

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
АРХИТЕКТОНСКИ ФАКУЛТЕТ

Дејан Васовић

МОДЕЛОВАЊЕ ПОНАШАЊА
АРХИТЕКТОНСКИХ ОБЈЕКТА УСЛЕД
ПОТРЕСА ОД МИНИРАЊА НА
ПОВРШИНСКИМ КОПОВИМА

Докторска дисертација

Београд 2016.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ARCHITECTURE

Dejan Vasović

MODELLING OF RESPONSE OF
ARCHITECTURAL OBJECTS UNDER
THE IMPACT OF BLAST INDUCED
VIBRATIONS IN OPEN PITS

Doctoral Dissertation

Belgrade 2016.

Ментор:

Проф. др Милан Глишић, дипл. инж. арх., редовни професор у пензији, Архитектонски факултет Универзитета у Београду

Чланови комисије за оцену завршене докторске дисертације:

1. **Проф. др Драгослав Шумарац**, дипл. инж. грађ., редовни професор Грађевинског факултета Универзитета у Београду
2. **Доц. др Ружа Окрајнов Бајић**, дипл. инж. грађ., доцент Архитектонског факултета Универзитета у Београду
3. **Доц. др Селимир Леловић**, дипл. инж. грађ., доцент Грађевинског факултета Универзитета у Београду
4. **Др Срђан Костић**, дипл. инж. геол., научни сарадник, Институт за водопривреду "Јарослав Черни", Београд

Датум одбране:

____.____. 2016.

МОДЕЛОВАЊЕ ПОНАШАЊА АРХИТЕКТОНСКИХ ОБЈЕКТА УСЛЕД ПОТРЕСА ОД МИНИРАЊА НА ПОВРШИНСКИМ КОПОВИМА

РЕЗИМЕ

У овој дисертацији су изучавани померање тла и натпритисак ваздушног удара који су проузроковани минирањем, као и њихови утицаји на околне објекте (куће, домаћинства), у површинским коповима кречњачког каменог агрегата. Кречњак је одабран као репрезентативна стена за испитивање вибрација тла, будући да је то најраспрострањенији тип стене у Србији и да се најчешће користи у грађевинске сврхе. Такође, на кречњаку је урађено много експерименталних истраживања потреса проузрокованих минирањем. Приликом извођења редовних радова на минирању у каменоломима кречњака мерене су брзине осциловања тла у близини околних објеката. Утицаји потреса изазваних минирањем, у складу са постојећом законском регулативом и инжењерском праксом, процењени су коришћењем конвенционалних предиктора. Тачност (поузданост) предвиђања коришћењем конвенционалних предиктора процењена је у односу на забележену максималну брзину осциловања тла.

Као резултат истраживања предложен је нови модел за процену утицаја коришћењем вештачких неуронских мрежа са три главне улазне јединице (укупно експлозивно пуњење, максимално пуњење по интервалу успорења паљења експлозива и растојање од места минирања до мерног места), са једним скривеним слојем и једним излазом (максималном брзином осциловања тла). Утицај на постојеће објекте процењен је поређењем максималних брзина осциловања са вредностима дефинисаним постојећим вибрационим стандардима.

Ради детаљније процене стварних утицаја потреса изазваних минирањем на околне куће извршена је нумеричка анализа напрезања и деформација у елементима конструкције ових објеката. Овај поступак представља нестандартну методу у анализи утицаја од минирања на архитектонске објекте. Понашање околних објеката под дејством потреса од минирања моделовано је методом коначних елемената коришћењем академских и комерцијалних софтверских пакета. Регистровани временски записи искоришћени су за директну динамичку

анализу објеката у околини места минирања. Резултати добијени овим поступком показују који су елементи најоптерећенији и на којим местима се могу очекивати појаве првих оштећења. Та места, као места појаве првих потенцијалних оштећења, морају бити предмет посебне пажње током извођења минирања. Резултати анализе околних објеката показали су да су напрезања и деформације од изведених минирања знатно мања од дозвољених, што је и очекивано за минирања изведена према важећим стандардима.

Са циљем да се утврди утицај потреса од минирања на типске архитектонске објекте извршена је анализа неколико карактеристичних типова зиданих и армиранобетонских објеката коришћењем регистрованих временских записа. Резултати су показали да су напрезања и деформације анализираних типова објеката, за утицаје регистроване на мерним местима, мањи од дозвољених. Додатном анализом утврђена су растојања и количине експлозива који могу да изазову оштећења. На тај начин, применом овог поступка, могуће је утврдити безбедна растојања од места минирања, а за различите типове архитектонских објеката.

Кључне речи: архитектонски објекти, минирање, максималне брзине осциловања тла (PPV), вештачке неуронске мреже (ANN), динамичка анализа конструкција.

Научна област: Архитектура и урбанизам

Ужа научна област: Архитектонске технологије

УДК број: 622.235:69.05(043.3)

MODELLING OF RESPONSE OF ARCHITECTURAL OBJECTS UNDER THE IMPACT OF BLAST INDUCED VIBRATIONS IN OPEN PITS

ABSTRACT

In the present dissertation analyses of the ground motion and air-blast overpressure induced by blasting, as well as their effects on neighbouring buildings (houses, households), in limestone quarries is given. Limestone is chosen as a representative rock unit for investigating the ground vibration because it is the most common rock type in Serbian quarries, and limestone is mostly used rock type for civil engineering purposes. Moreover, there have been many experimental investigations carried out on blast-induced vibrations in limestone. Peak particle velocity near neighbouring structures was measured during ordinary blasting operations in limestone quarries. The effects of blast-induced ground motion were evaluated by conventional predictors, in accordance with legal regulations and engineering practice. Their predictive power was estimated in relation to peak particle velocity.

A new artificial neural network model for the prediction of blast impact on building was introduced with three input units (total charge, maximum charge per delay and distance from explosive charge to monitoring point), with one hidden layer and one output unit (peak particle velocity). Effects on existing architectural buildings were estimated by comparing peak particle velocities with values defined by existing vibration standards.

In order to more precisely evaluate real effects blast-induced ground motion on neighbouring buildings, a numerical stress – strain analysis of structural elements was carried out. This procedure is a non-standard method in analysis of the impact of blasting on surrounding objects. Surrounding buildings were modelled with finite element method using academic and commercial software packages. Measured time recordings were used for the direct dynamics analysis. The obtained results indicate which elements are the most loaded and on which points damages can be expected to occur first. The results of calculations show that blasting performed in accordance with positive vibration standards cause far less stresses and strains than allowed thus avoiding damages on buildings.

In order to determine the effects of blast-induced ground motion on type architectural objects, an analysis was performed on several characteristic types of brick and reinforced concrete buildings using measured time recordings. The results show that stresses and strains of the analysed types of objects are lesser than allowed for impacts registered on the measuring points. Distances and explosive quantities, that do not exceed allowed stresses of the analysed object, were calculated using conventional predictors and the given procedure. In that way, by applying this non-standard method, it is possible to determine safe distances from blasting points for chosen authoritative criteria, and for different types of architectural buildings.

Key words: architectural buildings, blasting, peak particle velocity (PPV), artificial, neural network (ANN), dynamic analysis of structures.

Scientific field: Architecture and Urbanism

Narrow scientific field: Architectural Technologies

UDC: 622.235:69.05(043.3)

САДРЖАЈ

1. УВОД.....	1
1.1. ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА	3
1.2. ЦИЉЕВИ ИСТРАЖИВАЊА	4
1.3. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА	4
2. УТИЦАЈИ ПОТРЕСА ОД МИНИРАЊА НА ОБЈЕКТЕ.....	6
2.1. ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ МИНИРАЊА И УТИЦАЈ НА ОКОЛИНУ	6
2.2. ПРЕГЛЕД ПРЕТХОДНИХ ИСТРАЖИВАЊА УТИЦАЈА ПОТРЕСА ИЗАЗВАНИХ МИНИРАЊЕМ НА АРХИТЕКТОНСКЕ ОБЈЕКТЕ	10
2.3. ПРИКАЗ СТАНДАРДА И ПРЕПОРУКА КОЈИ ДЕФИНИШУ УТИЦАЈЕ ПОТРЕСА ОД МИНИРАЊА НА АРХИТЕКТОНСКЕ ОБЈЕКТЕ.....	21
3. ПРИМЕНА ВЕШТАЧКИХ НЕУРОНСКИХ МРЕЖА ЗА ПРЕДИКЦИЈУ МАКСИМАЛНИХ БРЗИНА ОСЦИЛОВАЊА ТЛА (РРV) И УТИЦАЈА НА АРХИТЕКТОНСКЕ ОБЈЕКТЕ.....	36
3.1. МИНИРАЊЕ И МЕРЕЊА НА ТЕРЕНУ	39
3.2. АНАЛИЗА ВИБРАЦИЈЕ ТЛА ИЗАЗВАНОГ МИНИРАЊЕМ: ПРЕДВИЋАЊЕ МАКСИМАЛНЕ БРЗИНЕ ОСЦИЛОВАЊА ТЛА КОРИШЋЕЊЕМ КОНВЕНЦИОНАЛНИХ ЈЕДНАЧИНА	42
3.3. ПРЕДВИЋАЊЕ МАКСИМАЛНЕ БРЗИНА ОСЦИЛОВАЊА ТЛА КОРИШЋЕЊЕМ ВЕШТАЧКЕ НЕУРОНСКЕ МРЕЖЕ.....	45
3.4. УТИЦАЈ МИНИРАЊА НА СУСЕДНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ: ПРОЦЕНА ПОТЕНЦИЈАЛНИХ ОШТЕЋЕЊА НА ОСНОВУ МАКСИМАЛНЕ БРЗИНЕ ОСЦИЛОВАЊА ТЛА И ФРЕКВЕНЦИЈЕ.....	50
3.5. УТИЦАЈИ НАТПРИТИСКА ВАЗДУШНОГ УДАРА	55
4. МОДЕЛОВАЊЕ И ДИНАМИЧКА АНАЛИЗА УТИЦАЈА ПОТРЕСА ОД МИНИРАЊА НА ОКОЛНЕ АРХИТЕКТОНСКЕ ОБЈЕКТЕ.....	58
4.1. ДИНАМИЧКА АНАЛИЗА ПОСТОЈЕЋИХ АРХИТЕКТОНСКИХ ОБЈЕКТА ПОД УТИЦАЈЕМ ПОТРЕСА ОД МИНИРАЊА	64
4.1.1. Кућа на мерном месту 5	64
4.1.2. Кућа на мерном месту 6	73
4.1.3. Кућа број 1 на мерном месту 3	80
4.1.4. Кућа на спрат број 2 на мерном месту 3.....	88

4.1.5. Помоћни објект број 3 на мерном месту 3	94
4.1.6. Црква у Бољковцима	104
5. МОДЕЛОВАЊЕ И ДИНАМИЧКА АНАЛИЗА УТИЦАЈА ПОТРЕСА ОД МИНИРАЊА НА РАЗНЕ ТИПОВЕ АРХИТЕКТОНСКИХ ОБЈЕКТА. 110	
5.1. Зидане конструкције.....	112
5.1.1. Зидане конструкције без серклажа.....	114
5.1.2. Зидане конструкције са серклажима.....	116
5.2. Армиранобетонске рамовске конструкције.....	118
5.3. Армиранобетонске рамовске конструкције са језгром	123
5.4. Армиранобетонске рамовске конструкције са носећим зидовима и језгром	128
5.5. Армиранобетонске конструкције са носећим зидовима	133
6. ЗАКЉУЧАК.....	141
ДОДАТАК: ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ПРИМЕЊЕНИХ НЕУРОНСКИХ МРЕЖА	145
ПРИЛОГ 1: УЛАЗНИ ПОДАЦИ ЗА МОДЕЛОВАЊЕ И ПРОРАЧУН ТИПСКИХ АРХИТЕКТОНСКИХ ОБЈЕКТА	150
СПИСАК КОРИШЋЕНЕ ЛИТЕРАТУРЕ И ДОКУМЕНТАЦИЈЕ	155
БИОГРАФИЈА.....	163
ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ	
ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ ДОКТОРСКОГ РАДА	
ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ	

1. УВОД

Вибрације тла изазаване минирањем представљају један од потенцијалних негативних ефеката површинске експлоатације минералних сировина и геолошких грађевинских материјала. У зависности од нивоа напрезања које проузрокује кретање таласа кроз тло, на конструкцијама околних архитектонских објеката могу се појавити оштећења проузрокована динамичким напрезањима која превазилазе чврстоћу грађевинског материјала. Архитектонски објекти представљају оне зграде које претежно користе људи у својим свакодневним активностима - стамбене и пословне зграде, хотели, болнице, простори за окупљање великог броја људи (позоришта, спортске дворане, биоскопи, тржнице и тржни центри). Стога је неопходно да се ниво вибрација тла услед дејства минирања који делује на објекте може предвидети, пратити и контролисати. Контрола вибрација при минирању уобичајено укључује израду пројекта минирања на основу ограничења датих прописима, благовремено обавештавање јавности и најаву планираних радова, инспекцијске прегледе објеката пре минирања и формирање документације о њиховом стању, мерење брзина и убрзања током извођења радова на минирању, као и инспекцијски преглед објеката после обављених минирања и документовање евентуалних промена.

Потреси и вибрације тла представљају таласно кретање које се шири од центра, места минирања, ка околном простору. Пролазећи кроз површинске слојеве тла ови таласи изазивају и осциловање објеката на површини. Уколико се фреквенција осциловања тла поклопи са сопственом фреквенцијом осциловања објеката на површини, амплитуда осциловања објеката може значајно превазићи амплитуду осциловања тла и довести до значајних оштећења.

За процену утицаја минирања на објекте, као и за оцену оштећења од минирања, најчешће се користи фреквенција осциловања и максимална брзина осциловања тла (PPV)¹. Одговор конструкције било ког објекта зависи од фреквенције осциловања тла. На осциловање тла утичу бројни параметри као што су: физичко-механичка својства стенских маса кроз које се осциловање преноси, карактеристике примењеног експлозива и начин минирања. Веома је важно знати

¹ PPV је акроним од peak particle velocity (енгл.)

утицаје ових параметара на ефекте минирања како би се на најбољи начин искористило што више енергије изазване експлозијом на користан рад на одвајању и ситњењу стенске масе, а што мање енергије утрошило на нежељене последице изазване прекомерним вибрацијама тла или одлетелим коадима стене. Параметри минирања као што су максимална количина експлозива по интервалу, начин паљења експлозива, пречник, распоред и размак бушотина, дужина експлозивног пуњења, значајно мењају дисперзију енергије минирања. Карактеристике стенске масе често се разликују од места до места на самом површинском копу, а понекад и на самом пољу које се минира. Стога се параметри минирања и карактеристике експлозива морају оптимизовати у складу са карактеристикама стенске масе, као што су чврстоћа, густина, порозност, брзина простирања таласа, отпорност, односа напон-деформација, испуцалост и распаднутост стенске масе.

Померања тла услед минирања обично се описују емпиријским формулама којима се процењују максималне брзине осциловања тла у зависности од редукованог растојања, као релације између количине употребљеног експлозива и растојања места опажања од места минирања. Неопходно је нагласити да су конвенционални предиктори од великог значаја у инжењерској пракси јер омогућавају дефинисање закона промене брзине осциловања тла у функцији редукованог растојања. Међутим, треба истаћи чињеницу да се поменути предиктори развијају за појединачне локације, и врло често могу дати непоуздане резултате, нарочито ако се примењују у срединама са различитим физичко-механичким и структурно-тектонским карактеристикама стенских маса од оних за које су ове формуле развијене.

У погледу утицаја потреса од минирања на архитектонске објекте, поједине земље су донеле сопствене националне стандарде на бази бројних и вишегодишњих мерења ефеката минирања, како за потребе напредовања радова током подземне експлоатације, тако и на површинским коповима. Сви ови стандарди дају граничне вредности максималне брзине осциловања тла које одређена категорија објекта може да поднесе без оштећења [Singh, Roy 2010], али разликују само неколико општих типова објеката (нпр. према немачком стандарду објекти су подељени у три групе: објекти за занатство и индустрију, стамбене зграде, посебно осетљиви и заштићени објекти, а за три фреквентна опсега: < 10 , $10 - 50$ и $50 - 100$ Hz, те за

једно до два минирања дневно). Неопходно је нагласити да у нашој земљи не постоји дефинисан национални стандард за процену оштећења објеката услед потреса од минирања, већ се у пракси најчешће примењују совјетски, немачки и амерички критеријуми. Са становишта инжењерске праксе ови стандарди дају резултате задовољавајуће тачности. Међутим, са теоријског и практичног становишта, тачност резултата се може повећати уколико се узму у обзир врсте конструкција објеката и материјали од којих су саграђени.

Према појединим ауторима [Wu, Hao 2005], иако је уобичајено коришћење максималне дозвољене брзине осциловања тла (саме или у комбинацији са периодом осциловања тла) за процену понашања конструкција објеката, ови критеријуми обезбеђују само смернице за пројектовање минирања. Постоје бројна супротстављена мишљења око тога која ће гранична вредност максималне брзине осциловања тла изазвати оштећење. Разлог томе је што оштећења конструкција не зависе само од амплитуде померања тла, већ и од самих својстава конструкције објеката као што су тип и стање конструкције, својства коришћених материјала и динамичке карактеристике конструктивног склопа.

1.1. Предмет истраживања

Предмет истраживања докторске дисертације представља анализа утицаја потреса изазваних извођењем минирања у површинским коповима на околне објекте. Прецизније, разматраће се регистроване временске серије брзина и убрзања осциловања тла током потреса услед минирања на примеру каменолома кречњака. За анализу регистрованих временских серија користе се постојећи конвенционални предиктори, док се њихова тачности предвиђања процењује у односу на забележену максималну брзину осциловања тла (PPV). На основу ове анализе предложен је нови модел за процену максималне брзине осциловања тла кроз примену вештачких неуронских мрежа (ANN). Поређењем конвенционалних предиктора и новог модела проверена је могућност примене вештачких неуронских мрежа за предвиђање утицаја потреса од минирања на објекте.

Анализиране временске серије коришћене су за анализу напона и деформација више различитих типова архитектонских објеката у непосредном окружењу. Динамичко понашање архитектонских објеката под утицајем потреса

услед минирања за измерене временске серије, моделовано је комерцијалним софтверским пакетом „TOWER 7“. На основу извршених анализа максималних брзина осциловања тла, прорачунатих вредности напона и деформација у околним објектима добијеним на одговарајућим моделима конструкција објеката, дата је процена могућих оштећења услед дејства минирања, за различите типове конструкција околних архитектонских објеката.

1.2. Циљеви истраживања

Циљ истраживања предвиђеног у оквиру ове докторске дисертације је дефинисање понашања архитектонских објеката под утицајем потреса услед минирања, путем директног увођења временских серија брзина и убрзања осциловања тла у динамичку анализу. Према важећим прописима и стандардима, максималне брзине осциловања тла представљају једину меру утицаја на објекте изложене утицајима од минирања. Такав поступак даје веома неодређене и конзервативне процене утицаја и могућих оштећења на објектима. Циљ овог истраживања је да покаже да се максимална брзина осциловања тла може тачније предвидети моделима базираним на вештачким неуронским мрежама. Коришћење лимитираних вредности брзина осциловања тла за процену могућих оштећења објеката није одговарајуће јер се не постиже потребна прецизност у одређивању места и интензитета оштећења. Такође, циљ је и да се применом динамичке анализе извршене на моделима стварних објеката, а за измерене временске серије потреса, одреди могућност појаве оштећења. Предложени поступак предвиђа ширу анализу утицаја потреса од минирања на објекте у односу на конвенционални приступ који се заснива на коришћењу вибрационих стандарда. Као резултат истраживања очекују се нова сазнања у вези са стањем напрезања и деформација различитих типова конструкција архитектонских објеката услед дејства потреса од минирања.

1.3. Методологија истраживања

За моделовање и испитивање понашања архитектонских објеката изложених дејству потреса насталих минирањем на површинским коповима, коришћене су аналитичке и нумеричке математичке методе. За анализу су коришћене временске серије брзина осциловања тла регистроване на површинском копу Дреновац.

У првом делу рада анализирани су резултати досадашњих испитивања. Извршена је нумеричка анализа временских серија брзина осциловања тла помоћу конвенционалних предиктора и применом вештачких неуронских мрежа.

Регистроване временске серије су коришћене за моделовање утицаја минирања на архитектонске објекте применом програма за анализу конструкција методом коначних елемената. За оцену стања и поређење са важећим стандардима коришћене су методе регресионе и корелационе анализе.

2. УТИЦАЈИ ПОТРЕСА ОД МИНИРАЊА НА ОБЈЕКТЕ

Минирање је уобичајена и широко распрострањена техника за напредовање радова и експлоатацију минералних сировина за различите потребе (изградња објеката инфраструктуре – тунела, пропуста, путева, брана) где се енергијом ослобођеном услед детонације експлозива разара стенска маса. Овај поступак, обично примењиван у површинској или подземној експлоатацији, често изазива потресе, померања тла и ваздушни притисак који превазилазе дозвољене вредности и утичу на околне објекте.

Само део енергије експлозива искористи се за дробљење и одбацивање стенске масе, док се преостала енергија троши на нежељене вибрације и осциловање тла, разлетање комада стена, нежељене пукотине у тлу и сл.

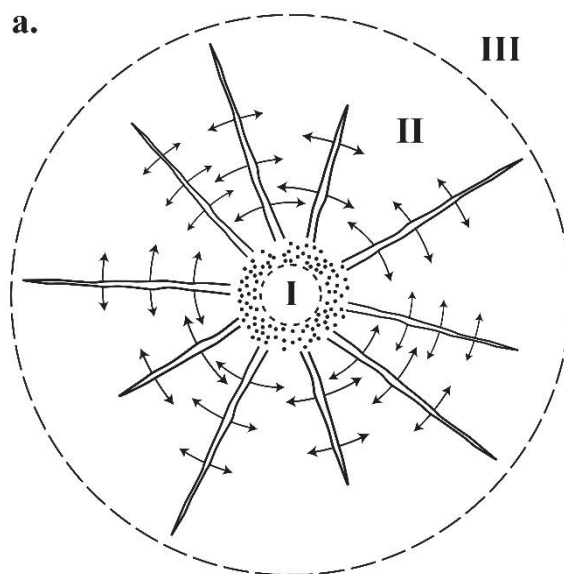
Вибрације тла услед дејства минирања спадају у нежељене ефекте минирања. Анализирање одговора и степена оштећења постојећих конструкција услед дејства минирања много је сложеније него пројектовање и конструисање објеката отпорних на њихово дејство.

2.1. Основне карактеристике минирања и утицај на околину

Минирање представља технички поступак којим се енергијом ослобођеном детонацијом експлозива уситњавају стенске масе у рудницима, површинским коповима, ископима и при изградњи објеката. Експлозиви представљају значајан извор енергије за разарање и одвајање стенских маса. При детонирању експлозива ослобађа се велика количина енергије у виду притиска (и до 50 GPa) и температуре (до 5000 K). Иако је технологија израде експлозива значајно напредовала, његова примена се разликује у зависности од различитих параметара стенске масе и околних објеката. Према неким изворима [Трајковић и др. 2005, Kuzu 2008] само 20-30% енергије експлозије делује на уситњавање минираних стена, док се преостали део пренесе на тло и окружење.

