је и нешто детаљније обрадити нестабилне зоне из нивоа 1 и то оне које су подложне динамичкој нестабилности у погледу појаве клизишта или ликвефакције. У погледу клизишта, поједностављеним нумеричким поступцима се одређују очекивана максимална померања земљане масе побуђене земљотресом. У ту сврху су неопходни подаци о геометрији терена и геомеханичким карактеристикама тла. Такође се код стеновитих терена процењује могућност појаве одрона, и поједностављеним нумеричким поступцима се рачуна максимална запремина и максимално могуће растојање транспорта материјала.

Потенцијал ликвефакције се процењује на основу претходних геотехничких истраживања, такође путем поједностављених поступака, и идентификују се и на карти наносе зоне са потенцијално ликвефабилним тлом (у овој фази је на основу расположивости истражних радова могуће и поделити ризик од појаве ликвефакције на мали, средњи и велики). Детаљи се могу наћи у литератури (Рока, 2008).

Ниво 3 – детаљно сеизмичко микроразонирање

Овај ниво сеизмичког микроразонирања представља најдетаљнију процену сеизмичког дејства на локацији и користи се како за стабилне зоне склоне локалном појачању у којима комплексна геолошка средина не оправдава употребу поједностављених поступака који су се користили у нивоу 2, или у случајевима посебно важних објеката у овој средини код којих је потребно прецизније одредити амплификационе факторе и спектралну криву.

На пример, на локацијама где постоје робусне морфологије или су откривене значајне бочне варијације у сеизмичкој импеданси слојева (Слика 2). У овим случајевима једнодимензионална анализа најчешће не даје довољно поуздане резултате и понекад је потребно напредно нумеричко моделовање које обухвата и 2Д или 3Д моделе терена. Међутим, да би се применили ови поступци морају се претходно извршити детаљна геофизичка истраживања (нпр. ради идентификације бочних хетерогености брзине смичућих таласа Vs).



Слика 2. Геодинамички модел терена оптимални (лево), адекватни (у средини), уобичајени (десно)

Такође, у случају комплексне геолошке средине потребно је прецизнијим нумеричким поступцима одредити потенцијалну динамичку нестабилност у виду појаве клизишта или ликвефакције. То подразумева и извођење додатних бушотина и лабораторијска испитивања на непоремећеним узорцима тла, заједно са специфичним и детаљним геолошким и структурним истраживањима. Овако напредан приступ повећава трошкове, што и ограничава његову широку примену, стога се примењује на ограничена подручја и посебне аспекте (нпр. објекти велике важности или објекти у сложеној геолошкој средини), а што се претходно одређује студијама Нивоа 1 и 2.

Закључак

Бенефити спровођења сеизмичког микрозонирања на нивоу локалних самоуправа су велики. Ови подаци представљају недостајући део слагалице при анализи сеизмичког ризика појединачних објеката и насеља. Без ових података немогуће је дати прецизна упутства и мере за смањење сеизмичког ризика који за циљ има отпорност грађевинских и инфраструктурних објеката.

Нове технологије омогућују да се хазарди и ризици прецизније мапирају, подаци деле, а све у корист мултихазард приступа у дефинисању и процењивању ризика, као и у даљој примени превентивних мера на локалном нивоу. Регистар ризика од катастрофа као новоформирана платформа у Геопорталу Србије – и званична база података природних опасности и ризика, идеално је место да се резултати свих досадашњих и будућих појединачних истраживања и анализа везано за сеизмичку микрорејонизацију обједине, хармонизују и систематично анализирају и укрсте са геопросторним подацима о другим природним хазардима.

Сеизмичко микрозонирање се недовољно спроводи у нашој пракси, док би користи биле велике, имајући у виду сложену геолошку структуру Републике Србије, почев од индивидуалних објеката који би могли да се граде на сеизмички отпоран економичан начин, до ширих подручја микрозонирања чији би корисници били градови, општине, локалне средине, па и индивидуални корисници, где би се, поред пројектовања, урбанистичког планирања, подаци сеизмичког микрозонирања могли користити и за смањење сеизмичког ризика.

ЛИТЕРАТУРА

- Ansell, C., Boin, R. A. & Keller, A. (2010). Managing Transboundary Crises: Identifying Building Blocks of an Effective Response System. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 18(4), 205–17.
- DRM World Institute for Disaster Risk Management (2004). Republic of Turkey, Ministry of Public Works and Settlement. General Directorate of Disaster Affairs, Seismic Microzonation for Municipalities.
- Manual Guidelines for seismic microzonation (2015). Presidency of the Council of Ministers of the Italian Republic Civil Protection Department.

- Žugić, Ž. (2021). Site specific ground motion earthquake response study of Canadian residence in Belgrade at Užicka street no 33. Geomehanika doo, Belgrade.
- Administrativno uputstvo o mikrozoniranju i posebnim studijama seizmičkog hazarda. API Kosovo; <https://konsultimet.rks-gov.net/Storage/Consultations/40625-UpdAl.pdf>
- Yamin, L. E., Reyes, J. C., Rueda, R., Prada, E., Rincon, R., Herrera, C., Daza, J., Riaño, A. C. (2018). Practical seismic microzonation in complex geological environments. *Soil Dyn. and Earth.Eng.*, 114, 480–494. Elsevier. DOI: 10.1016/J.SOILDYN.2018.07.030
- ISSMGE (1999). Manual for zonation on seismic geotechnical hazards. The Japanese Geotechnical Study, ISSMGE, 209.
- Roca, A., Oliveira, C. S., Ansal, A. and Figueras, S. (2008). Local site effects and microzonation. In edited by Oliveira, C. S., Roca, A. and Goula, X., *Assessing and Managing Earthquake Risk*, Springer, 67–89.
- Pitilakis, K. (2004). Site effects. In edited by Ansal, A., *Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation*, Kluwer Academic Publishers, 139–197.

**SEISMIC MICROZONING AS A BASIS FOR
“LOWERING” SEISMIC RISK ANALYSIS TO THE
LEVEL OF LOCAL SELF-GOVERNMENT**

Dr Željko Žugić, Project Coordinator
Government of Republic of Serbia, Public Investment Management Office

MA Dejan Dragojević, PhD Student
*Ss. Cyril and Methodius University, Institute of Earthquake
Engineering and Engineering Seismology, North Macedonia*

MA Sandra Nedeljković, Deputy Director
Government of Republic of Serbia, Public Investment Management Office

Summary

Analyzes of seismic hazard and seismic risk in the Republic of Serbia are mostly handled by national institutions, while seismic microzoning is neglected in most cases even though it is an important element in those analyses. The work will deal with problems in the division of responsibilities and tasks in this area, as well as the importance of the work itself, which results in the resilience of infrastructure and society in general when natural disasters are involved. The paper presents different types-levels of seismic microzoning and explains the benefits of their application when planning and designing construction facilities and infrastructure, and above all “lowering” the assessment of seismic and geological risk to the level of local self-government. The importance of carrying out field investigative geological and geophysical works was emphasized both for the needs of a more precise analysis of the seismic risk at a specific micro location, and from the aspect of geological risks that must be taken into account when conducting a detailed seismic microzonization. Through concrete examples, all the effects that end users such as cities, municipalities and individual users can have from seismic microzoning are explained. Also, it was shown how new technologies can help to map hazards and risks, share data, and all in favor of a multi-hazard approach in defining and assessing risks, as well as in the further application of preventive measures.

Keywords: *seismic hazard, seismic risk, micro zoning, geological risks, Register of disaster risks.*