Брзим разлагањем масе експлозива ствара се огромна количина гасова под високим притиском. Ослобођени гасови врше притисак на зидове бушотине стварајући снажан ударни талас. Приликом простирања ударног таласа кроз чврсту

стенску масу, производи се притисак на стену који је већи од њене чврстоће, што доводи до прекорачења чврстоће стене и њеног лома. Приликом дејства експлозива у хомогеној стенској маси, у неограниченим условима, могу се разликовати три зоне: зона мрвљења (I), зона разарања (II) и зона потресања (III), како приказује Слика 1 [Трајковић и др. 2005].



Слика 1: Дејство експлозива у стенској маси у неограниченим условима [Трајковић и др. 2005, прилагођено]

Приликом минирања на површинским коповима, минске бушотине су на прорачунатом одстојању од ивице копа, тако да ослобођени гасови одбацују издробљену стену ка слободној ивици. На супротној страни, ка унутрашњости стенске масе, после зоне разарања ослабљена енергија експлозије преноси се кроз тло у области еластичних деформација, у виду таласа. Ова енергија нема снагу да настави са разарењем средине, али може нанети штету околним објектима.

Истовременим детонирањем више бушотина ослобађа се велика енергија и потенцијална оштећења су већа. У циљу повећања ефикасности минирања развијене су технике са интервалима успорења. Овом техником се пројектује одложено активирање експлозивних пуњења у бушотинама (са успорењем), тако да се утицај сукцесивних потреса делимично поништава уместо да се сабира као што је то случај при истовременој детонацији.

Предности минирања са интервалима успорења су вишеструке. Не само да се смањује интензитет потреса због узајамног поништавања осцилујућег дејства, већ се и побољшава дробљење стене и одбацивање стенске масе. Због свих својих предности, ова техника минирање је преовлађујућа.

Брзина простирања таласа услед минирања зависи од густине и еластичности средине кроз коју се простиру. Такође, простирање таласа изазаваних минирањем може бити веома сложено уколико је средина хетерогена. У ретким случајевима, у посебно неповољним срединама, може доћи до резонанације или рефлексије унутар средине кроз коју се таласи простиру, па се потреси могу пренети и на велике удаљености.

Због недовољног познавања средине, при одређивању параметара минирања све различитости које зависе од врсте средине кроз коју се потреси преносе, називају се карактеристикама тла и одређују се мерењима при пробним минирањима.

Најважније карактеристике потреса услед минирања су интензитет, фреквенција и трајање. Интензитет, који се најчешће приказује као убрзање, брзина осциловања или померање тла, пре свега зависи од количине употребљеног експлозива, од параметара радова минирања: пречника и дужине бушотина, дужина експлозивног пуњења, зачепљења, као и од карактеристика пригушења тла. Фреквенција осциловања тла услед минирања веома је важна при одређивању могућих оштећења околних објеката. Уколико је блиска сопственим фреквенцијама осциловања објеката или њихових делова, може изазвати дуготрајне осцилације и вишеструко повећати свој утицај. Обично су фреквенције осциловања тла услед минирања на блиским удаљењима од бушотине око 60 – 100 Hz, док са повећањем удаљења опадају те на дистанцама преко 100 m, обично су око 15 – 30 Hz. Фреквенције испод 20 – 25 Hz, према већини истраживања, могу изазвати осциловање преградних зидова и фасадне столарије, и вишеструко повећати њихова померања у односу на забележена померања тла (и по неколико пута). Фреквенције испод 10 Hz нарочито су опасне по конструкције објеката, и могу изазвати велика померања и знатна напрезања у елементима конструкције.

Да би се ограничила могућа оштећења околних објеката донети су бројни стандарди и препоруке за минирање. Првобитно су се односили само на ограничавање максималне брзине осциловања тла, али је данас уобичајено да се ограничења постављају за максималну брзину осциловања тла и за одговарајућу преовлађујућу фреквенцију.

2.2. Преглед претходних истраживања утицаја потреса изазваних минарањем на архитектонске објекте

Још од самих почетака, паралелно са интензивном применом експлозива на површинским коповима, појавили су се и бројни пратећи негативни ефекти минарања. И док се последице минарања у рудницима са подземном експлоатацијом теже могу довести у везу са евентуалним оштећењима на зградама, површински копови, који приликом минарања могу да производе драматичне ефекте – велике количине прашине, буке и вибрација, нарочито су погодни да буду означени као „дежурни кривци“ за све видљиве дефекте на објектима у близини. Да би се ограничили негативни ефекти примене експлозива на површинским коповима, бројни истраживачи су испитивали утицаје ефеката минарања на објекте. У овом поглављу приказани су резултати важнијих истраживања која су битно утицала на усвајање стандарда за ограничавање утицаја потреса – вибрационих стандарда.

Истраживања Бироа за рударство Сједињених Америчких Држава (United States Bureau of Mines – USBM), Билтен 656 из 1971. године

Биро за рударство Сједињених Америчких Држава основан је 1910. године, три године после две највеће трагедије у рудницима САД, са намером да се коришћење експлозива учини безбедним. Биро је прикупљао податке о минарањима још од тридесетих година прошлог века. После Другог светског рата, повећање популације, урбанизације, развој ободних насеља око великих градова и предграђа, као и истовремене растуће потребе за инфраструктуром и грађевинским материјалом, довеле су и до приближавања површинских копова и људских насеља. То је за последицу имало знатан пораст броја притужби на минарања у површинским коповима, и потребе да се федерална држава и локалне управе ангажују на дефинисању границе између интереса грађана да заштите своју имовину са једне, и интереса власника рудника да економично и профитабилно послују, са друге стране. Биро за рударство САД је 1959. године окупио велики број истраживача из индустрије и образовних институција, представника оператера на коповима, и започео десетогодишње истраживање са циљем да се утврде поуздани критеријуми оштећења објеката. Циљ истраживања био је да се утврди однос

између интензитета потреса тла и оштећења на конструкцијама, и правила простирања површинских вибрација која би се могла користити за предвиђање интензитета потреса и количине коришћеног експлозивног пуњења, удаљења од места експлозије до мерног места и друге променљиве величине које имају доминантни утицај на интензитет и врсту осциловања тла (нпр. тип коришћеног експлозива, начин паљења, структурно-тектонске и физичко-механичке карактеристике стенске масе, смер дејства и сл.).

Први резултати њиховог истраживања приказани су Истраживачком извештају бр. 5968. [Duvall and Fogelson, 1962]. У овом извештају је предложена ревизија критеријума за процену оштећења стамбених зграда од утицаја минирања. На основу до тада спроведених мерења и опажања, препоручена је граница од 51 mm/s као максимална дозвољена брзина осциловања тла која неће довести до оштећења стамбених објеката.

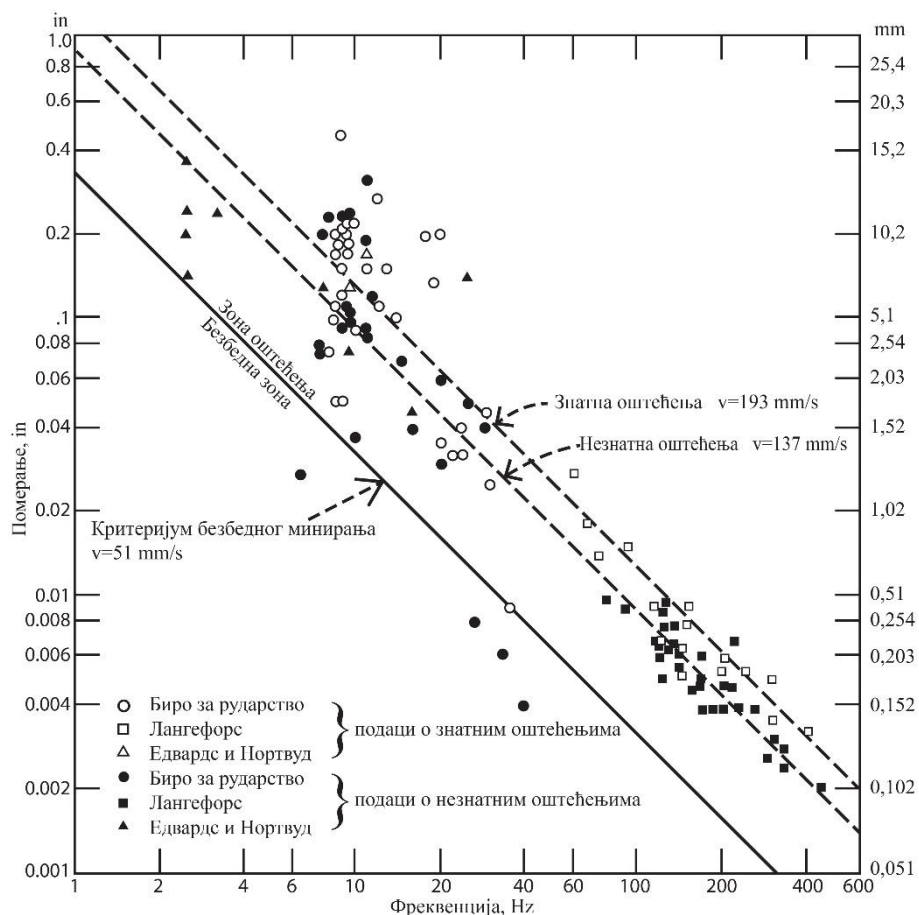
Резултати свих истраживања приказани су у Билтену 656. [Nicholls et al. 1971], и по први пут су систематизовали дотадашње резултате о утицају ефеката минирања на околне објекте. Истраживањем је обухваћено и испитивање постојеће, као и развој нове опреме за прикупљање података о утицају минирања на померања, брзину и убрзање тла. Поређена је ефикасност и поузданост различитих типова уређаја за мерење и њихова применљивост у теренским условима. Ради утврђивања интензитета ваздушног удара изазваног минирањем, по први пут је, на основу војних искустава, уведено мерење ваздушног притиска помоћу микрофона. Претходним истраживањима Бироа, на основу стотина тестова у десетинама различитих зграда, оштећења на објектима била су класификована у три основне групе:

- велика оштећења (отпадање малтера, озбиљне пукотине у малтеру, индикација на могућа оштећења конструкције),
- мала оштећења (фине прслине у малтеру, проширење постојећих прслина и пукотина)
- без оштећења.

Примећено је такође да оштећења моги бити слична и зависити и од стања објеката, старости, слегања и изложености атмосферским утицајима. Границе

између наведених група и интензитета оштећења нису биле стриктне. Као мера интензитета оштећења узето је убрзање - за убрзања мања од 0,1 g, не очекују се никаква оштећења; за убрзања од 0,1 g до 1,0 g очекују су мања оштећења, док се за убрзања преко 1,0 g очекују већа оштећења. Међутим, ове предложене мере за оштећења објеката нису одговарале каснијим истраживањима. Примећено је да ове границе дају контрадикторне резултате, јер су се велика оштећења могла боље описати брзином осциловања тла, док су мања оштећења боље одговарала убрзањима. Детаљном анализом добијених података и регистрованих оштећења, предложено је да се веза између померања и фреквенције осциловања може најбоље описати линеарном опадајућом функцијом, што је и довело до предлога да се, као мера за ограничавање утицаја на објекте и спречавање оштећења зграда од потреса и вибрација изазваних минирањем, предложи брзина осциловања тла. На основу уочених и систематизованих оштећења, дат је предлог за максималне вредности регистроване брзине осциловања тла (Слика 2). Како се граница између малих и великих оштећења није могла прецизно повући, предложено је да се дефинишу само две зоне: безбедна зона и зона са оштећењима. Зона са максималним брзинама осциловања тла испод 51 mm/s установљена је као граница испод које неће бити оштећења.

Већ тада је примећено да су у многим случајевима регистроване максималне брзине осциловања тла знатно веће од постављене границе од 51 mm/s, без икаквих оштећења (Слика 2). Ипак, вероватноћа појаве оштећења знатно је расла при прекорачењу постављене границе за брзину, тако да је овај критеријум остао на снази. Такође, истраживањем је показано да се, иако осцилације тла услед минирања нису периодичне, максимална измерена померања и убрзања могу са задовољавајућом тачношћу свести на вредности брзина путем познатих формула за хармонијске осцилације.



Слика 2: Приказ померања према фреквенцији осциловања тла са препорученим граничним максималним вредностима брзина [Nicholls et al. 1971]

Током истраживања одређени су и кључни параметри минирања који утичу на простирање вибрација и потреса кроз тло. На основу анализе бројних извора и података, предложено је да се параметри количине експлозива и удаљења посматраног места од експлозије узму као општи. Остали параметри минирања (распоред и дубина бушотина, врста експлозива, начин паљења итд.) толико су варирали да су сви заједно обједињени у параметре сваке појединачне локације. Њихов утицај се одређује на основу пробних минирања на лицу места. По први пут су и анализирани поступци минирања са кашњењем и утицај броја бушотина.

Истраживањем Бироа за рударство САД по први пут је систематски анализиран утицај минирања на оштећења зграда, начин мерења тог утицаја и начин утврђивања дозвољених граница. Велики значај овог истраживања огледа се у томе што је њиме по први пут установљено коришћење максималне брзине осциловања тла (Peak Particle Velocity – PPV) као мере утицаја потреса изазваних

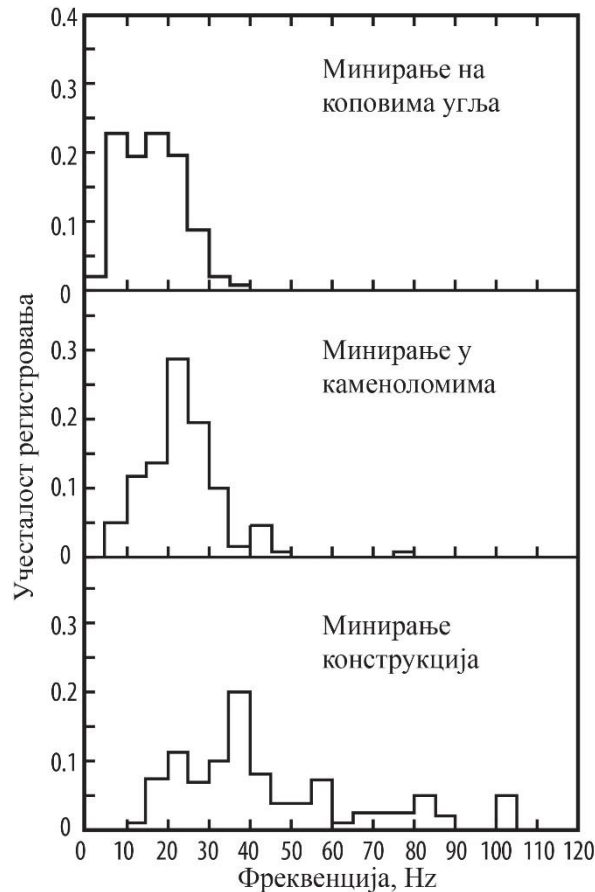
минирањем на објекте. Временом су ове препоруке усвојене као обавезујући стандарди за минрање у бројним државама широм САД.

Развој техника минирања, мерне опреме и уређаја, метода прорачуна конструкција на утицај потреса и вибрација, као и резултати сталног праћења ефеката изведених минирања на површинским коповима, довели су до потребе да се постојеће препоруке унапреде. У следећем опширном истраживању [Siskind et al. 1980] о одговору конструкција и оштећењима објеката изазваним потресима услед минирања на површинским коповима, по први пут су посматране и карактеристике конструкција и материјала зграда изложених дејству минирања.

Приказани су резултати истраживања у којима је коришћена спектрална анализа конструкција, развијена и примењивана у земљотресном инжењерству, и за одређивање утицаја од потреса изазваних минирањем. Истраживања спроведена приликом минирања конструкција ради уклањања постојећих објеката [Dowding 1971] показала су значајну везу између фреквенција осциловања тла и објеката, као и начин на који параметри којима се описују потреси у тлу (померања, брзине и убрзања) утичу на спектар одговора изазваних минирањем. Оно што је најзначајније, овим истраживањем је утврђено да су доминантне фреквенције осциловања тла скоро увек веће од највећих сопствених фреквенција осциловања објеката. У једним од првих истраживања спектра одговора конструкција стамбених објеката [Medeiros 1976] показано је да је одговор конструкције, а тиме и могућа оштећења, директно повезан са фреквенцијама осциловања изведених минирања. И други истраживачи [Corser 1979] показали су да фреквенције осциловања тла изазване минирањем у опсегу 5 – 10 Hz (веома близу сопствених периода осциловања дрвених једносратних и двосратних кућа које су анализирале) изазивају померања у просеку пет до шест пута већа од оних изазваних минирањем у опсегу 30 – 40 Hz.

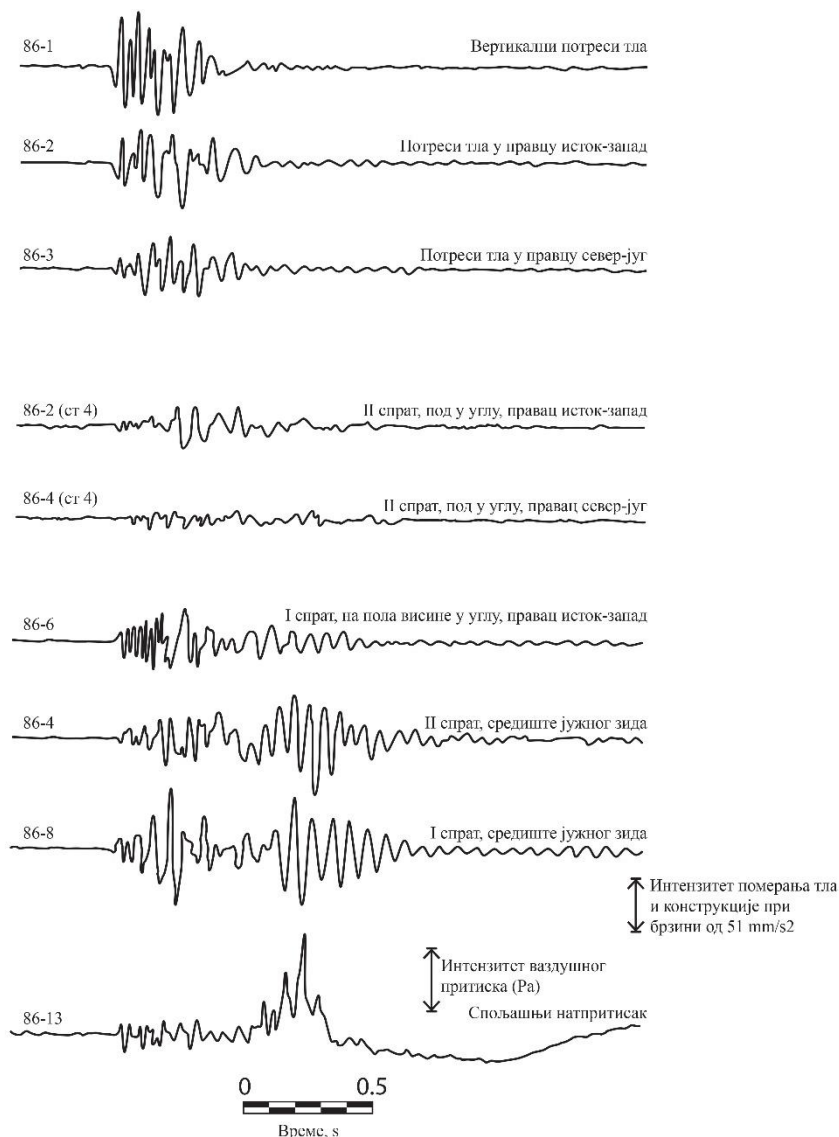
Истраживања из седамдесетих година прошлог века [Siskind et al. 1980] показала су да фреквенције осциловања тла (а тиме и померања, брзине и убрзања) значајно зависе од врсте тла кроз коју се таласи простиру (Слика 3). У близини места минирања карактеристике потреса и вибрација доминатно одређују параметри минирања, пре свега количина експлозива по серији, кашњења између

серија, и у извесној мери начин активирања и распоред бушотина. На већим удаљеностима утицај ових параметара опада, и преовлађујући је утицај средине кроз коју се таласи преносе.



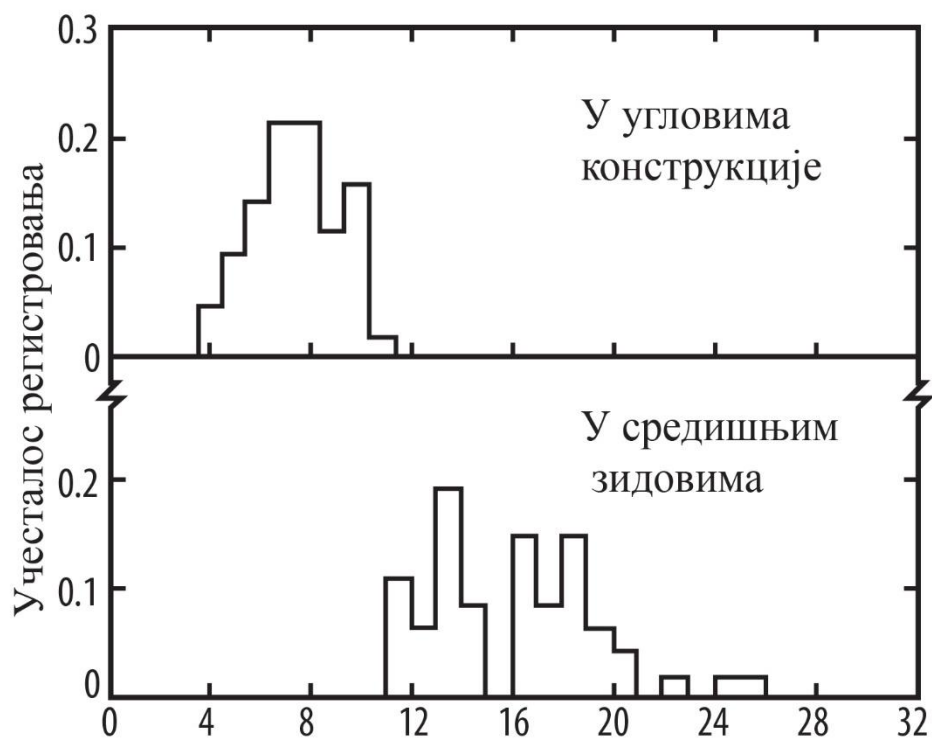
Слика 3: Доминантне фреквенције за минирања у различитим срединама [Siskind et al. 1980]

Приликом простирања потреса кроз тло, апсорпција енергије виших фреквенција осциловања је већа, тако да на већим удаљеностима доминирају дуги таласи ниских фреквенција. Ови таласи могу довести до појаве оштећења на објектима. У истраживању су приказана различите доминантне фреквенције осциловања тла за минирања у различитим срединама (Слика 4).



Слика 4: Временски запис потреса тла, конструкције и удара ваздушног притиска услед минарања на површинском копу рудника угља [Siskind et al. 1980]

У оквиру истраживања мерена су померања 76 различитих стамбених објеката, претежно једносратних и двосратних кућа, услед потреса изазваних минарањем (Слика 5). Мерењима на зградама утврђено је да фреквенције осциловања испод 10 Hz производе велика померања тла и велике деформације, садејствујући са резонантним фреквенцијама конструкција (које су за испитиване објекте биле између 4 и 12 Hz).



Слика 5: Сопствене фреквенције осциловања посматраних објеката [Siskind et al. 1980]

На посматраним кућама на којима су вршена мерења, највећи интензитет осциловања показивали су средишњи неукрућени зидови, док су углови имали највећи степен пригушења.

Овим истраживањем било је обухваћено и мерење потреса услед свакодневних активности људи на зградама са дрвеном носећом конструкцијом. Показало се да поједине свакодневне активности могу произвести изненађујуће висок степен померања услед потреса (Табела 1), како на месту на коме је произведен, тако и на удаљеним деловима објекта.

У овом извештају [Siskind et al. 1980] представљени су и резултати истраживања оштећења материјала од којих је изграђен највећи број посматраних објеката. На основу претходних истраживања у којима су гипс-картонски зидови и зидови од опеке, малтерисани, тестирани у лабораторији и на терену, на утицаје цикличних вибрација и вибрација изазваних минирањем, дате су препоруке за граничне вредности дозвољених максималних брзина осциловања тла. Према овим препорукама, код зидова од блокова и опеке оштећења се појављују при брзинама

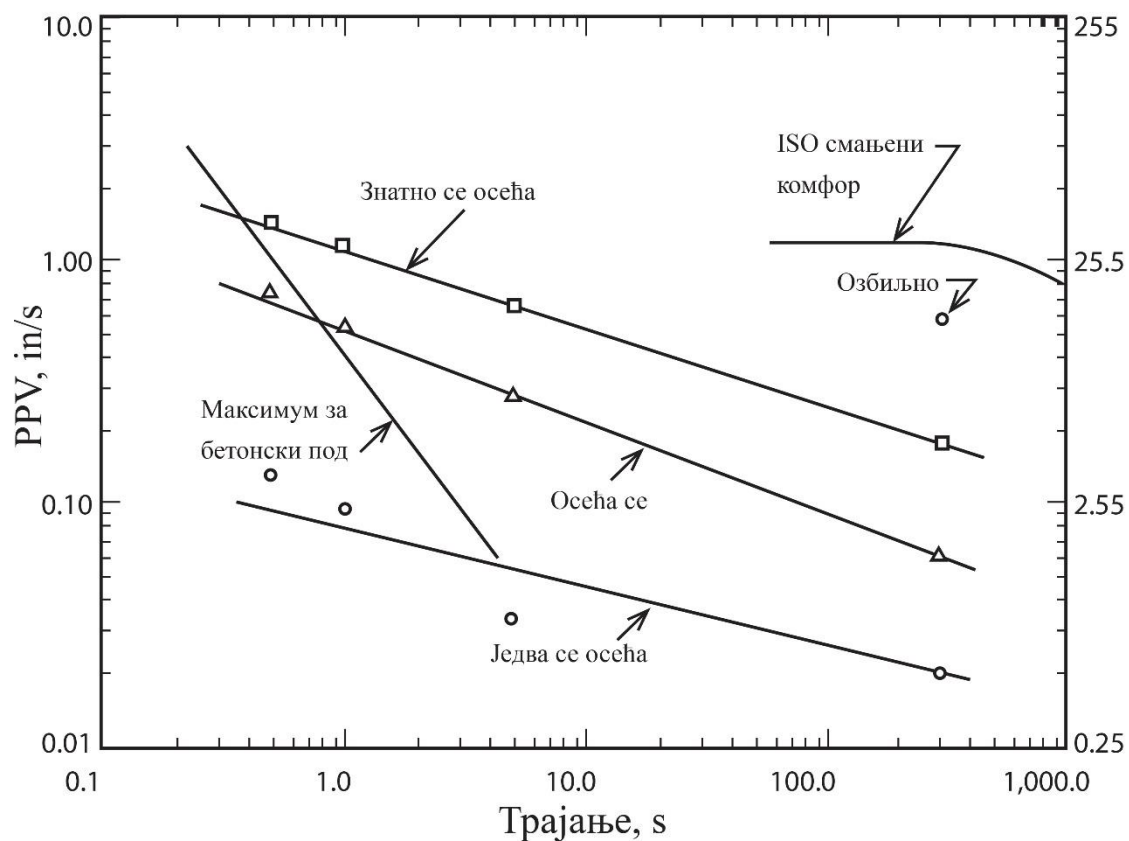
од 76 mm/s (3 in/s) управно на површину зида, и то превасходно у виду пуцања малтера у спојницама (који је показао и до десет пута већу деформацију од самих блокова). Масивни бетонски зидови нису показивали оштећења до брзина од 254 mm/s (10 in/s), а и тада су се оштећења манифестовала само у угловима ослонаца. Гипс-картонски зидови су показивали оштећења при брзинама од 127 – 254 mm/s (5 – 10 in/s).

Табела 1: Дилатације конструкције услед минирања и активности људи [USBM RI 8507, Siskind et al. 1980]

Место највећих дилатација	Максималне дилатације конструкције × 10 ⁻⁶						
	Минирање	Скакање	Ударање потпетицама	Лупање вратима		Куцање ексера	Ходање
				Улазна	Клизна		
Клизна стаклена врата	22 ¹ , 15 ²	24	9,2	13	22	21	-
Прозор родитељске собе	18 ³	42	20	12	19	9,3	9,1
Врата дневне собе	24 ⁴ , 11 ⁵	17	6,1	8,3	6,2	28	-
Велики прозор	33 ⁴	17	11	21	3,6	32	3,2
Улазна врата	36 ⁴ , 43 ⁵	13	5,8	140	-	-	-

Значај овог истраживања [Siskind et al. 1980] је и у томе што је указала да осетљивост људи, корисника објеката, на потресе и вибрације, може бити одлучујући фактор при одређивању параметара минирања. Од самих почетака примене поступака минирања у индустријске сврхе примећено је да корисници објеката реагују при много нижим нивоима вибрација од оних који би могли да изазову оштећења објеката. Углавном сва истраживања о осетљивости људи на вибрације заснивала су се на изложености испитаника трајању потреса од неколико минута. Ово трајање је знатно дуже од трајања ефеката минирања, али се у недостатку одговарајућих, резултати ових истраживања примењују и на утицаје од експлозија. Штавише, приликом извођења радова на минирању, сем потреса тла појављују се и други пропратни ефекти као што су звецкање прозора и покућства, пуцкетање и шкрипа дрвених рагастова и елемената, и сл. Осим од максималне брзине осциловања тла, осетљивост људи на вибрације зависи и од периода изложености, као и од фреквенције потреса. Слика 6 приказује осетљивост људи на потресе и вибрације [Siskind et al. 1980]. Студијом је предложено да се за границу максималних брзина осциловања тла услед минирања, прихватљиву за највећи број људи, усвоји 12,7 mm/s (0,5 in/s) са обзиром на њихово кратко трајање (пар

секунди). Приликом одређивања параметара минирања треба имати у виду да људске реакције зависе и од њихових активности у тренутку када осете потрес.



Слика 6: Приказ осетљивости људи на потресе и вибрације различитог трајања померања, ISO вредности су из стандарда 2631 [Siskind et al. 1980]

Ова студија [Siskind et al. 1980] је потврдила да се ограничавањем максималне брзина осциловања тла услед потреса изазаваних минирањем, на најпрактичнији начин могу ограничити оштећења зграда. Њен значај је у томе што је скренула пажњу да оштећења објеката, осим од брзине осциловања, значајно зависе и од фреквенције осциловања објеката. Студија је потврдила да је потенцијал експлозија са ниским фреквенцијама осциловања (< 40 Hz) знатно већи од оних са високим фреквенцијама, тако да је предложено да се максималне дозвољене брзине осциловања тла смање за ниже фреквенције. Такође, истакнуто је да степен осетљивости на потресе изазаване минирањем зависи и од врсте, типа и стања конструкције објекта, а у студији су по први пут систематично приказани

и прагови оштећења појединих делова конструкција објеката у зависности од врсте материјала од којих су направљени (опека, бетон, дрво, гипс-картон ...). Студија је кориговала ранија ограничења максималних брзина осциловања за фреквенције испод 40 Hz на 19 mm/s за савремене дрвене гипскартонске куће и на 12 mm/s за малтер на потконструкцији. За фреквенције изнад 40 Hz, предложено је да се задржи граница од 51 mm/s за све врсте објеката (Табела 2). Истраживање је скренуло пажњу на бројне друге узроке оштећења, али и на интензитет потреса од редовног коришћења зграда (лупа вратима, скакање, шетање, куцкање ...).

Табела 2: Максималне дозвољене брзине осциловања тла у зависности од фреквенције потреса [USBM RI 8507, Siskind et al. 1980]

Фреквенција потреса (Hz)	Максимална дозвољена брзина осциловања (mm/s)
1	5,0
2,5 – 10	12,7
12	15,6
14	19,5
16	21,3
18	23,4
20	25,4
30	34,2
40-100	51

Са развојем поступака о области примене поступака минирања, наставила су се истраживања о утицају на околне зграде. У последње време, услед све интензивније примене поступака минирања у близини урбаних области, бројни истраживачи су у својим радови приказали утицај потреса изазваних минирањем на објекте [Lewiss 1999, Luccioni et al. 2004, Heath et al. 2005, 2008, Dogan et al. 2013, Karadogan et al. 2014]. Детаљно су документована евентуална оштећења и дати резултати спроведених нумеричких анализа. У највећем броју случајева, минирања која су извођена у складу са вибрационим стандардима нису проузроковала видљива оштећења.

2.3. Приказ стандарда и препорука који дефинишу утицаје потреса од минарања на архитектонске објекте

Утицаји потреса изазваних минарањем изазивају највише пажње кроз манифестације које се појављују на објектима које људи користе. Ови утицаји су двојаки: с једне стране, преношењем потреса и вибрација кроз тло на објекте изазива се померање конструкције и облоге објекта, као и ствари у њима; с друге стране, минарање ствара и ваздушни ударни талас који утиче на објекте преко фасадних облога и ствара непријатну буку.

Са циљем ограничавања утицаја потреса и вибрација на објекте, надлежни државни органи управе и овлашћена регулаторна тела прописују ограничења за извођење радова на минарању. Најчешћи вид ограничења су стандарди о дозвољеним интензитетима потреса и вибрација и ваздушног притиска. За процену утицаја минарања на објекте, као и за оцену оштећења од минарања, најчешће се користи фреквенција осциловања и максимална брзина осциловања тла (PPV).

Ради дефинисања и ограничавања утицаја потреса од минарања на архитектонске објекте, поједине земље су донеле сопствене националне стандарде на бази бројних и вишегодишњих мерења ефеката минарања, како за потребе напредовања радова током подземне експлоатације, тако и на површинским коповима. У нашој земљи не постоји дефинисан национални стандард за процену оштећења објеката услед потреса од минарања, већ се у пракси најчешће примењују немачки DIN 4150, амерички USBM и совјетски СССР стандард [С. Трајковић et al., 2005].

Сви ови стандарди дају граничне вредности максималне брзине осциловања тла које одређена категорија објекта може да поднесе без оштећења [Singh, Roy 2010], али разликују само неколико општих типова објеката (нпр. према немачком стандарду објекти су подељени у три групе: објекти за занатство и индустрију, стамбене зграде, посебно осетљиви и заштићени објекти, а за три фреквентна опсега: < 10 , $10 - 50$ и $50 - 100$ Hz, те за једно до два минарања дневно). Стога се ови стандарди оправдано сматрају превише општим и ригорозним.

Немачки стандард Дин 4150 – 3: Утицаји вибрација на конструкције

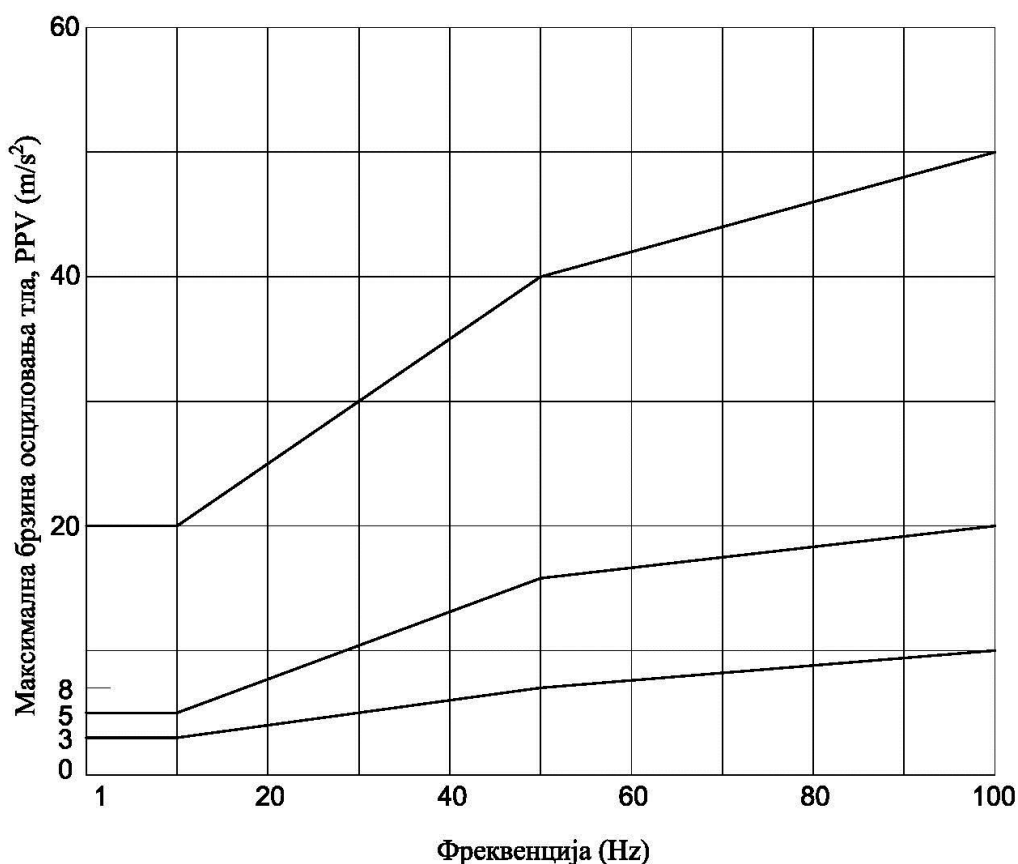
Овим стандардом се одређује утицај вибрација на конструкције првенствено намењене за прихватање статичког оптерећења. Прописана ограничења треба да спрече утицаје који би изазвали оштећења или неповољно утицали на носивост конструкција.

Овај стандард прописује максималне допуштене вредности брзине осциловања тла. Вредности се разликују у зависности од типа, значаја и стања објекта. Стандард покрива опсег фреквенција осциловања од 5 до 100 Hz, те учестаност минирања од једног до два дневно. Табела 3 приказује максималне дозвољене брзине осциловања.

Табела 3: Максималне дозвољене брзине осциловања тла [DIN 4150, прилагођено]

Линија	Тип објекта	Смернице за вредности брзине, v_i , [mm/s]			
		Вибрације на нивоу темеља у фреквенцију у опсегу			Вибрације у хоризонталној равни највише етажe
		1-10 Hz	10-50 Hz	50-100 Hz*)	све фреквенције
1	Зграде које се користе за пословне намене, индустријске зграде и слично пројектоване зграде	20	20-40	40-50	40
2	Стамбене зграде и слично пројектоване зграде и начина коришћења	5	5-15	15-20	15
3	Зграде које се због своје посебне осетљивости на вибрације, не могу сврстати у тип 1 и 2 и имају посебну вредност (нпр. споменици културе)	3	3-8	8-10	8
*) На фреквенцијама изнад 100 Hz, вредности дате у овој колони могу бити узете као минималне вредности.					

Много чешће се ограничења дата овим стандардом представљају графички, да би се прегледније вршила поређења са регистрованим вредностима. Графички приказ овог стандарда даје Слика 7.

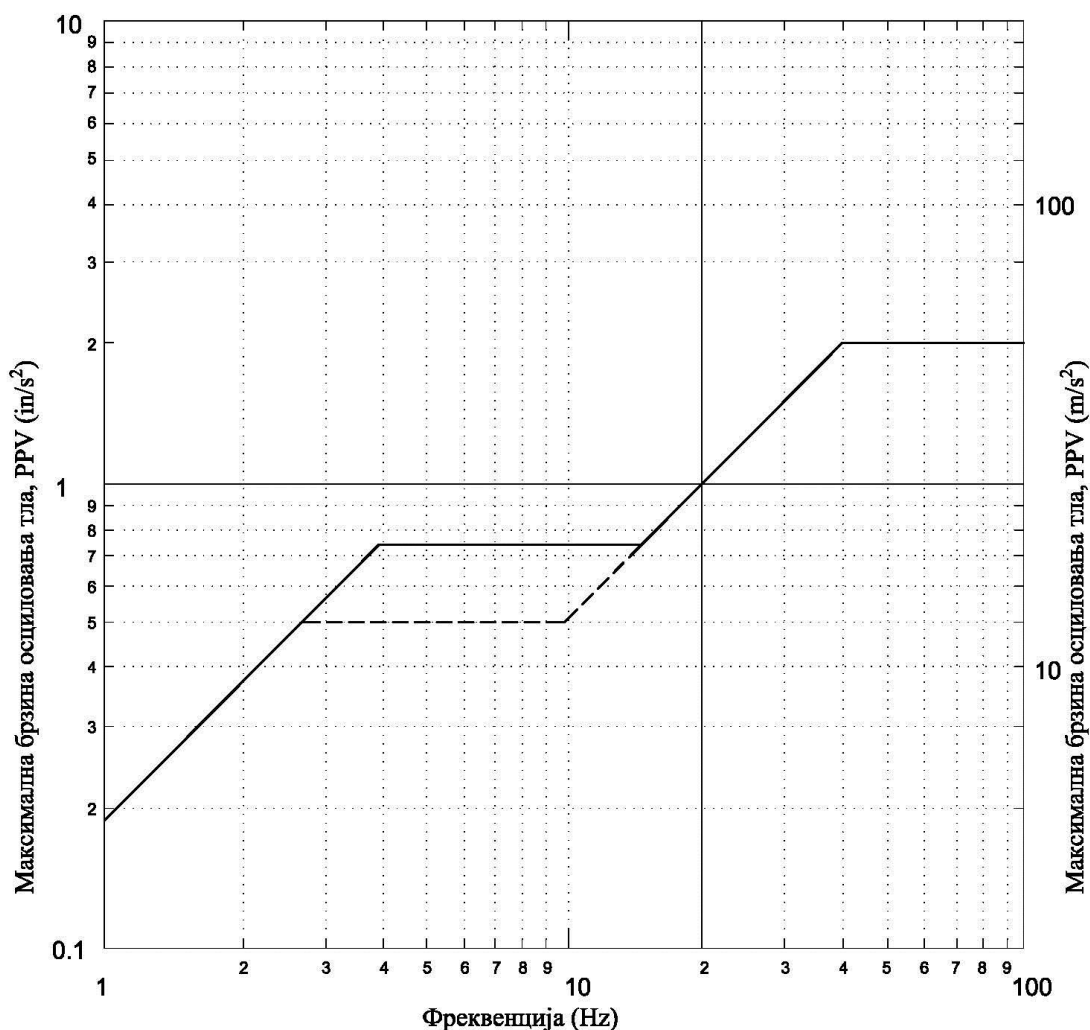


Слика 7: Графички приказ ограничења датих у ДИН 4150 – 3 [DIN 4150, прилагођено]

Основна подела објеката изложених вибрацијама на групу комерцијалних, индустријских или слично пројектованих објеката, на групу стамбених или слично пројектованих и/или коришћених објеката, и на групу објеката посебно осетљивих на вибрације, а од великог значаја (нпр. споменици културе), прилично је неодређена, и више одговара начину коришћења, својинском статусу и значају објеката, него својствима конструкције објеката и сходно томе, могућим оштећењима. У самом стандарду се наводи да уколико измерене брзине осциловања тла не пређу прописане вредности, искуство показује да се неће појавити оштећења која смањују употребљивост зграде. Уколико се ипак оштећења појаве, треба претпоставити да је нешто друго узрок томе. Прекорачење прописаних вредности не доводи неизбежно до оштећења, а значајнија прекорачења захтевају додатно истраживање. Значај овог стандарда је и у његовом великом утицају и примени у многим европским земљама (Белгија, Холандија, Данска, Грчка, Италија, Словенија, Хрватска, Турска).

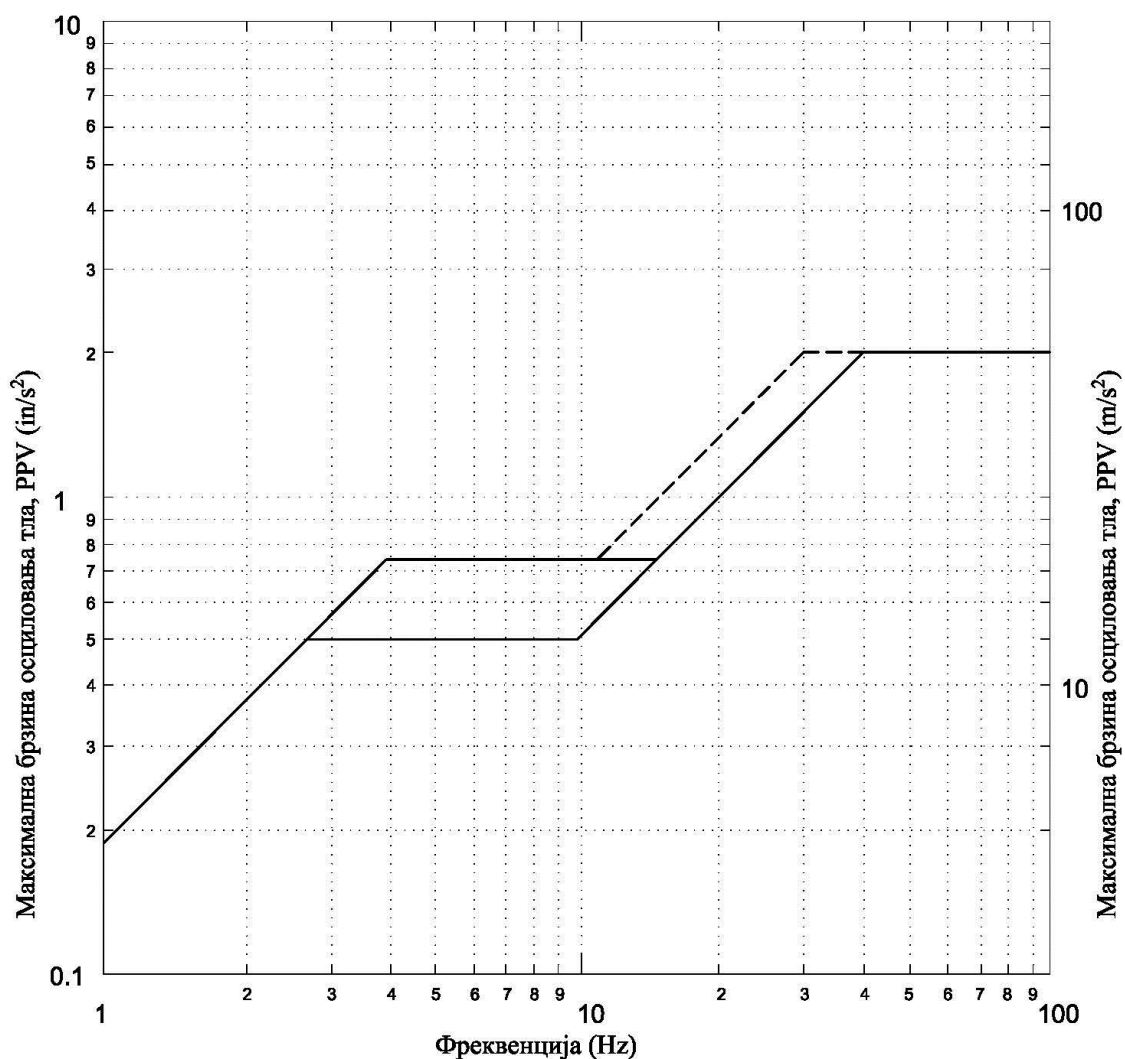
Биро за рударство Сједињених Америчких Држава (United States Bureau of Mines – USBM)

Ови стандарди се базирају на десетогодишњем испитивању и праћењу утицаја вибрација изазваних минирањем на објекте које је спровео амерички Биро за рударство [Nicholls et all. 1971]. У овом истраживању су одређење дозвољене границе за параметре минирања како би се избегла оштећења на стамбеним објектима. Истраживања овог бироа почињу још од тридесетих година прошлог века. Многобројни истраживачи су покушали да повежу померања, брзине и фреквенције осциловања тла изазване минирањем, са оштећењима на објектима и опреми. На основу тих истраживања успостављена је веза између максималне брзине осциловања тла (PPV), која је узета за мерење интензитета потреса и вибрација на објекте, и оштећења на конструкцијама. На основу ових истраживања, за стамбене објекте, постављена је горња граница за максималну брзину осциловања на око два инча по секунди (51 mm/s) при фреквенцијама од 3 – 100 Hz. Овако широко одређена граница фреквенција осциловања није могла да одговарајуће представи различите међусобне утицаје разних врста објеката са потресима у тлу изазаваним минирањем. Током примене ових стандарда постало је јасно да се критеријуми за одређивање максималне брзине осциловања морају дефинисати у зависности од доминантних фреквенција осциловања објеката. Спроведена су нова опсежна истраживања у којима су мерена померања и брзине осциловања тла у фреквентном опсегу од 1 – 100 Hz. На основу добијених резултата Биро за рударство Сједињених Америчких Држава издао је нове критеријуме објављене у публикацији RI 8507 [Siskind et all. 1980]. Према овим критеријумима, претходно успостављена граница од 51 mm/s смањена је три до четири пута за ниже фреквенције у опсегу 4 – 12 Hz (Слика 8). Ови критеријуми дају следеће вредности за максималне брзине осциловања тла за четири основна фреквентна опсега: променљиво од 4 mm/s (0.16 in/s) у опсегу 1 – 3,5 Hz, до 19 mm/s (0.75 in/s) у опсегу 3,5 - 12 Hz, променљиво у опсегу 12 - 30 Hz, до 51 mm/s (2 in/s) у опсегу 30 – 100 Hz.



Слика 8: Максималне дозвољене брзине осциловања тла у зависности од фреквенције [према RI 8507, Siskind et al. 1980, прилагођено]

Уред за површинску експлоатацију Сједињених Америчких Држава (U. S. Office of Surface Mining - OSM) додатно је модификовао ове критеријуме. Упоредне критеријуме приказује Слика 9 [Siskind 2000]. Такође, дати су и једноставни критеријуми за максимална брзине осциловања тла на одређеним удаљењима од места мињања: 32 mm/s (1.25 in/s) за удаљења од 0 – 91 m (0 – 300 ft), 25 mm/s (0.75 in/s) за удаљења од 91 – 1524 m (300 – 5000 ft) и 19 mm/s (0.75 in/s) за удаљења преко 1524 m (преко 5000 ft).



Слика 9: Упоредни преглед критеријума према USBM RI 8507 и коригованих критеријума OSM [према Siskind 2000, прилагођено]

Британски стандард БС 7385: Процена и мерење вибрација у зградама

У првом делу стандарда, Упутству за мерење вибрација и процени њиховог утицаја на зграде, дати су основни принципи мерења вибрација ради процене оштећења на зградама. Стандард разликује краткотрајне (када побуда траје краће од пет сопствених периода осциловања) од дуготрајних вибрација. Описујући оштећења на зградама, стандард их дели на козметичка (једва видљиве прсине дебљине људске косе - hairline cracks – до 0,5 mm), мала (формирање великих видљивих прсина, отпадање глета или малтера, прсине у опеци или бетонском блоку) и велика (пукотине у носећим елементима конструкције, стубовима, ослонцима, зидовима).

Такође, у Анексу А, који је информативног карактера, дата је класификација зграда према њиховим могућим одговорима на вибрације. Зграде су подељене према типовима конструкције и групи (Табела 4). У групу 1 спадају старији и историјски објекти (а) и сви новији објекти изграђени на традиционалан начин и од традиционалних материјала (б). Ова група представља теже објекте са већим коефицијентом пригушења, спратности до шест етажа. У групи 2 се налазе савремене зграде и конструкције, рамовске или панелне, лагане и са мањим коефицијентом пригушења.

Објекти су према типу темеља подељени на три класе: А) објекти на шиповима повезаним гредама, роштиљу греда или плочи, Б) на неповезаним шиповима и тракастим темељима, и В) неармирани, камени или објекти без темеља. Такође, према типу тла, објекти су подељени у шест категорија: а) стене без прслина, цементирани пескови, б) збијена слојевита тла, в) слабо збијена слојевита тла, г) падине, потенцијална клизишта, д) пескови, шљункови, неповезане глине и ђ) насипи. На основу ових подела дата је табела отпорности објеката на дејство вибрација и прихватљивости појаве оштећења. Ова табела је информативног карактера и служи за истицање нивоа пажње са којом треба приступити извођењу радова који изазивају потресе и вибрације (Табела 5).

Табела 4: Категоризација објеката по групама према БС 7385 – 1 [BS 7385 – 1, прилагођено]

Категорија конструкције	Групе зграда (погледати одредбу А.4)		
	1	2	
← Отпорност на вибрације опада	1	<p>Масивне индустријске вишеспратне зграде, високе пет до седам спратова, укључујући и облике оторне на земљотрес</p> <p>Масивне конструкције, укључујући мостове, тврђаве, бедеме</p>	<p>Двоспратне и троспратне индустријске зграде, са масивним армиранобетонским или челичним рамовима, са испуном од панела и/или блокова или опеке или префабрикованих панела, са челичним, префабрикованим бетонским или бетонским подом ливеним на лицу места</p> <p>Композитне, челичне или армиранобетонске масивне индустријске зграде</p>
	2	<p>Дрвене скелетне, масивне, јавне зграде, укључујући и облике отпорне на земљотрес</p>	<p>Зграде са пет до седам (и више) спратова - стамбене зграде, пословне зграде, болнице, индустријске зграде са лаким рамовским конструкцијама од армираног бетона или челика, са испуном од опеке, блока, префабрикованих елемената, које нису пројектоване као отпорне на земљотрес.</p>
	3	<p>Једноспратне и двоспратне куће са дрвеном скелетном конструкцијом и куће са сродним наменама, са испуном од панела, укључујући и "брвнаре", као и облике отпроне на земљотрес</p>	<p>Приземне релативно лаке индустријске зграде отвореног типа, укрупњене унутрашњим зидовима, са конструкцијом од челика, алиминијума или дрвета, или армираног бетона, са лаком панелном испуном, укључујући и облике отпроне на земљотрес</p>
	4	<p>Прилично масивне вишеспратне зграде, које се користе за складиштење или као стамбени објекти, са пет до седам или више спратова</p>	<p>Двоспратне индивидулане куће и зграде сродних намена, изграђене од блокова, опеке или префабрикованих елемената урућених серклажима, са међуспратном и кровном конструкцијом ојачаном или потпуно направљеном од армираног бетона или слично, све облика отпорног на земљотрес.</p>

Категорија конструкције	Групе зграда (погледати одредбу А.4)	
	1	2
5	Четвороспратне до шестоспратне куће и зграде сродних градских намена, направљене од блока или опеке, са носећим зидовима масивније изградње, укључујући и виле и мање зграде типа палате	Четвороспратне до десетоспратне приватне и сличне зграде изграђене претежно од лакших носећих зидова од блока или опеке, рачунатих или не, укућених углавном унутрашњим зидовима од сличног материјала и армираним бетоном, са међуспратним конструкцијама префабрикованим или ливеним на лицу места на најмање сваком другом спрату.
6	Двоспратне куће и зграде сродних намена зидане блоком, опеком, са дрвеном међуспратном и кровном конструкцијом. Куле изграђене од камена или опеке, укључујући и облике отпорне на земљотрес.	Двоспратне куће и зграде сродних намена укључујући и пословне зграде, изграђене од зидова зиданих блоком, опеком или префабрикованим елементима, са дрвеном или префабрикованом или ливеном на лицу места међуспратном и кровном конструкцијом.
7	Простране цркве, дворане и сличне грађевине зидане каменом или опеком, са лучним или сличним конструктивним системима, са или без сводова, укључујући и мање лучне цркве и сличне зграде. Ниске масивно грађене "отворене" (неукрућене) скелетне цркве као и објекти типа амбара, укључујући и штале, гараже, ниске индустријске зграде, градске сале, храмове, џамије и сличне зграде са значајно тешким дрвеним крововима и међуспратним конструкцијама.	Једносспратне и двоспратне куће и зграде сродних намена, од лакших материјала, префабрикованих или ливених на лицу места, појединачно или комбиновано.
8	Рушевине или скоро рушевине и сличне зграде у осетљивом стању. Све историјске зграде класе 7.	

Табела 5: Класификација отпорности објекта на вибрације и прихватљивости нивоа утицаја потреса према БС 7385 – 1 [BS 7385 – 1, прилагођено]

Катерогија зграде*	Категорија конструкције (погледати табелу А.1)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Категорија темеља (велика слова) и тип тла (мала слова) (погледати одредбу А.5 и одредбу А.6)							
1	A a							
2	A b	A a	A a	A a				
3		A b B a	A b B a	A b	A b B a			
4		A c B b	B b	A c	A c B a B b			
5		B c	A c		B c	B a		
6		A f		A d	B d	B b C a	B a	
7			A f	A e	B e	B c C b	B b C a	
8						B e C c	B c C b	
9		B f				C d	B d C c	A a
10			B f			C e	B e C d	A b
11				C f	C f		C e	B a
12						C f		B c C a
13							C f	B d C b C c
14								C d C e C f

* виша ознака класе = захтевани виши степен заштите

У другом делу, Упутству за одређивање нивоа оштећења услед вибрација тла, прописују се граничне вредности максималних брзина осциловања тла које спречавају оштећење објеката. Стандард је рестриктиван и прописује ограничења изнад којих се могу јавити неконструкциона, „козметичка“ оштећења (cosmetic damage). Ова ограничења приказују и Табела 6 и Слика 10. При нижим фреквенцијама веће су дилатације које су последица потреса и вибрација. Испод

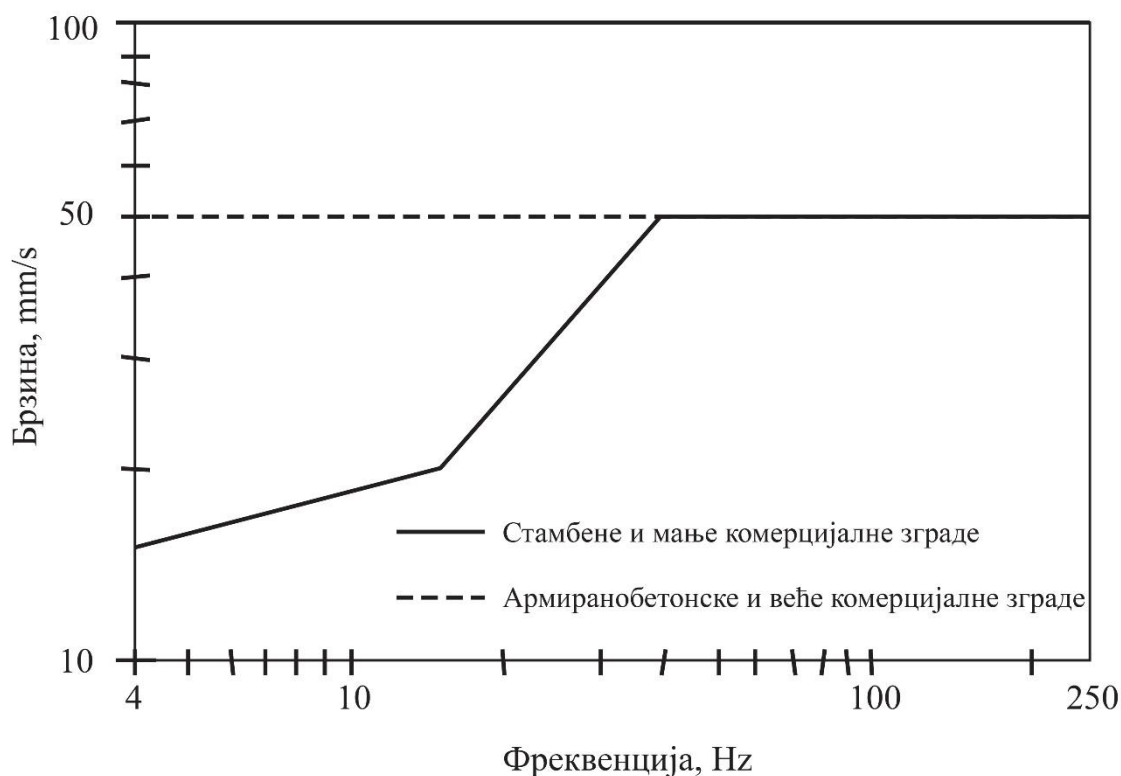
фреквенције од 4 Hz, где су велика померања последица малих брзина осциловања, овај стандард ограничава максимално померање на 0,6 mm.

Табела 6: Максималне брзине осциловања тла за неконструкциона оштећења [[BS 7385 – 2, прилагођено]

Линија	Тип објекта	ППВ у области доминантног фреквентног опсега	
		4 – 15 Hz	15 Hz и изнад
1.	Армиранобетонске или рамовске конструкције Индустријски и велики комерцијални објекти	50 mm/s при 4 Hz и више	
2.	Неармиране или делимично рамовске конструкције Стамбени или мањи комерцијални објекти	15 mm/s при 4 Hz повећавајући се до 20 mm/s при 15 Hz	20 mm/s при 15 Hz повећавајући се до 50 mm/s при 40 Hz и изнад
Напомена 1: вредности се мере на основи објекта.			
Напомена 2: за линију 2, испод 4 Hz, највеће померање не сме прећи 0,6 mm.			

Стандард наводи да су могућа мања оштећења за два пута већи интензитет вибрација од оних које су приказује Табела 6, а већа оштећења се могу појавити за вредности које су четири пута веће од наведених.

Вредности које даје Табела 6 односе се углавном на пролазне вибрације (што је случај са потресима од минирања), које не изазивају резонантна осциловања објеката, као и на ниже зграде. Када динамичко оптерећење, изазавано континуалним потресима, изазива вибрације блиске резонантним осциловањима објеката, а поготово на нижим фреквенцијама где су и нижа ограничења, дате дозвољене вредности би можда требало преполовити. Стандард такође наводи да је, услед малог броја понављања максималних, вршних вредности, мала вероватноћа да ће се појавити оштећења услед замора материјала у стамбеним зградама, услед потреса изазваних минирањем, оближњом изградњом или услед утицаја саобраћаја.



Слика 10: Максималне брзине осциловања тла за неконструкциона оштећења [BS 7385, Part-2, 1993, прилагођено]

Стандард не издваја споменике културе (осим ако нису у лошем стању), а за посебно важне објекте, као и за објекте који се тешко санирају, предвиђа посебну пажњу и поступке. Оно што је значајно, БС 7385 – 2 дозвољава коришћење инжењерских техника, (спектралне анализе са укључивањем утицаја сопствених фреквенција и пригушења), за процену утицаја вибрација на зграде. Такође, у Анексу I, који је информативног карактера, овај стандард описује прслине у зградама, њихов настанак, развој и ограничења.

Аустралијски стандард АС 2187

Овај стандард се односи на складиштење, транспорт и коришћење експлозива. У њему су скромно дата препоручена ограничења за максималну брзину осциловања тла, што приказује Табела 7.

Табела 7: Максималне брзине осциловања тла за неконструкциона оштећења [SAA Explosives Code AS2187-1993, прилагођено]

Врста зграде или конструкције	Максимална брзина осциловања тла PPV (mm/s ²)
Куће и ниске стамбене зграде; пословне зграде (које нису класификоване испод	10
Пословне и индустријске зграде или конструкције од армираног бетона или челика	25

Уз ову табелу дате су и напомене да се ова ограничења не односе на високе зграде, зграде са великим распонима, специјалне конструкције (као што су резервоари, бране, болнице, објекти са инсталираном скупом истраживачком опремом). Ови објекти захтевају посебну бригу и могуће је да треба применити додатна мерења ради утврђивања да ли су вредности вибрација у самом објекту увећане у односу на вибрације тла поред објекта. Препоруке дозвољавају и другачије вредности за максималне брзине осциловања тла, уколико те вредности буду потврђене детаљним истраживањем. Дозвољавају се и веће вредности брзина, при већим фреквенцијама, али се не прецизирају вредности интервала фреквенција.

Совјетски стандарди: критеријуми Института за физику земље Академије наука Русије

Још средином 40-тих година прошлог века московски Институт за физику земље Академије наука Русије, донео је препоруке да уколико максималне брзине осциловања тла не прелазе 30 – 50 mm/s, неће доћи до оштећења конструкција објеката изложених дејству потреса од минирања. Табела 8 даје критеријуме за максималне вредности брзина дати су по аналогији са критеријумима утицаја земљотреса [Трајковић и др., 2005]. Оцене утицаја потреса услед минирања дате су као сеизмичка дејства. Према овој табели, прва оштећења објеката могу се појавити тек од IV степена (при брзинама од 8 – 15 mm/s), видљива су на зградама у слабијем стању у V степену (15 – 30 mm/s), код већ оштећених зграда у VI степену (30 – 60 mm/s) а код зграда у добром стању тек од VII степена (60 – 120 mm/s). При дејствима VIII степена (120 – 240 mm/s) појављују се већа оштећења и пукотине у

носећим елементима конструкције, при IX степену (240 – 480 mm/s) урушавају се делови објеката, од X до XII (преко 480 mm/s) руше се целе грађевине.

Табела 8: Оцена сеизмичког интензитета на основу максималне брзине осциловања тла [према Трајковић ет ал. 2005, прилагођено]

Брзина осциловања тла v (mm/s)	Степен сеизмичког интензитета	Опис дејства
до 2 mm/s	I	Дејство се региструје само помоћу инструмената.
2 – 4 mm/s	II	Дејство се осећа само у неким случајевима, када је потпуна тишина.
4 – 8 mm/s	III	Дејство осећа веома мали број људи, или само они који га очекују.
8 – 15 mm/s	IV	Дејство осећају многи људи, чује се звекет прозорског стакла.
15 – 30 mm/s	V	Осипање малтера, оштећења на зградама у слабом стању.
30 – 60 mm/s	VI	Појава финих прлина у малтеру, оштећења на зградама које већ имају развијене деформације.
60 – 120 mm/s	VII	Оштећење на зградама у добром стању, пукотине у малтеру, делови малтера опадају, fine прлине у зидовима, пукотине на зиданим пећима, рушење димњака.
120 – 240 mm/s	VIII	Знатне деформације грађевина, пукотине у носећој конструкцији и зидовима, веће пукотине у преградним зидовима, падање фабричких димњака, плафона.
240 – 480 mm/s	IX	Рушење грађевина, веће пукотине у зидовима, раслојавање зидова, обрушавање неких делова зидова.
Преко 480 mm/s	X - XII	Већа разарања, стропоштавање читавих конструкција итд.

Максималне дозвољене брзине осциловања тла дате су у зависности од класе објеката (Табела 9). Објекти су подељени у четири класе [Трајковић ет ал., 2005]:

I класа – објекти од изузетног значаја, савезног или републичког, архитектонски споменици; минирање поред оваквих објеката у изузетним случајевима.

II класа – индустријски објекти од изузетне важности, стамбени објекти у којима живи већи број становника, објекти са великим бројем посетилаца.

III класа – индустријски објекти и административне зграде малих димензија, висине не више од три спрата, стамбени објекти у којима живи мањи број људи.

IV класа – зграде и индустријски објекти у којима су смештени скупочени уређаји, али њихово оштећење не угрожава животе и здравље људи, складишта, базе, хладњаче, компресорске станице.

Табела 9: Дозвољене максималне брзине осциловања тла у зависности од класе објекта и карактеристика конструкције [према Трајковић ет ал. 2005, прилагођено]

Карактеристике зграда и објеката	дозвољена брзина осц. тла $v_{,dozv}$ (mm/s)		
	II	III	IV
Стамбене зграде и индустријски објекти са армиранобетонском или челичном конструкцијом, са лако испуном, рачунати на сеизмичке утицаје. Квалитет градње задовољавајући и без икаквих измена у односу на пројект и прорачун. Заосталих деформација у конструкцији нема.	50	70	100
Стамбени и индустријски објекти са армиранобетонском или челичном конструкцијом. Без заосталих деформација у конструкцији	20	50	70
Зграде код којих су преградни зидови од опеке или камена. Нове или старер камене зграде, или зидане зграде грађене без сеизмичких ојачања. Квалитет градње добар. Без заосталих деформација.	15	30	50
Зграде које имају знатна оштећења на зидовима и пукотине у конструкцији. Нове или старе зграде од камена или опеке, са мањим неповезаним пукотинама у носећим и преградним зидовима.	10	20	30
Старе или нове зграде са пукотинама и покиданим везама између појединих елемената. Камене или зграде од опеке са косим пукотинама у носећим зидовима и угловима и сл.	5	10	20
Оштећења армиранобетонска конструкција, крупне пукотине у бетону. Зграде код којих носећи зидови имају већи број пукотина, нарушене везе између спољашњих и унутрашњих зидова и сл. Зграде грађене од монтажних елемената које нису сеизмички обезбеђене.	3	5	5

Ови стандарди су имали велики утицај на све земље некадашњег совјетског блока, тако да се, уз извесно смањење максималних вредности брзина, и данас користе у Румунији [Mohamed, M. T. 2010].

3. ПРИМЕНА ВЕШТАЧКИХ НЕУРОНСКИХ МРЕЖА ЗА ПРЕДИКЦИЈУ МАКСИМАЛНИХ БРЗИНА ОСЦИЛОВАЊА ТЛА (PPV) И УТИЦАЈА НА АРХИТЕКТОНСКЕ ОБЈЕКТЕ

У овом поглављу анализирани су потреси и вибрације тла изазвани минирањима, као и њихови утицаји на потенцијална оштећења конструкција у каменолому кречњака „Дреновац“ у Србији. Минирање је спроведено на осам локација, док су вибрације мерене на шест различитих мерних места, са укупним сетом података из 32 мерења. Иако су анализирани сетови података релативно мали, ипак пружају драгоцене експерименталне податке. Према доступним сазнањима, оваква истраживања минирања нису раније рађена у Србији.

Минирање представља уобичајену технику напредовања радова у различитим рударским и грађевинским пројектима, за потребе изградње тунела, подземне железнице, аутопутева или брана. Ове активности, које се обично изводе и на површини и испод површине терена, често индукују померање тла и ударни талас ваздуха који могу да имају утицај на околне објекте и инфраструктуру. Према појединим истраживачима [Kuzu 2008], свега 20-30 % енергије из експлозије бива искоришћено за фрагментацију стена. Поред тога, имајући у виду прописе о животној средини који се односе на њено ремећење минирањем, повећава се и потреба да се минирање пројектује са већом прецизношћу. Са друге стране, кад се говори о каменоломима, минирања морају да се изведу тако да обезбеде коначни производ са максималним профитом.

Иако се чини да су ова два захтева у супротности, минирања треба да буду пројектована тако да померања тла, а самим тим и вибрације конструкција, не пређу дозвољене границе. Истовремено, ефекат ваздушног удара треба да буде смањен на најмању могућу меру.

Постоје две главне групе параметара које утичу на вибрације тла проузроковане минирањем [Hudaverdi 2012]. Прву групу чине параметри пројекта минирања— експлозивно пуњење, растојање између бушотина, висина тераса, пречник бушотине, дужина чепа и подбушивање. Другу групу параметара чине својства стене. Уколико се један слој састоји из више различитих типова тла, пут преноса вибрација насталих услед експлозије може бити веома компликован због рефлексије и рефракције таласа [Kim and Lee 2000]. Са друге стране, уколико се

талас индукован експлозијом шири кроз чврсту стену, постојећи дисконтинуитет у маси стене може да узрокује значајне просторне варијације у померању тла проузрокованом експлозијом услед неконтролисаних физичких услова и њиховог утицаја на механизме фрагментације [Erarslan et al. 2010]. Као што се види, померање тла показује велике просторне варијације првенствено због геолошких карактеристика, који се обично сматрају неконтролисаним параметрима, за разлику од количине експлозива, распореда и дубине минских бушотина, који се одређују у складу са захтевима пројекта. Из тог разлога се померање тла изазвано експлозијом обично процењује коришћењем емпиријских једначина пригушења, којима се процењује максимална брзина осциловања тла на основу количине употребљеног експлозива и раздаљине између експлозивног пуњења и мерног места. Ове једначине су од изузетног значаја за инжењере на копу, будући да им помажу да предвиде максималне вибрације тла [Duvall i Petkof 1959; Langefors i Kihlstrom 1963; Davies et al. 1964; Ambraseys i Hendron 1968; Ghosh i Daemen 1983; Singh i Roy 1993].

По правилу, вибрације тла изазване експлозијом праћене су надпритиском ваздушног удара, што се односи на притисак изнад нормалног атмосферског, који настаје услед детонације експлозивних пуњења. Овакве вибрације ваздуха обично имају ниске фреквенције (< 20 Hz), које су сличне природним фреквенцијама у бројним стамбеним објектима, тако да ваздушни удар може да изазове резонантни ефекат и, могућа структурална оштећења [Olofsson 1990; Bhandari 1997; Kuzu i Ergin 2005].

И померања тла, и ваздушни ударни таласи могу да имају утицај на околне објекте. У различитим земљама постоје различити стандарди донети на основу вишегодишњих опсежних истраживања у рудницима. Максимална брзина осциловања тла се у пракси традиционално користи за мерење оштећења на конструкцијама. У овом критеријуму, облик таласа и трајање динамичког оптерећења нису узети у обзир [Langefors et al. 1958; Edwards i Northwood 1960; Duvall i Fogelson 1962; Nicholls et al. 1971; Singh i Vogt 1998]. У каснијим радовима коришћене су како максимална брзина осциловања тла, тако и претежна фреквенција сеизмичког таласа као критеријум оштећења [Siskind et al. 1980a; Немачки институт за стандардизацију 1986; ДГМС (Tech) S и T Circular No. 7 1997;

аустралијски стандарди 2006; стандарди СССР-а; Singh and Roy 2010; Lu et al. 2012]. Понекад се чак користе максимална брзина осциловања тла и раздаљина између експлозивног пуњења и оштећене конструкције као критеријум оштећења [Rosenthal and Morlock 1987]. Сви ови стандарди дефинишу горњу границу максималне брзине осциловања тла за различите типове конструкција, као што су болнице, стамбене зграде, канцеларијски простор и тржни центри [Singh and Roy 2010].

Када се говори о ефектима ваздушног удара, постоје два ризика који укључују директни утицај на људе и притисак који проузрокује оштећења на суседним грађевинама, као што је пуцање стакала. Постојећи стандарди се обично заснивају на максималном притиску коме конструктивни елементи одолевају, и на људском одговору [Mohanty 1998]. Аустралијски нормативи препоручују максимални ниво за надпритисак од ваздушног удара од 120 dBL, одређен на основу утицаја на људе [ANZEC 1990; Environment Australia 1998]. Исти критеријум је дат и у Кинеским националним стандардима [General Administration of Quality, Supervision, Inspection and Quarantine 2003; Lu et al. 2012]. УСБМ одређује нешто виши ниво (133 dBL), који је безбедан по конструкције, али који може да утиче на становнике [Siskind et al. 1980 a, b]. У овом истраживању коришћен је Правилник о техничким нормативима, где су дате критичне вредности надпритиска ваздушног удара у зависности од количине употребљеног експлозива и раздаљине од експлозивног пуњења [Правилник о техничким нормативима и руковању експлозивним средствима и минирању у рударству, 1988].

Померање тла и надпритисак ваздушног удара који су проузроковани минирањем, као и њихови утицаји на околне објекте, истраживани су у каменолому кречњака „Дреновац“ у централном делу Србије. Кречњак је одабран као репрезентативна стена за испитивање утицаја вибрација тла, будући да је то најраспрострањенији тип стене у Србији и да се најчешће користи у грађевинске сврхе. Поред тога, на кречњаку је урађено много експерименталних истраживања вибрација индукованих минирањем. Kesimal et al. (2008) су проучавали утицај померања тла индукованог минирањем на стабилност косине у каменолому кречњака Аракли-Тасону у Трабзону (Турска). Афени и Осасан [Afeni and Osasan 2009] су изучавали ниво буке коју производе вибрације тла за време операција

минирања у каменолому кречњака Евекоро (Ewekoro) у Нигерији, и њихов утицај на стамбене зграде у селима у близини каменолома. Мохамед [Mohamed 2009] је развио модел вештачке неуронске мреже за предвиђање максималних брзина осциловања тла у каменолому кречњака у Египту анализирајући предвидљиву снагу вештачке неуронске мреже са различитим бројем улазних јединица. Торно и др. [Torno et al. 2011] су развили модел рачунарске динамике флуида да би симулирали дисперзију прашине индуковане ваздушним ударом у каменолому кречњака. Мохамаднежад и др. [Mohamadnejad et al. 2012] су користили вештачку неуронску мрежу и методу подржавајућих вектора за предвиђање вибрација индукованих ваздушним ударом у два рудника кречњака.

3.1. Минирање и мерења на терену

Експериментални део рада урађен је на серијама података измерених брзина приликом извођења радова на минирању у каменолому „Дреновац“ (Слика 11). Овај каменолом се налази у централној Србији, у општини Мионица, између Брежђа и Струганика.

Каменолом је отворен ради експлоатације кречњака за израђу магистралних и аутопутских деоница на саобраћајницама које пролазе кроз ову област. Поступком минирања се одвајају и уситњавају комади кречњаког масива. Већи комади кречњачке стене се даље прерађују у великим примарним и секундарним чекићарским дробилицама. Сепарација се обавља преко низа примарних, секундарних и терцијалних вибрационих сита. Крајњи производ се испоручује у расутом стању, камионским транспортом.

Све ове активности производе буку и вибрације, али су оне ограниченог домета и утицаја. Највећи утицај на окружење, па тиме и на околне објекте, представљају радови на минирању којима се добијају комади кречњачке стене. Предмет овог рада нису утицаји на постројења и објекте самог каменолома.

У непосредној околини, до 500 метара удаљености од самог каменолома, налази се неколико скупина објеката. Типолошки посматрано, реч је о сеоским објектима за становање и домаћинство, што их сврстава у категорију архитектонских објеката. Објекти припадају различитим временима изградње. Сви

посматрани објекти су породичне куће или помоћни објекти, приземни (П) или са једним спратом (П+1). Зидани су без техничке документације у организацији власника и корисника. Зидали су их локални мајстори, уобичајеним поступцима и са доступним грађевинским материјалом. Темељи објеката су од неармираног или армираног бетона. Носећи зидови су зидани пуном опеком или опекарским блоком, у кречном или продужном малтеру. Преграде су од пуне опеке зидане у кречном или продужном малтеру. Зидови су малтерисани кречним малтером и бојени. Кровови су вишеводни, класичне конструкције од пуног дрвета. Кровни прокривач је цреп, пресовани или вучени. Детаљан приказ објеката са изабраном фотодокументацијом дат је у делу динамичке анализе, у примерима.



Слика 11: Каменолом „Дреновац“ са окружењем

На основу положаја и близине каменолому, издвајају се три скупине објеката које су најизложеније дејству радова на минирању:

- скупина објеката на источној страни, у усеку низ пут, у непосредној близини каменолома (мерно место 3 – ММ3)

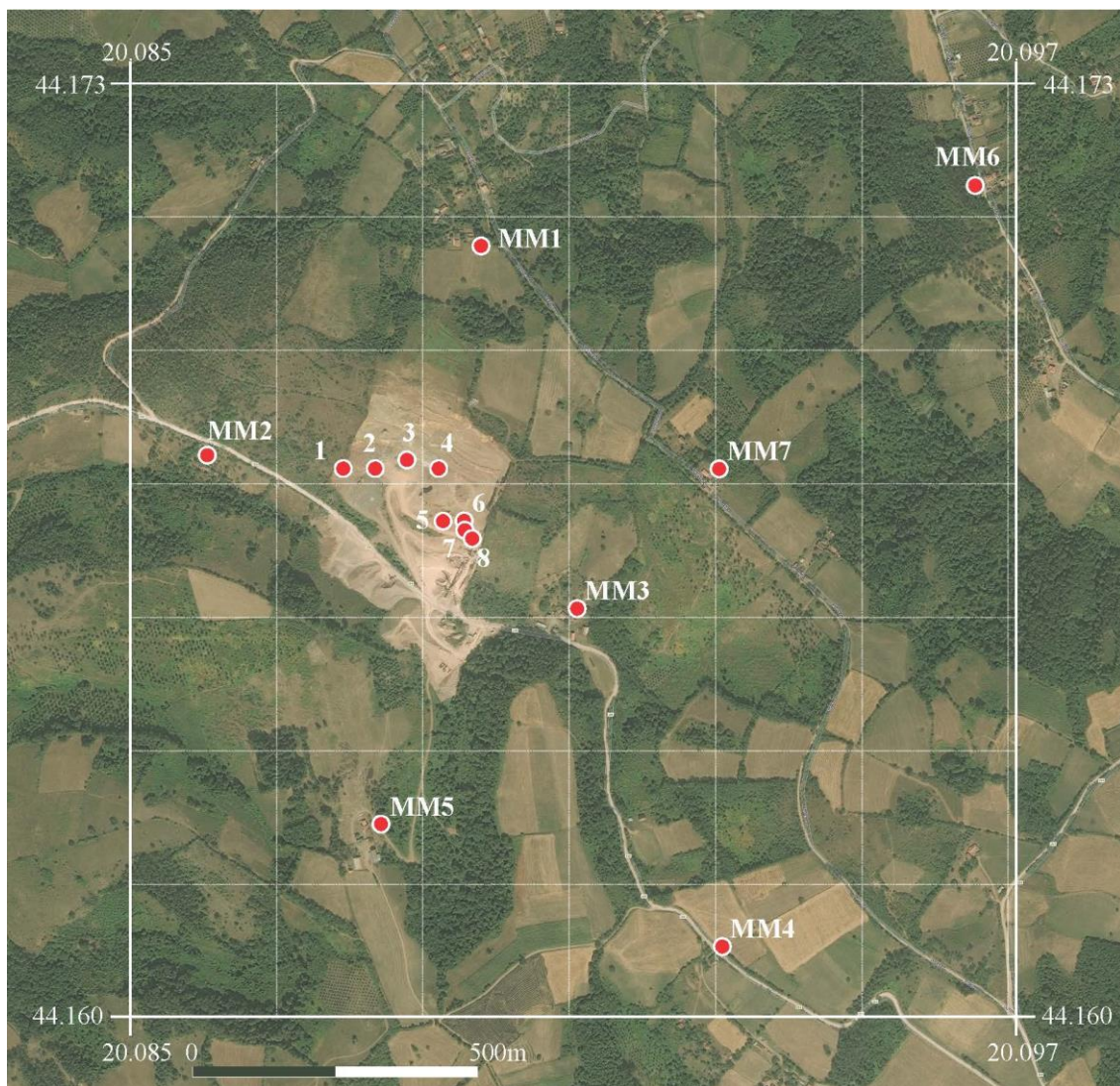
- скупина објеката на јужној страни, на брежуљку преко пута каменолома, на удаљењу од око 500 метара (мерно место 5 – ММ5)
- скупина објеката североисточно од каменолома на истом масиву на коме је и каменолом, на удаљењу од око 350 метара (мерно место 7 – ММ7).

Табела 10 приказује главне параметре изведеног минарања, док Слика 12 приказује позиције мерних инструмената и места минарања.

Табела 10: Главни параметри минарања.

Број експлозивних пуњења	Број минерских бушотина	Максимално пуњење по интервалу успорења (kg)	Укупно пуњење (kg)	Број мерних места	Укупни број записа потреса
8	210	32-85,2	600-1988,6	6	32

Брзина осциловања тла индуковане минарањем је измерена мобилним сеизмографом типа Vibralok, са опсегом фреквенције од 2 – 250 Hz, дискретизирањем од 1.000 Hz и мерним опсегом од 0,1–200 mm/s.



Слика 12: Позиција мерних места (MM1-MM7) и места минирања (1-8) у каменолому „Дреновац“

3.2. Анализа вибрације тла изазваног минирањем: предвиђање максималне брзине осциловања тла коришћењем конвенционалних једначина

Како би се развио исправан и тачан модел предикције максималне брзине осциловања тла, уобичајено је коришћење емпиријских једначина пригушења, које представљају предиктивни модел за максималне брзине осциловања тла као функције за редуковано растојање, коју су већ користили Erarslan et al. (2008), Iphar et al. (2008), Kuzu (2008). Бројни конвенционални предиктори које предлажу разни истраживачи [Табела 11: Duvall and Petkof 1959; Langefors and Kihlstrom 1963; Davies et al. 1964; Ambraseys and Hendron 1968; Singh and Roy 1993]. Ове једначине су развијене на основу претпоставке да укупна енергија померања тла индукована

минирањем варира директно пропорционално тежини детонираних експлозивних материјала и индиректно пропорционално раздаљини од тачке детонације (Табела 11). Мора се нагласити да крајњи циљ овог истраживања није да се процењују постојећи конвенционални предиктори, већ да се процени њихова моћ предвиђања за конкретан случај истраживања. [Iphar et al. 2010].

Табела 11: Различити конвенционални предиктори.*

Конвенционални предиктори	Једначине
Duvall-Petkof (USBM) (1959)	$v = K \left[R / \sqrt{Q_{\max}} \right]^{-B}$
Langefors-Kihlstrom (1963)	$v = K \left[\sqrt{(Q_{\max} / R^{2/3})} \right]^B$
General predictor (Davies et al. 1964)	$v = KR^{-B} (Q_{\max})^A$
Ambraseys-Hendron (1968)	$v = K \left[R / \sqrt[3]{Q_{\max}} \right]^{-B}$
Singh-Roy (CMRI) (1993)	$v = n + K \left[R / \sqrt{Q_{\max}} \right]^{-1}$

* v је максимална брзина осциловања тла (Peak Particle Velocity – PPV) у mm/s, Q_{\max} је максимално експлозивно пуњење по интервалу успорења, у kg, R је удаљење између места експлозије и мерног места потреса, у m, и K, B, A, α, n су константе терена на коме се минира.

Константе терена су одређене вишеструком регресионом анализом укупних забележених мерења (Табела 12).

Табела 12: Срачунате вредности константи терена. Скраћенице LK, GP и AH су за Langefors-Kihlstrom, General predictor и Ambraseys-Hendron, респективно

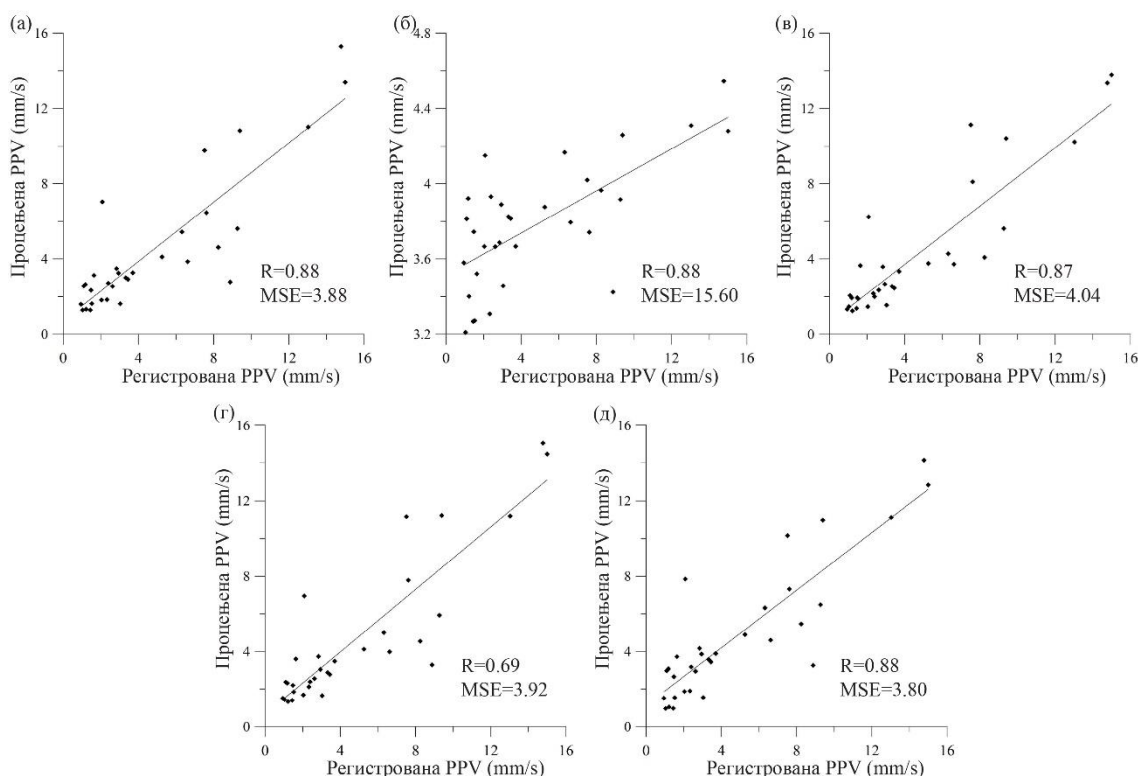
Константе терена										
USBM		LK		GP			AH		CMRI	
K	B	K	B	K	B	A	K	B	n	K
3659	1,70	3,82	0,43	56954,05	1,87	0,41	19608	1,81	-3,03	430,7

Коефицијент корелације (R) и средња квадратна грешка (MSE) за забележену максималну брзину осциловања тла (PPV) спрам максималне брзине осциловања тла предвиђене конвенционалним предикторима, приказује Табела 13. Однос између измерене и предвиђене максималне брзине осциловања тла приказује Слика 13.

Табела 13: Коefицијент корелације (R) и средња квадратна грешка (MSE) за забележену максималну брзину осциловања тла (PPV). Скраћенице LK, GP и AH су за Langefors-Kihlstrom, General predictor и Ambraseys-Hendron, респективно

Линеарна регресија									
USBM		LK		GP		AH		CMRI	
R	MSE	R	MSE	R	MSE	R	MSE	R	MSE
0.88	3.88	0.88	15.60	0.87	4.04	0.69	3.92	0.88	3.80

На основу приказа који следи (Слика 13), јасно је да све предикторске једначине, изузев предиктора Амбрасеис–Хендрон, дају доста висок коefицијент корелације, у опсегу $R = 0,87 - 0,88$. Имајући у виду ранија истраживања на ову тему, вредност коefицијента корелације изнад 0,8 показује да подаци мерења могу да се користе за предикцију максималне брзина осциловања тла примењујући конвенционалне предикторске једначине [Kahriman et al. 2006; Iphar et al. 2009].



Слика 13: Измерене вредности према конвенционалним предикторима предвиђеним вредностима PPV: (а) USBM, (б) Langefors-Kihlstrom, (в) General predictor, (г) Ambraseys-Hendron, (д) CMRI.

3.3. Предвиђање максималне брзина осциловања тла коришћењем вештачке неуронске мреже

Током следећег корака у изради ове анализе, развијен је модел неуронских мрежа коришћењем истог приступа као и код Моњезија и др. [Monjezi et al. 2013] са укупним експлозивним пуњењем, максималним пуњењем по интервалу успорења, растојањем од места минирања до мерног места као улазним параметрима, док је максимална брзина осциловања тла узета као једини излазни параметар (Табела 14).

Табела 14: Улазни и излазни подаци за тренирање вештачке неуронске мреже

Подаци	Параметар	Опсег
		Дреновац
Улазни	Укупно експлозивно пуњење (kg)	600 – 1988,6
	Максимално пуњење по интервалу успорења (kg)	32 – 85,2
	Удаљење од места минирања (m)	210,96 – 737,38
Излазни	Максимална брзина осциловања (mm/s)	0,949 – 14,997

У овом раду, одабрана је трослојна вештачка неуронска мрежа са повратним простирањем са Левенберг–Маркарт (Levenberg–Marquardt) алгоритмом, са циљем да се створи адекватан модел вештачких неуронских мрежа за предикцију максималне брзине осциловања тла на основу забележених података. Овај алгоритам се иначе сматра најбржим методом за тренинг неуронских мрежа умерених величина са рекурентним везама [Tiryaki 2008], и обично се препоручује као главни избор за супервизирано учење, као што је овде случај [Hagan and Menhaj 1994]. Што се тиче функције активације, примењује се сигмоидна функција као најуобичајенија функција трансфера која се проналази у литератури [Sonmez et al. 2006].

Табела 15: Претпоставке коришћене за одређивање броја неурона у скривеном слоју

Претпостављене вредности	Срчунат број неурона	Референце
$\leq 2 \times Ni + 1$	≤ 7	Hecht-Nielsen (1987)
$3 \times Ni$	9	Hush (1989)
$(Ni + No)/2$	2	Ripley (1993)
$\frac{2 + No \times Ni + 0,5No \times (No^2 + Ni) - 3}{Ni + No}$	1	Paola (1994)
$2Ni/3$	2	Wang (1994)
$\sqrt{(Ni + No)}$	2	Masters (1993), Kaastra and Boyd (1996)
$2Ni$	6	Kanellopoulas and Wilkinson (1997)

Ni - број улазних неурона, No - број излазних неурона

Што се тиче архитектуре мреже, један скривени слој је одабран за ово истраживање, по препорукама Румелхарта и др. [Rumelhart et al. 1986], Липмана [Lipmann 1987] и Сонмеза и др. [Sonmez et al. 2006]. Број скривених неурона је одређен хеуристичком методом коју су приказали Sonmez et al. (2006). Као што јасно приказује Табела 15, број неурона који могу да се користе у скривеном слоју варира од један до девет. У овом истраживању, број скривених неурона је 2, 6 и 9, одвојено, како би се успоставила најефикаснија архитектура вештачке неуронске мреже.

У свим испитаним случајевима, свеукупни подаци су подељени на следећи начин: 50 % за тренинг (16 записа), 25 % за валидацију (8 записа) и 25 % за тестирање (8 записа), што у потпуности одговара препорукама Лонија (Looney 1996), који је предложио 25 % за тестирање, и препорукама Нелсона и Илингворта [Nelson and Illingworth 1990] који су заступали идеју да 20 – 30 % података треба да служи тестирању.

Мора се нагласити да анализа овог релативно малог броја података може да доведе до двосмислених резултата и тумачења. Међутим, када се ради о примени приступа вештачких неуронских мрежа за предикцију вибрација насталих услед експлозије, анализа малих група података није неуобичајена. Mohamadnejad et al.

(2012) су такође испитивали мали број података (37) користећи методу алгоритма подржавајућих вектора и регресиону неуронску мрежу и добили прилично високу тачност предвиђања. ($R^2 = 0,92$). Поред тога, Monjezi et al. (2013) су развили четворослојну неуронску мрежу са везама које увек иду ка следећем слоју са повратним простирањем користећи само 20 сетова података. И у овом случају је добијена висока тачност предвиђања ($R^2 = 0,927$).

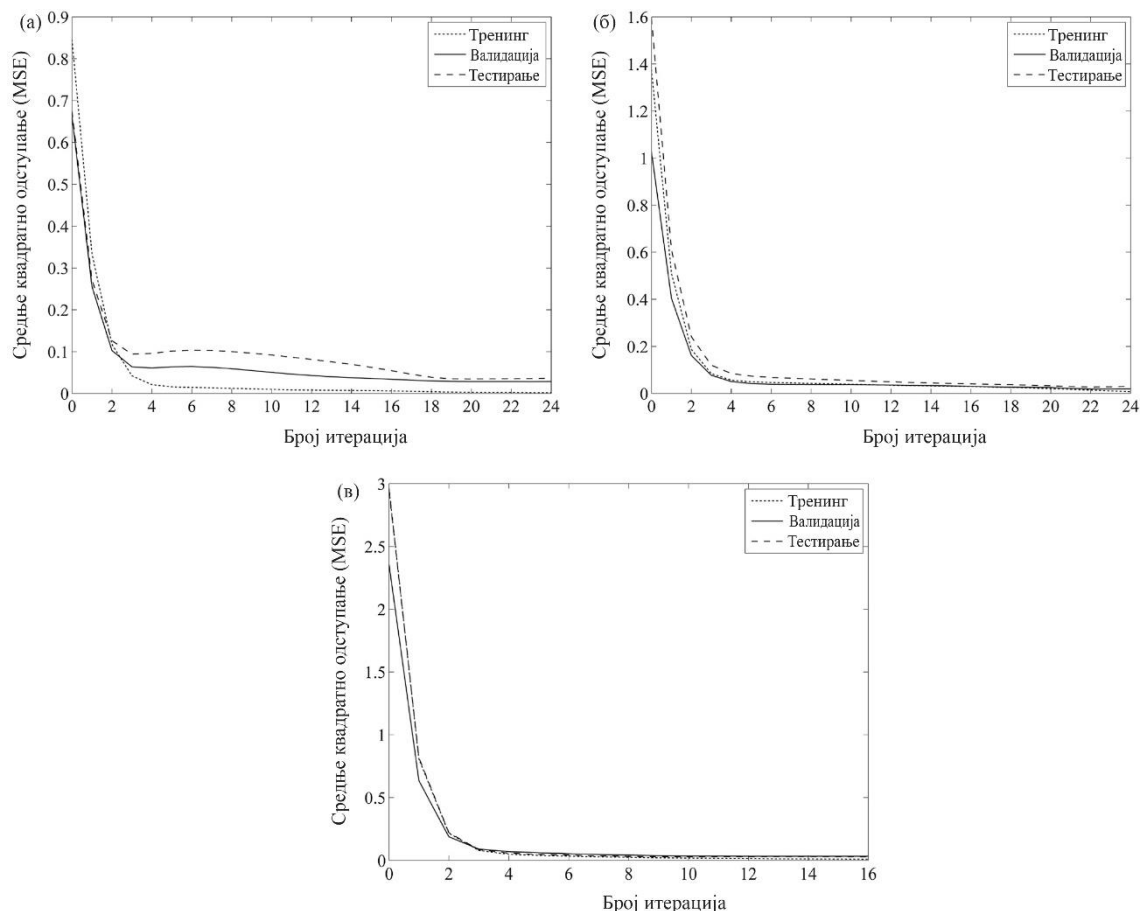
Могуће архитектуре вештачких неуронских мрежа су трениране коришћењем комбинација бројева горе дефинисаних скривених неурона. С обзиром на различитие јединице мерама потребно је да се вредности улазних и излазних параметара скалирају између 0 и 1:

$$\text{скалирана вредност} = \frac{\text{максимална вредност} - \text{нескалирана вредност}}{\text{максимална вредност} - \text{минимална вредност}} \quad (1)$$

На тај начин су нумеричке вредности анализираних параметара сведене на опсег од [0, 1].

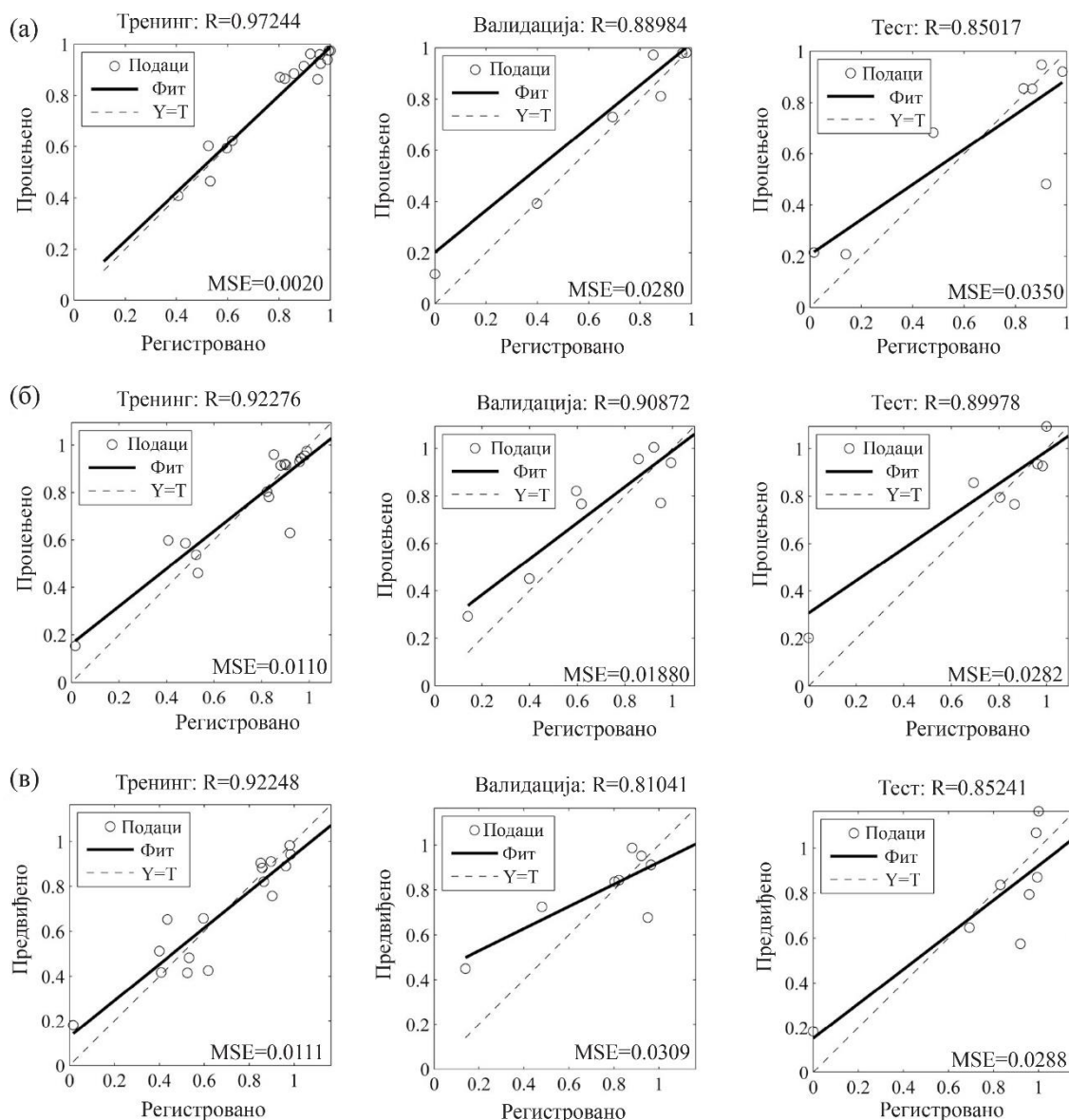
Како би се избегла могућа појава презасићења (overfitting), због малог узорка података, примењује се критеријум раног заустављања [Yuan et al. 2007]. Будући да се користи брзи алгоритам Левенберг–Маркарт за тренирање, адаптивна вредност μ и њен фактор опадања и раста су подешени на 1, 0,8 и 1,5, тако да је конвергенција спора.

Вредности средње квадратне грешке спрам броја корака учења у тренирању и тестирању, уз коришћење различитог броја скривених неурона приказује Слика 14. Најбоља валидација перформанси се приказује на итерацији 23, за случајеве са 2 или 6 скривених неурона, а на итерацији 14, за случај са 9 скривених неурона. Јасно је да су резултати прихватљиви и без значајног презасићења у свим испитиваним случајевима, будући да грешке из групе за тренинг и за валидацију имају слична својства. Овакав резултат одговара ранијим анализама које сведоче да велике неуронске мреже са повратним простирањем имају склоност да науче моделе сличне онима које су научиле мање мреже [Lawrence and Giles 2000].



Слика 14: Средња квадратна грешка спрам броја корака учења у тренирању и тестирању, уз коришћење различитог броја скривених неурона: **а)** два, **б)** шест и **в)** девет.

Перформансе предложених модела неуронских мрежа са редукованим растојањима за сетове за тренинг, валидацију и тестирање, приказује Слика 14 за испитане случајеве са различитим бројем скривених чворова. Очигледно, излаз веома добро прати циљне вредности у свим испитаним случајевима. Међутим, у случају са два скривена чвора који је приказује Слика 15а, средња квадратна грешка за сет за валидацију и тестирање (0,028 односно 0,035), је много већа у поређењу са сетом за тренирање (0,002). Поред тога, коефицијент корелације за сет за тренирање, $R \approx 0,97$ је много већи у поређењу са сетом за валидацију и тестирање (0,89 односно 0,85). Слични закључци могу да се изведу и из случаја са девет скривених неурона (Слика 15ц). Испоставља се да модел вештачке неуронске мреже са шест скривених неурона има највећу моћ предикције, будући да је коефицијент корелације сета за тренинг, валидацију и тестирање скоро исти ($R \geq 0,9$), са средњом квадратном грешком у опсегу од 0,011–0,0282.



Слика 15: Поређење процењених и регистрованих вредности максималне брзине осциловања тла (PPV) за тренирање, валидацију и тестирање (скалиране вредности) за а) два, б) шест и в) девет скривених чворова

3.4. Утицај минирања на суседне конструкције: процена потенцијалних оштећења на основу максималне брзине осциловања тла и фреквенције

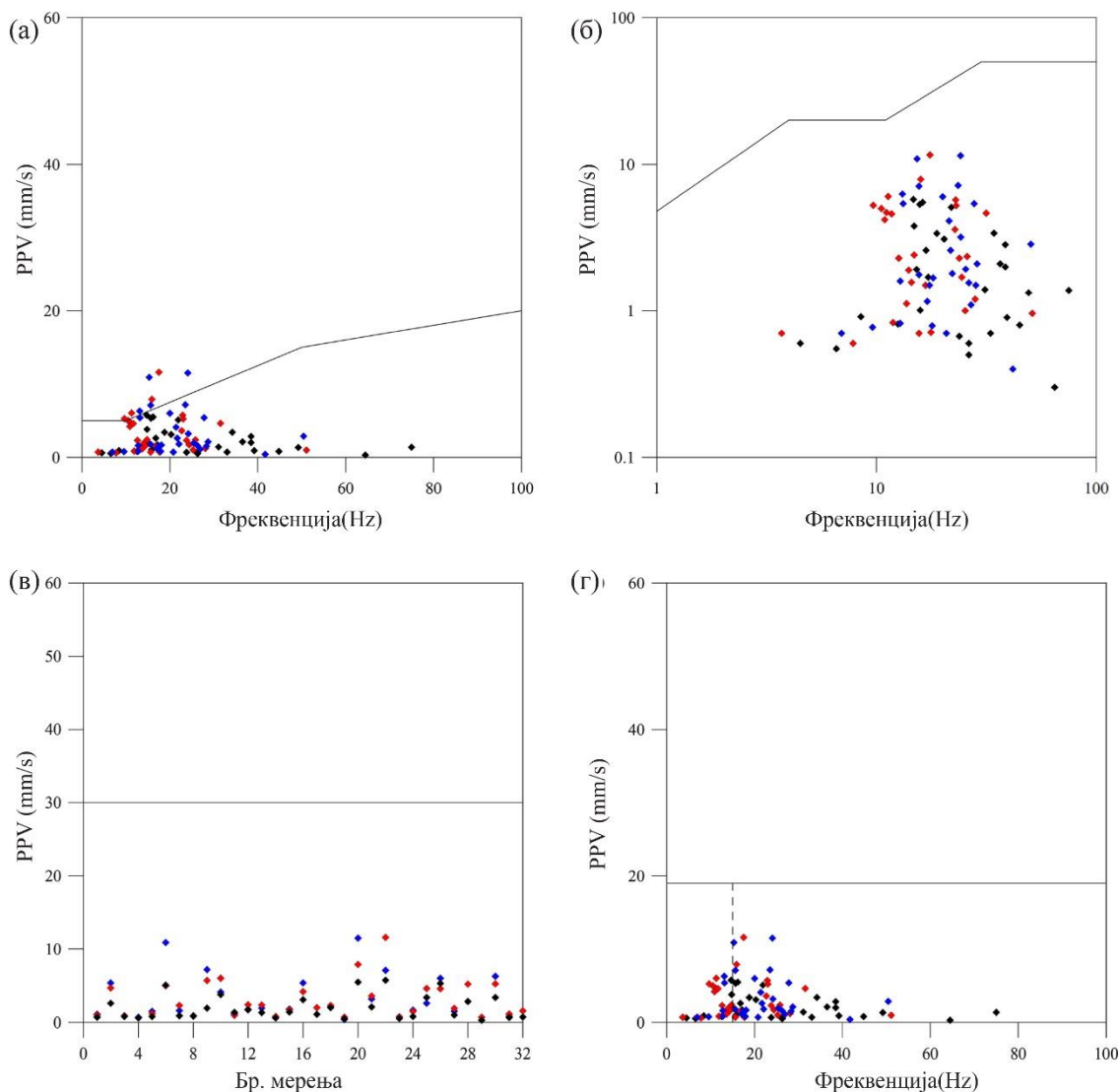
Главни циљ минирања је био да се процене могући ефекти померања тла изазваног експлозијама на суседне стамбене зграде. Са тим у вези, као што је већ наведено у уводном делу, инструменти за мерење су били смештени испред околних зграда како би се добили поуздани подаци за процену штете изазване експлозијом. Што се тиче постојећих конструкција у близини анализираних каменолома, ово истраживање се фокусира на шест приватних кућа истих конструктивних карактеристика, али различитих димензија. Ови објекти спадају у зидане конструкције, са темељима од неармираног и армираног бетона. Новији објекти имају армиранобетонске серклаже. Спратни објект има армиранобетонску таваницу од опекарских пунилаца (ТМ).

У дисертацији, будући да не постоје локални прописи који се тичу утицаја експлозије на околне објекте, потенцијално оштећење објеката процењено је на основу најчешће примењиваних критеријума који дефинишу границе за конструктивна оштећења као функцију максималне брзине осциловања тла и фреквенцију експлозије. Слика 16а приказује процену потенцијала за оштећење на мерним местима за изведене експерименталне експлозије у складу са горенаведеним критеријумима према стандардима ДИН (Немачки институт за стандардизацију 1986) и УСБМ – Бироа за рударство САД-а [Siskind et al. 1980a].

На основу ове анализе, јасно је да, у складу са критеријумом УСБМ (Слика 16б), изведене експлозије не могу да нанесу штету на конструкцијама. Међутим, критеријум ДИН (Слика 16а) показује приближно десет случајева изван граница предвиђених за објекте категорије II. Иако су ови резултати мерења далеко испод горње границе за објекте прве категорије („индустријски објекти“), треба имати на уму да би ове вибрације ипак могле да проузрокују конструктивна оштећења нарочито уколико је објект стар или лоше саграђен.

На овој слици (Слика 16), различитим бојама су приказани подаци о различитим компонентама брзине: црвена, плава и црна означавају попречну, подужну, односно вертикалну компоненту. Мора се напоменути да посматране

зграде припадају другој категорији објеката према стандардима ДИН, тако да је приказана само доња граница (Слика 16).

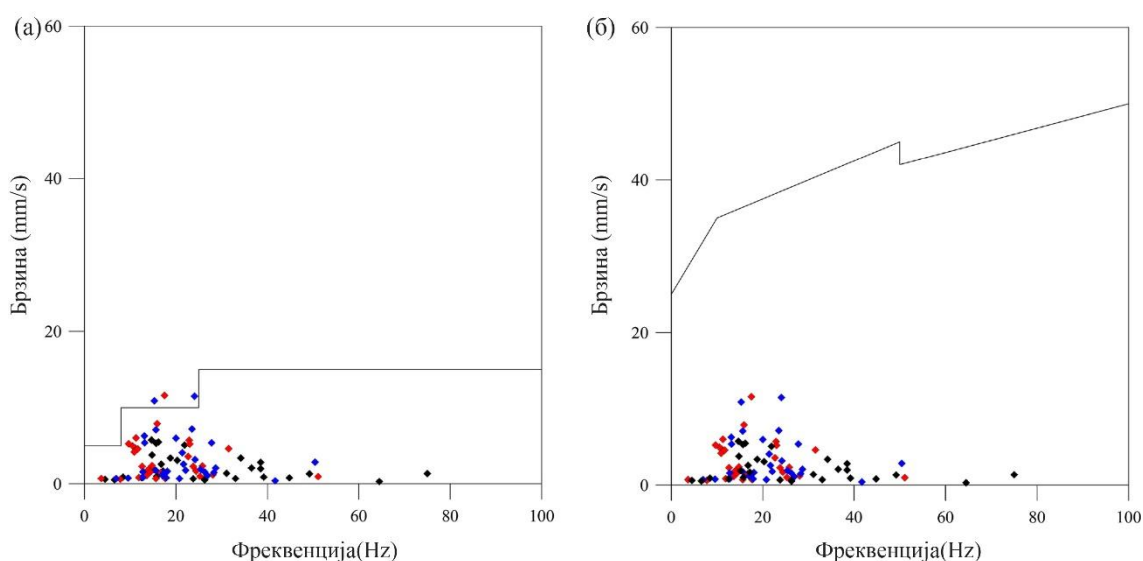


Слика 16: Процена потенцијала за оштећење: а) ДИН 4150, б) УСБМ, в) СССР стандард и г) Аустралијски стандард

Поред ова два широко распрострањена критеријума, често се примењује и критеријум СССР-а, поготову у земљама источне Европе [Singh and Roy 2010]. Према овом критеријуму, максимална дозвољена брзина осциловања тла, поновљена и једнострука, за све типове стамбених зграда је 30 и 60 mm/s, што је значајно изнад максималне забележене брзине осциловања тла у анализираном случају, 14,997 mm/s (Слика 16в). Са друге стране, аустралијски стандарди (2006) предвиђају максималну брзину од 19 mm/s за фреквенцију већу од 15 Hz, за куће и ниске стамбене зграде што је такође изнад забележених вибрација тла (Слика 16г).

Процена критеријума оштећења према индијским стандарима ДГМС (Tech) S и T Circular No. 7 (1997) приказује Слика 17а, док ниво забележене брзине тла проузроковане вибрацијском фреквенцијом процењен на основу кинеских безбедносних прописа GB6722-201X, приказује Слика 17б.

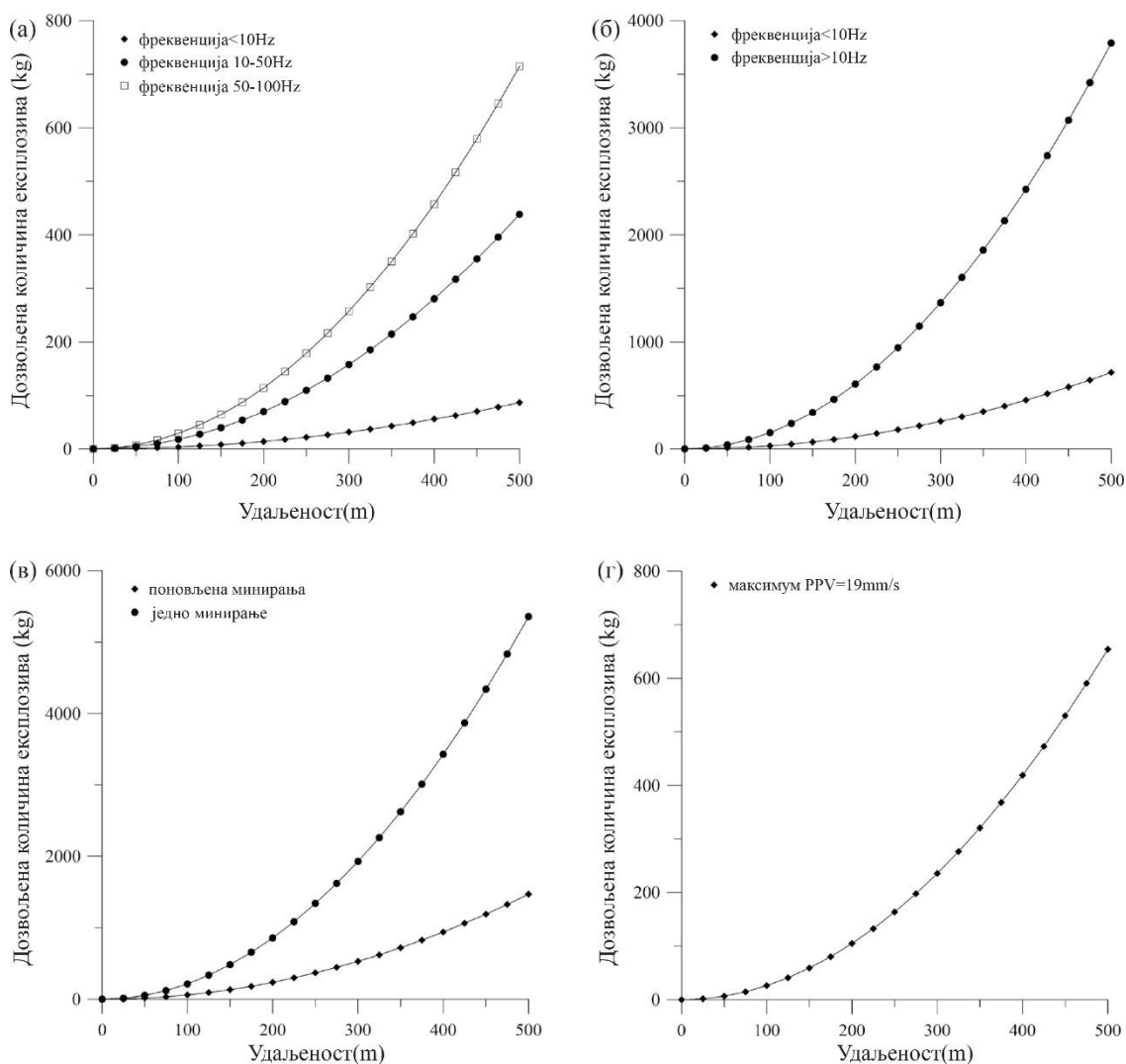
Слика 17а приказује горњу границу која је дата само за локалне куће/објекте, које не припадају власницима, док Слика 17б приказује горњу границу за зграде од армираног бетона. Као и на претходној, и на овој слици (Слика 17), различите боје означавају податке различитих компонената брзине: црвена, плава и црна означавају попречну, подужну, односно вертикалну компоненту.



Слика 17: Процена потенцијала за оштећење: а) ДГМС (Tech) S и T Circular No. 7 (1997) б) Кинеских безбедносних прописа GB6722-201X

Као што може да се примети, према совјетским, аустријским и кинеским критеријумима, не треба очекивати никакву штету на конструкцијама, док три забележене вредности максималне брзине осциловања тла премашују горњу границу (Слика 17а - ДМГС), што указује на потребу да се пројекти минирања пажљивије изводе како би се смањила могућност настанка било каквих оштећења на суседним објектима. Како би се даље проценио ефекат експлозија на суседне објекте, резултати мерења могу да се изведу из једначина пригушења специфичних за конкретан терен са највишим R и са најнижом средњом квадратном грешком (ЦМРИ предиктор, Табела 13), како би се добиле табеле за минирање које ће се примењивати у наредним операцијама минирања, користећи границе за оштећење

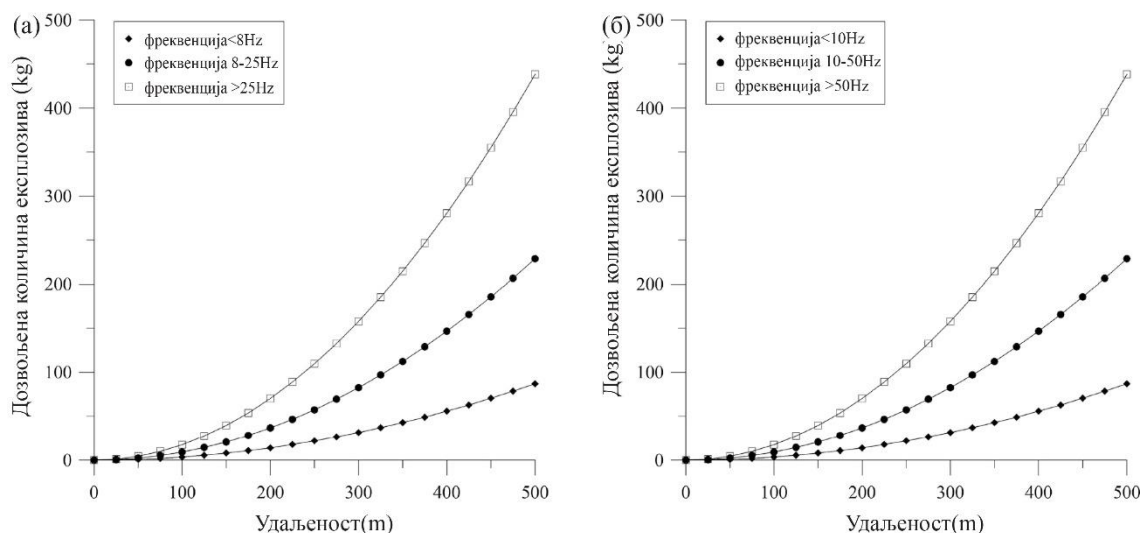
предвиђене горенаведеним критеријумима. Сличан приступ је већ примењен код Ozer et al. (2008), Ak et al. (2009), Dogan et al. (2013).



Слика 18: Дијаграми за минирање за стандарде: а) ДИН 4150, б) УСБМ, в) СССР, г) Аустралијски

За изведену експлозију, анализе фреквенција су резултирале групама у распону од 3,7–75 Hz. Одговарајуће максималне дозвољене вредности брзине осциловања тла за „стамбене зграде“ износе 5 mm/s за фреквенције <math>< 10\text{ Hz}</math>, 15 mm/s за фреквенције у распону 10 – 50 Hz и 20 mm/s за фреквенције у распону 50 – 100 Hz, према стандарду ДИН. Са друге стране, максимале дозвољене вредности брзине осциловања тла према стандарду УСБМ износе 19 mm/s за фреквенције <math>< 10\text{ Hz}</math>, и 51 mm/s за више фреквенције. Коришћењем конвенционалних једначина са највећим вредностима R и најмањим вредностима средње квадратне грешке (предиктор ЦМРИ) однос између дозвољене количине експлозива и раздаљине, то

јест, применљиви дијаграм за минирање, добија се из датог конструктивног типа према сваком стандарду, као што приказују Слика 18а и Слика 18б. Сличан приступ је употребљен и за остале претходно анализирани стандарде вибрација: према совјетским стандардима, максимална дозвољена брзина осциловања тла је 30 mm/s за поновљене експлозије, а 60 mm/s за једноструке експлозије (Слика 18ц). Према аустралијским прописима, максимална дозвољена брзина осциловања тла износи 19 mm/s (Слика 18д).



Слика 19: Дијаграм за минирање за а) ДМГС, и б) Кинески GB6722-201X

Прописи ДМГС предвиђају максималну брзину од 5 mm/s за фреквенцију са доминантном екситацијом $< 8\text{ Hz}$, 10 mm/s, за фреквенције у опсегу 8 – 25 Hz, и 15 mm/s, за фреквенције $> 25\text{ Hz}$ (Слика 19а). Са друге стране, према кинеским безбедносним прописима GB6722-201X, максимална брзина од 35 mm/s предвиђа се за фреквенције $< 10\text{ Hz}$, 45 mm/s за фреквенције у опсегу 10–50 Hz и 50 mm/s за фреквенције $> 50\text{ Hz}$ (Слика 19б).

Изузев претходно анализираних стандарда вибрације, и други стандарди се понекад користе за процену штете на објектима настале услед експлозија. Крандел (Crandell 1949) је указао на корелацију између безбедности објеката и релативне енергије (ER), као очитану функцију убрзања честица и фреквенције или брзине. Зелер (Zeller 1931, 1933, 1949) је предложио посебну лествицу према Зелеровој снази вибрација, као функцију измерене брзине и фреквенције. Поред тога, Зелер је развио посебан параметар вибрације, назван Снага, изражен у јединицама

„вибрирања“, који приказује размеру Зелерове снаге према њеној фреквентној вредности од $0,1 \text{ cm}^2/\text{s}^3$ [Steffens 1974].

3.5. Утицаји натпритиска ваздушног удара

Динамички натпритисак у ваздуху је мерен микрофонима повезаним на канале за ваздушни удар на мерним инструментима. Натпритисак ваздушног удара је мерен у распону од 2 – 150 Pa. Микрофони имају реакцију оперативне фреквенције од 2 до 250 Hz, што је довољно за тачно мерење натпритиска у фреквенцијским опсезима критичним по грађевине и по људски слух. (Raina et al. 2004; Khandelwal i Singh 2005). Натпритисак индукован ваздушним ударом је мерен на четири различита распојања у односу на место експлозије (Табела 16).

Табела 16: Измерене вредности ваздушног натпритиска

Запис бр.	Удаљење од места експлозије до мерног места (m)	Укупна количина експлозива (kg)	Минимална количина експлозива по интервалу успорења (kg)	Ваздушни натпритисак	
				(Pa)	(dB)
M1	647.42	661.4	36.2	22.4	120.98
M2	605.54	1980.6	71.2	2.7	102.61
M3	616.35	915.3	66.2	3	103.52
M4	644.64	915.3	66.2	25.2	122.01

Када се говори о могућим оштећењима изазваним натпритиском ваздушног удара (ломљење стакала), уобичајена граница је 134 dB, како је препоручено у извештају Бироа за рударство САД-а (УСБМ) (Siskind et al. 1980b). Наиме, граница од 134 dB је половина надпритиска ваздушног удара од 140 dB који је био дугогодишњи уобичајени стандард за минирања у грађевини и рудницима. Ниједна од ових вредности не узоркује ломљење стакала, нити оштећења конструкције. (Kuzu et al. 2009). Правилник о техничким нормативима и руковању експлозивним средствима и минирању у рударству (1988) даје дозвољене вредности надпритиска у функцији са учесталашћу детонација, у распону од 100–500 Pa (Табела 17).

Табела 17: Највеће дозвољене вредности ваздушног натпритиска у функцији од учесталости детонације (Правилник о техничким нормативима и руковању експлозивним средствима и минирању у рударству 1988)

Учесталост детонација	Максимално дозвољено повећање ваздушног натпритиска код детонације
Свакодневно по више детонација	Мора се извршити контролно мерење јачине ваздушног удара и утврдити граница која не сме бити већа од 100 Pa
Највише два пута недељно по више детонација	До 100 Pa
Највише две детонације недељно	До 200 Pa
Највише две детонације месечно	До 300 Pa
Највише две детонације годишње	До 500 Pa

Јасно је да је у свим испитаним случајевима, надпритисак ваздушног удара много испод предвиђених граница (Табела 16 и Табела 17) будући да је учесталост детонација највише два пута недељно.

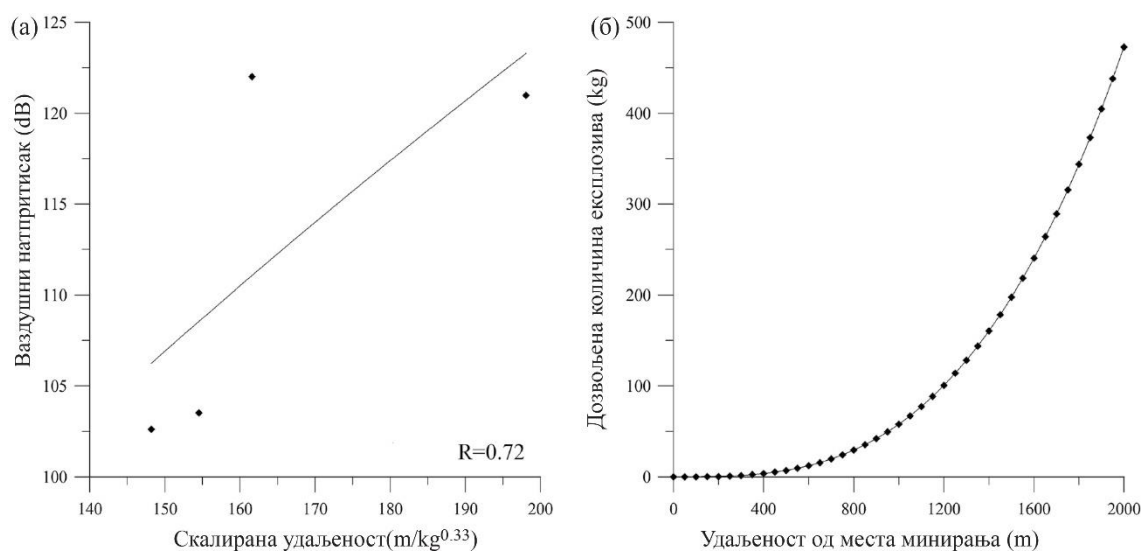
Осим тога, слично као и у претходном случају померања тла изазваног експлозијом, дозвољена количина експлозива може да се одреди као функција растојања од места детонације и дозвољеног надпритиска ваздушног удара. Према Правилнику о техничким нормативима и руковању експлозивним средствима и минирању у рударству (1988), за највише две детонације недељно, дозвољен надпритисак ваздушног удара износи 200 Pa. Користећи емпиријску формулу (2) коју предлажу Kuzu et al. (2009):

$$AOp = k \left(\frac{R}{(Q_{\max})^{0.33}} \right)^{-\beta} \quad (2)$$

где је AOp – надпритисак ваздушног удара (dB), k и β фактори терена, R растојање од места минирања до мерног места, Q_{\max} представља максимално пуњење по интервалу успорења. Фактори терена се одређују на основу забележених вредности које приказује Табела 16 (Слика 20а).

На основу једначине (2) и одређених вредности фактора терена (Слика 20а), могуће је конструисати табелу са дозвољеним количинама експлозива као функцијом растојања од места минирања, за максималну дозвољену вредност надпритиска ваздушног удара (140 dB), према Правилнику о техничким

нормативима и руковању експлозивним средствима и минирању у рударству (1988). Овај дијаграм приказује Слика 20б.



Слика 20: а) Одређивање фактора места k (8,18) и β (0,51) за једначину (2), на бази измерених вредности ваздушног притиска и редукованог растојања, б) дијаграм за дозвољену количину експлозива (kg) у функцији раздаљине од места минирања до мерног места.

Неопходно је нагласити да је главно ограничење овог истраживања мали број сетова података, што може имати утицаја на добијене резултате, а самим тим довести и до неизвесних тумачења и закључака. Следствено томе, примењен је критеријум раног заустављања како би се избегло презасићење, чиме су добијени прихватљиви резултати и предикторски модели. Треба међутим истаћи да предложена вештачка неуронска мрежа свакако може да се унапреди анализирањем већих сетова података, чиме би се повећале тачност и поузданост предложеног модела.

Када се говори о утицају вибрација терена на суседне објекте, потврђено је да се у највећем броју анализираних случајева, забележене брзине (и одговарајуће фреквенције) испод дозвољених вредности за дату категорију објеката. Међутим, неколико случајева са вишим измереним вредностима (према стандардима ДИН 4150 и ДМГС) указују на потребу да се пројекти минирања пажљивије изводе како би се избегла могућа конструкцијска оштећења.

4. МОДЕЛОВАЊЕ И ДИНАМИЧКА АНАЛИЗА УТИЦАЈА ПОТРЕСА ОД МИНИРАЊА НА ОКОЛНЕ АРХИТЕКТОНСКЕ ОБЈЕКТЕ.

На бројним локацијама у многим земљама (Аустралија, Малезија, Сједињене америчке државе ...) примећено је да су становници који живе у близини површинских копова склони да, пошто осете вибрације услед минирања, траже и пронађу оштећења на својим кућама, и да их одмах припишу утицају минирања. С друге стране, промене услед природних узрока као што су скупљање бетона и малтера, слегање темеља, температурне промене не наводе се као узрочници оштећења, вероватно због њиховог постепеног вишегодишњег дејства.

Постоји један број истраживања и студија утицаја вибрација изазаваних минирањем на оштећења објеката у окружењу, али се скоро све заснивају на посматрању, понекад вишегодишњем, развоја оштећења, углавном видних прслина, на зидовима и елементима конструкције. Овакве студије обезбеђују поуздане податке о оштећењима, али само посматраних објеката. На основу резултата ових студија може се доказати да ли серије изведених минирања на посматраној локацији утичу на развој оштећења појединачног, посматраног објекта. Међутим, оваквим приступом није могуће утврдити да ли је минирање узрок повећања оштећења која већ постоје. Такође, није могуће утврдити да ли ће и каквих оштећења бити на другачијим објектима на другим локацијама, који нису били предмет посматрања.

Савремене методе динамичке анализе конструкција омогућавају да се анализирају промене понашања архитектонских објеката под утицајем потреса услед минирања, путем директног увођења временских серија брзина и убрзања осциловања тла у динамичку анализу. На тај начин овај поступак омогућава ширу анализу утицаја потреса од минирања на објекте у односу на конвенционални приступ који се заснива на коришћењу вибрационих стандарда и посматрање постојећих објеката изложених дејству минирања.

Предложеним поступком могуће је израчунати стање напрезања и деформација различитих типова конструкција архитектонских објеката услед дејства регистрованих потреса од минирања. Анализом напрезања објеката за регистроване временске серије, могуће је утврдити под којим условима долази до

појаве оштећења објеката, и на основу тога дефинисати граничне улазне параметре минирања и удаљења објеката од центра минирања при којима настају оштећења. Штавише, будући да оваква анализа даје прецизну слику о местима највећих померања и напрезања, то омогућава истраживачима да одреде места на којима би се могла јавити оштећења услед потреса од минирања. На тим местима би требало да се појаве прва оштећења услед минирања, и то су места која треба детаљно прегледати и анализирати. Без обзира на апсолутни износ померања или напрезања, оваква анализа показује тренд, тј. начин и положај потенцијалних оштећења.

Поступак динамичке анализе у овом раду спроведен је моделовањем утицаја и објеката у близини површинског копа каменолома „Дреновац“. Измерене временске серије [Трајковић, 2009] анализирани су у академској верзији софтвера SEISMOSIGNAL, док је динамичка анализа за измерене серије и посматрене околне објекте извршена у комерцијалној професионалној верзији софтвера TOWER 7 .

Директном динамичком анализом одређен је одговор конструкције на дејство померања тла изазваног минирањем. Измерени временски запис брзина на одговарајућим мерним местима унет је као узрок принудног осциловања модела, за које је израчунат одговор конструкције. Једначина кретања концентрисаних маса моделованог објекта дата је Дијамеловим интегралом:

$$x(t) = \frac{1}{m\omega_d} \int_0^t P(\tau) e^{-\zeta\omega(t-\tau)} \sin \omega_d(t-\tau) d\tau \quad (3)$$

где је:

ζ – пригушење

$P(\tau)$ – функција промене оптерећења у зависности од времена

Пошто је временски запис произвољан и стохастичан, за решавање система диференцијалних једначина наведени софтвер користи нумеричке поступке. Укупан одговор конструкције добијен је суперпозицијом свих дејстава које су на моделоване објекте деловале у записаном временском интервалу (Ćorić i Salatić 2011).

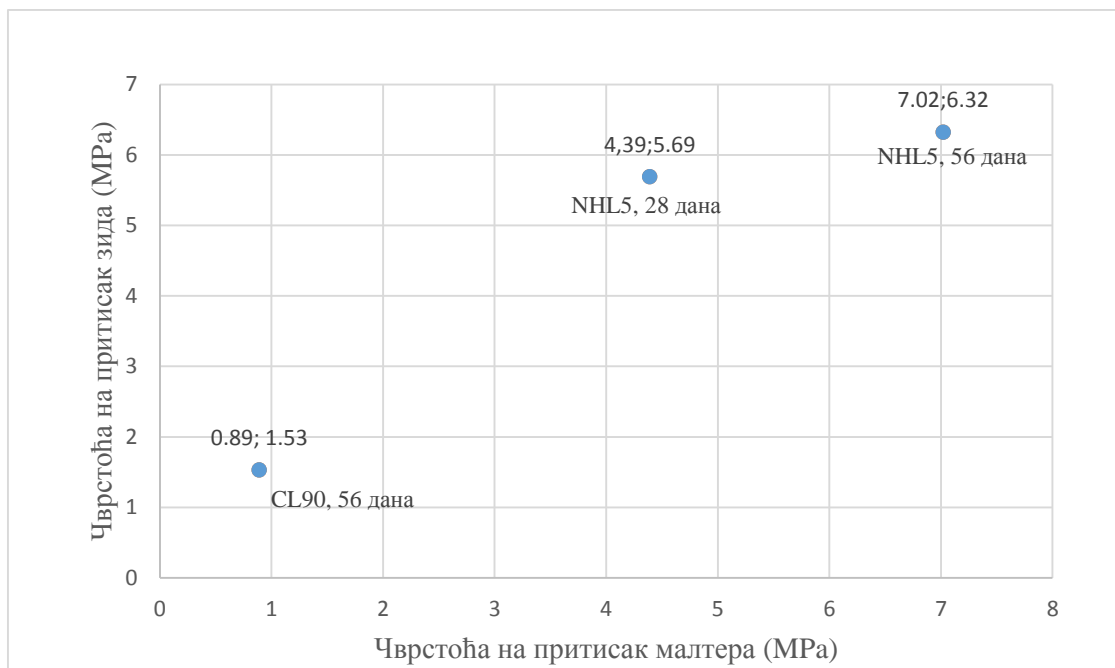
Архитектонски објекти који су предмет анализе су сеоске куће зидане од опеке у различитим периодима. Према речима власника, најстарији објекти

датирају од пре другог светског рата и грађени су од локално печене опеке. Везиво је кречни малтер справљен од просејаног речног песка, а као везиво коришћен је гашени креч, произведен у суседном месту. Објекти зидани после другог светског рата зидани су од индустријски произведене опеке, а касније од ошупљеног опекарског блока, у кречном, односно продужном малтеру.

Овако зидани зидови представљају изразито хетерогени грађевински материјал, са непознатим саставом малтера и квалитетом опеке. За потребе моделовања елемената конструкције анализираних објеката, механичке и деформационе карактеристике зидова претпостављене су на основу увида у стварно стање зиданих елемената конструкције, као и вредности које препоручују важећи прописи и истраживања. Костиган и Павиа [Costigan A, Pavía S, 2009] су испитивали механичке карактеристике кречних малтера за санацију историјских споменика, справљених од обичног и хидраулног креча, као и зидова зиданих са оваквим малтерима. Њихово истраживање је показало да код слабијих кречних малтера, справљених са обичним хидратисаним кречом (однос креч:песак 1:3) који постиже марку малтера до 1 МПа (CL90), носивост зидова зависи од везе малтера са опеком, док код квалитетнијих малтера справљених са хидрауличним кречом који постижу марке од 5 МПа (NHL5), носивост зида бива исцрпљена због отказа најлошије опеке у слогу. Однос постигнутих чврстоћа на притисак малтера и зидова приказује Слика 21. Чврстоће на савијање и чупање зидова зиданих са ова два типа кречног малтера приказује Табела 18.

Табела 18: Притисна чврстоћа, савојне чврстоће и чврстоћа на чупање зидова са кречним малтером [Costigan A, Pavía S, 2009]

Тип малтера	Старост узорка	Притисна чврстоћа (МПа)	Савојна чврстоћа паралелно са спојницама (МПа)	Савојна чврстоћа управно на спојнице (МПа)	Чврстоћа на чупање (МПа)
NHL5	28 дана	5,69	0,22	1,08	0,15
NHL5	56 дана	6,32	0,42	1,23	0,26
CL90	56 дана	1,53	0,12	0,18	0,09



Слика 21: Однос чврстоће на притисак малтера и зида после 28 и 56 дана [Costigan A, Pavić S, 2009]

Павиа и Хенли [Pavić S., Hanley R. 2010] су испитивали чврстоће малтера на чупање савијањем од опеке за различите квалитете хидрауличног креча (NHL2, NHL3,5 и NHL5, односно 2, 3,5 и 5 МПа респективно), и за различито иницијално слегање и обрадљивост кречног малтера. Резултати показују да квалитет везе малтера и опеке не зависи од чврстоће кречног малтера (како се обично мисли), већ од способности малтера да задржи воду и да везиво буде упијено у површину опеке. Други аутори [Cizer O., Van Balen K., Van Gemert D., 2008] су испитивали карактеристике продужних малтера за различите односе цемента, креча, и песка. Испитивани су цементни малтери односа везиво:песак 1:3, у којима је 30%, 50% и 70% цемента било замењено кречом (Табела 19).

Табела 19: Чврстоће на притисак и савијање продужних малтера за различите односе креча и цемента [Cizer O., Van Balen K., Van Gemert D., 2008]

Цемент (g)	Креч (g)	Вода (g)	Вода/везиво	Притисна чврстоћа (MPa)	Савојна чврстоћа (MPa)
450	-	202,5	0,45	66,0	9,9
315	135	234	0,52	38,0	7,9
225	225	270	0,60	20,0	4,9
135	315	315	0,70	6,0	1,6
-	450	392	0,87	2,0	0,4

Резултати овог истраживања показали су да додавање цемента у малим количинама (30%) знатно повећава притисну и савојну чврстоћу малтера. Исто истраживање је испитивало и утицај додавања цемента у кречну пасту (уобичајени начин за справљање малтера од гашеног креча на породичним кућама ван урбаних подручја). Резултати показују да додавање цемента у кречну пасту знатно мање поправља карактеристике кречног малтера. Малтер са 30% додатог цемента имао је слабије чврстоће него чист малтер од кречне пасте. Овај пад чврстоће је директна последица великог водовезивног односа који се налази у овако справљеним малтерима.

Табела 20: Чврстоће на притисак и савијање продужних малтера за различите односе кречне пасте и цемента [Cizer O., Van Balen K., Van Gemert D., 2008]

Цемент (g)	Креч (g)	Додата вода (g)	Укупна вода (g)	Вода/везиво	Притисна чврстоћа (MPa)	Савојна чврстоћа (MPa)
450	-	202,5	-	0,45	66,0	9,9
315	342,0	94,5	301,5	0,67	26,5	5,9
225	569,7	51,3	396,0	0,88	6,2	1,9
135	797,5	-	482,5	1,07	1,2	0,2
-	1125	-	675,0	1,50	2,1	0,4

Приказани резултати истраживања упућују на закључак да је квалитет малтера који се ручно справљају на лицу места, ретко када већи од најнижег квалитета предвиђеног прописима (ММ2).

Деформациона својства зиданих зидова од опеке дата су у функцији од притисних чврстоћа. Тако ЕУРОКОД 6 прописује да је модул еластичности 1000 пута већи од карактеристичне чврстоће зида при притиску.

$$E = K_e f_k \quad (4)$$

E – модул еластичности

K_e – коефицијент одређен националним стандардом, препоручена вредност 1000.

f_k – карактеристична чврстоћа зида при притиску

За модул смицања G може се усвојити да је $G=0,4E$.

Амерички ASTM/ASCE дефинишу модул еластичности за зидове од опеке на следећи начин:

$$E_m = 700f'_m \quad \text{за опеку} \quad (6)$$

$$E_m = 900f'_m \quad \text{за бетонске блокове} \quad (7)$$

E_m – модул еластичности

f'_m – чврстоћа зида при притиску после 28 дана

У свом раду Каушик, Раи и Јаин [Kaushik H.V., Rai D.C., Jain S.K., 2007] су показали да модул еластичности зиданих зидова варира у зависности од квалитета малтера и опеке у интервалу $250 - 1100 f'_m$, и предложили вредност од $550 f'_m$ као добру апроксимацију.

На основу наведеног може се закључити да се приликом одређивања вредности деформацијских својстава зиданих зидова објеката у близини површинског копа „Дреновац“ за потребе моделовања конструкције, морају претпоставити мале вредности чврстоћа на притисак, савијање и модула еластичности. Имајући у виду велике варијације у улазним параметрима, резултати добијени динамичком анализом више ће показивати места и врсте напрезања и деформација, него прецизно срачунате вредности. Табела 21 приказује претпостављене параметре за анализу конструкције.

Табела 21: Претпостављени деформацијски параметри за анализу конструкција објеката у околини површинског копа.

Објект	Притисна чврстоћа f_m (МПа)	Савојна чврстоћа f_{xkl} (МПа)	Модул еластичности E (МПа)
Кућа ММ5	2,0	0,1	3400
Кућа ММ6	0,5	0,05	1300
Кућа1 ММ3	1,0	0,1	2500
Кућа 2 ММ3	1,0	0,1	2500
Кућа 3 ММ3	0,5	0,05	1300
Помоћни објект ММ3	2,0	0,1	3400
Црква у Бољковцима	2,0	0,1	3400

4.1. Динамичка анализа постојећих архитектонских објеката под утицајем потреса од минирања

4.1.1. Кућа на мерном месту 5

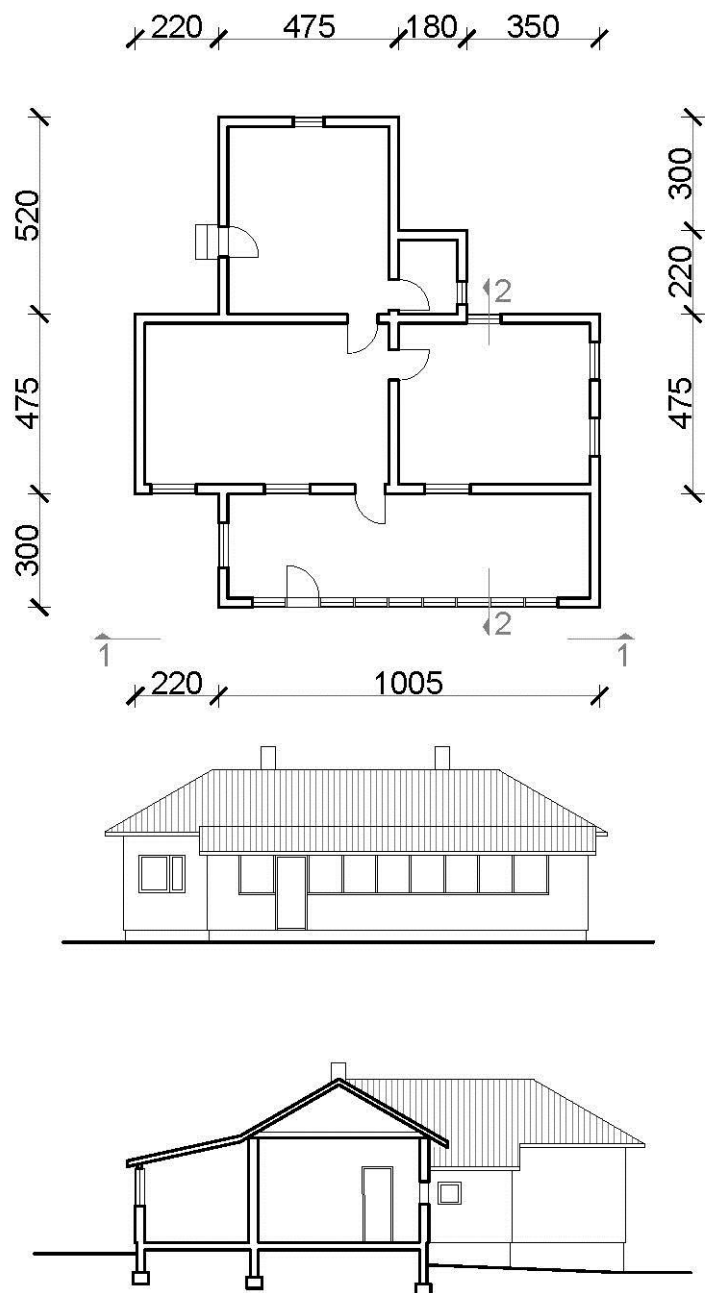
Приземна кућа на мерном месту 5 налази се на удаљењу од 500 m ваздушном линијом од каменолома Дреновац. Кућа и каменолом налазе се на суседним брежуљцима, раздваја их усек, кроз који је направљен пут за каменолом. Слика 22 приказује изглед каменолома Дреновац са брежуљка на коме се налази посматрани објект, на мерном месту 5.



Слика 22: Поглед на каменолом Дреновац са мерног места 5

Посматрани објект је изграђен током шездесетих година прошлог века. На тракастим темељима од неармираног бетона, зидани су носећи зидови пуном опеком у продужном малтеру. Армиранобетонски серклажи у зидовима нису изведени. Кров је класичан, четвороводни, а кровна конструкција је дрвена, изведена од рогова са тавањачама. Кровни покривач је жљебљени цреп. Зидови су

малтерисани продужним малтером. Слика 23 показује основу, пресек и изглед објекта.



Слика 23: Основа, изглед и пресек куће на мерном месту 5

Током седамдесетих година, са предње стране дозидан је ветробран на улазу у кућу. Зидови ветробрана су зидани фасадном опеком, на темељима од неармираног бетона. Армиранобетонски серклажи не постоје, а натпрозорници су изведени од дрвета. Кров је једноводни, кровна конструкција је дрвена, а кровни

покривач такође жљебљени цреп. Слика 24 приказује улаз у објекат, са дозиданим делом од фасадне опеке.



Слика 24: Излед куће са предње стране

Са задње стране објекта дозидана је соба, на армиранобетонским темељима. Зидови су изведени од опекарског блока, зидани у продужном малтеру, са армиранобетонским серклажима. Кров је четвороводан, дрвена кровна конструкција је уклопљена у сложен кров са кровом постојећег објекта. Фасадни зидови су омалетрисани продужним малтером. Слика 25 приказује дозидану собу, и спој са старим објектом.

У последњој фази дозиђивања зграде дозидан је санитарни чвор, на исти начин као и соба – на армиранобетонским темељима, зидовима од опекарског блока у продужном малтеру. Кров је једноводни, кровна конструкција је дрвена, а кровни покривач жљебљени цреп. Слика 26 приказује бочну страну објекта, где се на средини фотографије види део „старе“ куће, са дозиданим ветробраном од фасадне опеке (на слици на левој страни) и дозиданим санитарним чвором, са десне стране.



Слика 25: Изглед озидане собе, спој са старим објектом

Сам објект је у добром стању и лепо одржаван. Нема никаквих видљивих прслина на носећим зидовима, а спојеви свих дозиданих делова су изведени уредно. Проблеми су се појавили на местима уклапања кровних равни дозиданих делова. Слика 26 такође приказује геометријске проблеме код споја „старог“ крова са кровом изнад дозиданог санитарног чвора и крова изнад дозиданог ветробрана. Само на предњем делу од фасадне опеке је изведен олук, док на другим местима не постоји. Непостојање олука, заједно са релативно малом стрехом за последицу има већи утицај атмосферске воде на фасаду која се слива са крова.



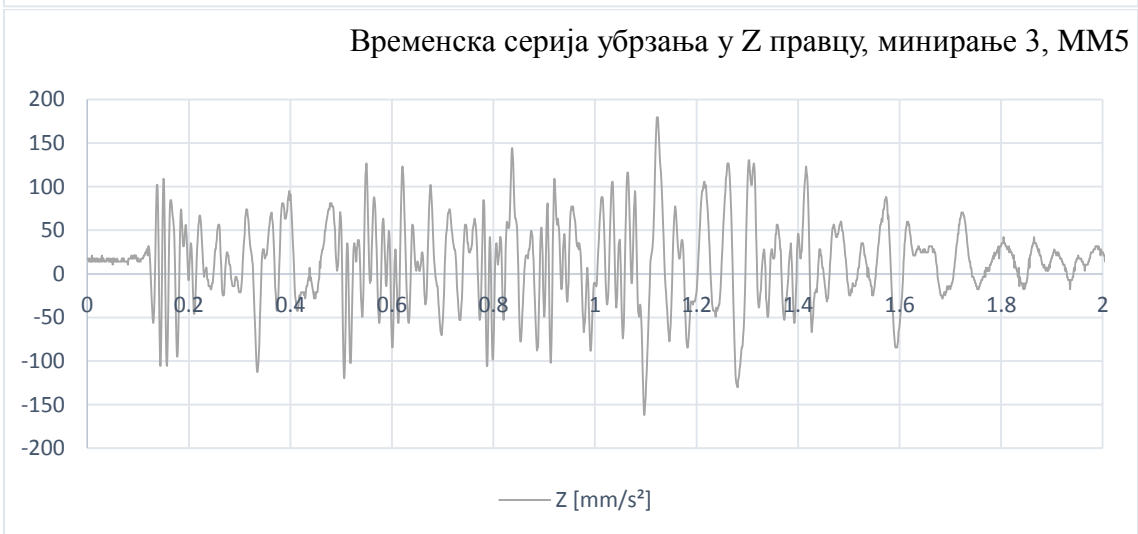
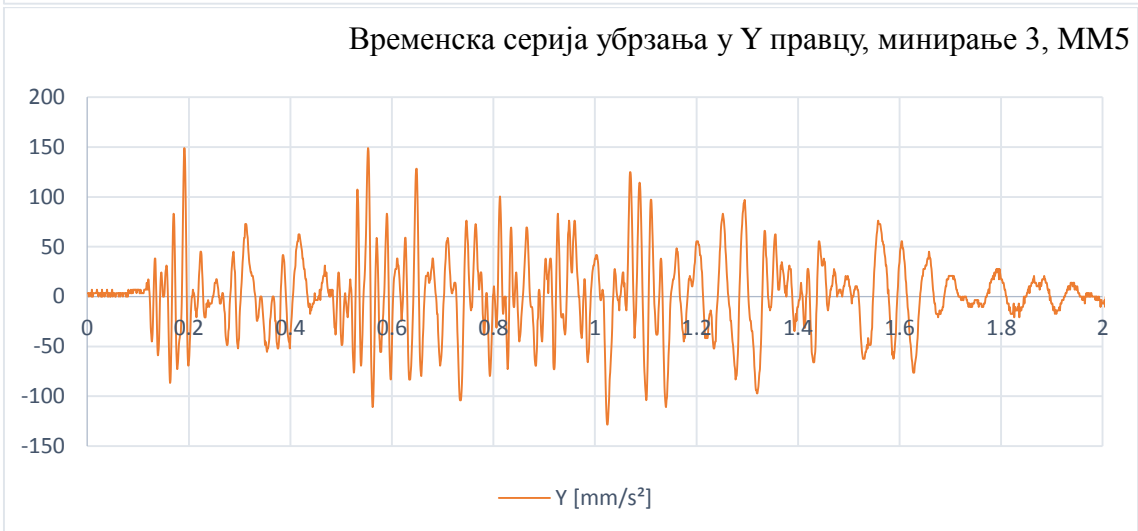
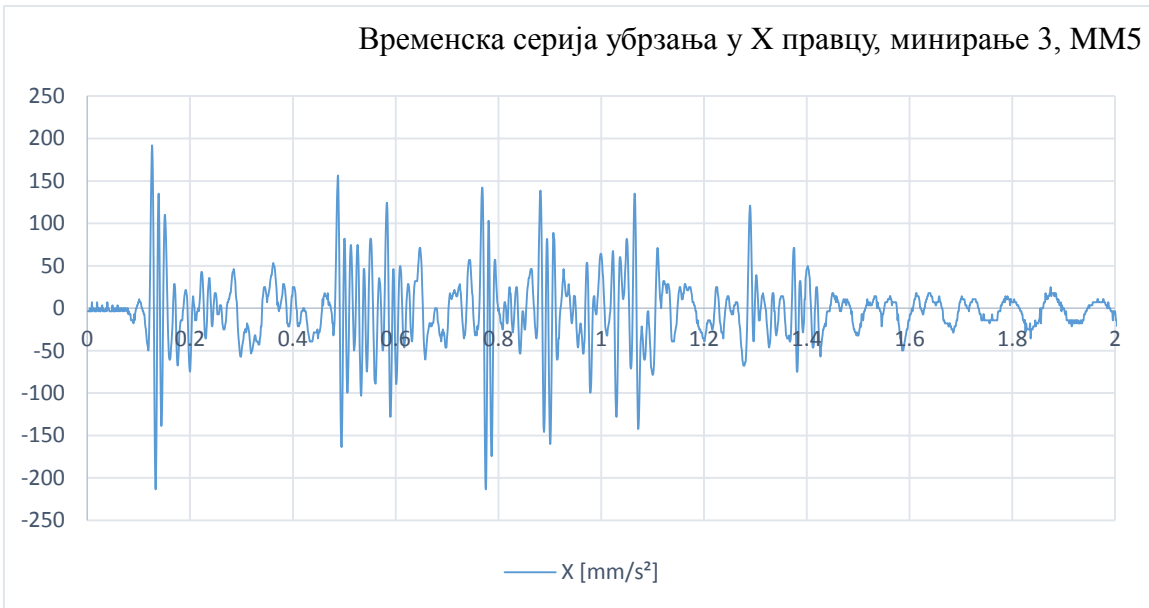
Слика 26: Изглед куће са задње стране – спој старе куће са дограђеним деловима

Приликом динамичке анализе у програму „Tower“, карактеристике материјала носеће конструкције објекта су усвојене у складу са стварним стањем елемената конструкције на терену. Модалном анализом објекта срачунате су сопствене фреквенције објекта за прва три тона, које износе око 1 Hz. (Табела 22).

Табела 22: Периоди осциловања конструкције

тон	T [s]	f [Hz]
1	1.0813	0.9248
2	0.9917	1.0084
3	0.9317	1.0733

Утицаји у конструкцији објекта срачунати су методом директне динамичке анализе. Као улазни сигнал, коришћени су временски записи убрзања одговарајућих серија минирања за сва три правца (X, Y, Z). Временски запис убрзања добијен је из измереног записа брзина осциловања тла поред објекта уз претпоставку хармонијских осцилација. Слика 27 приказује временски запис убрзања серије минирања 3, на мерном месту број 5, за прве две секунде.



Слика 27: Временски запис убрзања серије минирања 3, на мерном месту 5 (MM5)

Као резултат прорачуна добијене су историје временских утицаја за елементе конструкције, које приказују Слика 28 и Слика 29. На основу анализе историје временских утицаја за елементе конструкције, одређени су временски тренуци у којима су највећа деформације и напрезања.

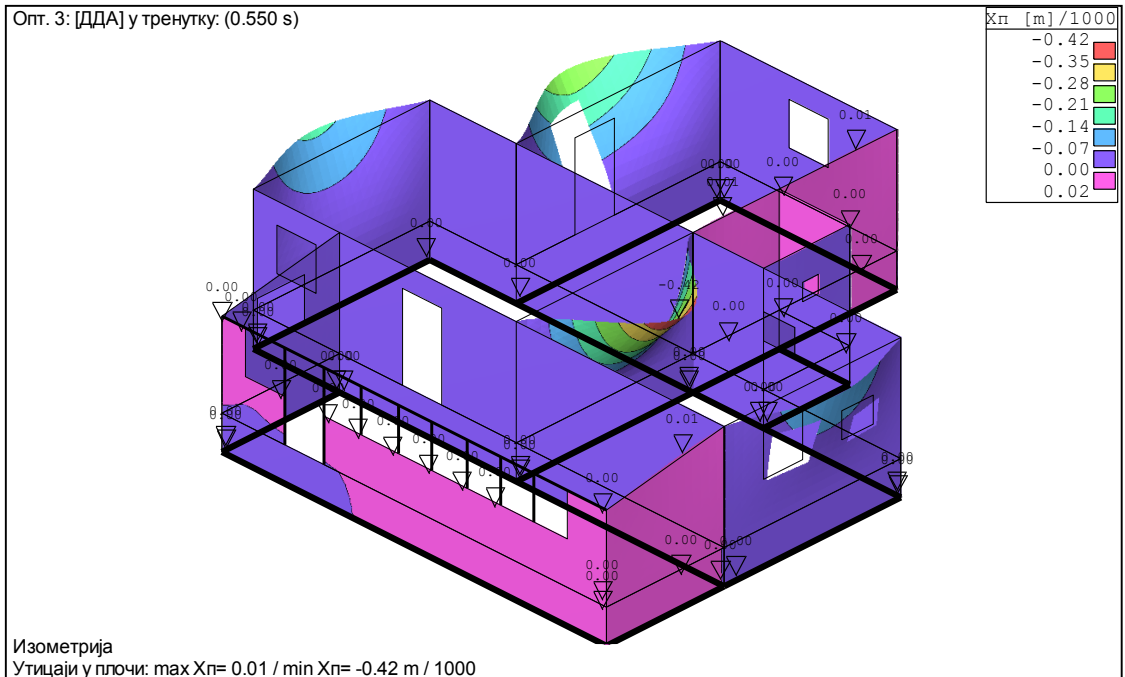


Слика 28: Анализа померања у зиду који показује највећа померања у Х правцу (средњи попречни зид)

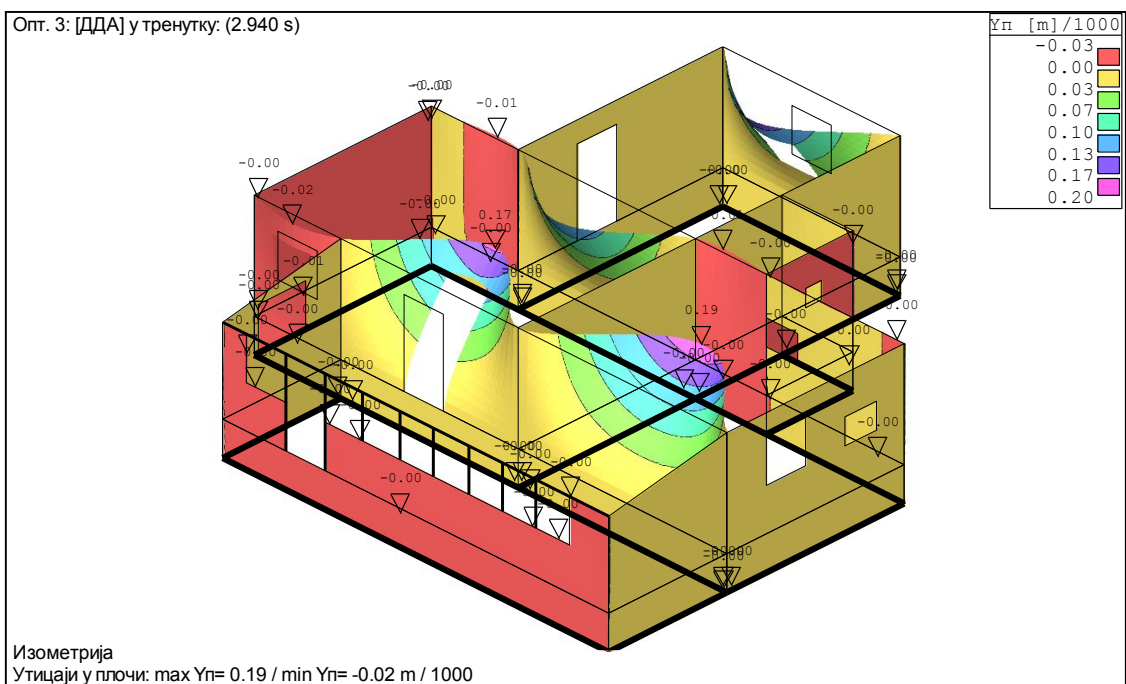


Слика 29: Анализа померања у зиду, који показује највећа померања у У правцу (подужни зид, који је пре доградње ветробрана био улазни фасадни зид)

Резултати прорачуна добијени директном динамичком анализом показују да су утицаји потреса изазваних минирањем на овај објект занемарљиви. Вредност највећег релативног померања крова у односу на темеље не прелази однос $H/7000$ (где је H висина зида). То је последица не само значајног удаљења од места минирања, затим постојања усека који раздваја два брежуљка на којима су објект и каменолом, већ и чињенице да је вредност доминантне фреквенције која одговара максималном осциловању тла приликом минирања око 25 Hz. Краткотрајно дејство потреса и велика разлика између фреквенције осциловања тла и сопствене фреквенције осциловања објекта обезбеђује да објект не дође у резонанцу, а да потрес има само тренутно и пролазно дејство на објект.



Слика 30: Померања у X правцу



Слика 31: Померања у Y правцу

По речима власника куће, од минирања у каменолому становници не осећају никакве вибрације услед минирања. Најчешће су им само звук и ваздушни удар индикатори да се у каменолому врши минирање.

Иако су деформације занемарљиве, приказана места највећих померања померања (Слика 30, Слика 31) индикатор су за места на конструкцији на којима би се могла појавити прва оштећења, у случају да се промене параметри минирања, а тиме и интензитет потреса тла. Резултати директне динамичке анализе упућују на места појаве првих оштећења и та места морају бити предмет редовне контроле.

4.1.2. Кућа на мерном месту 6

Приземна кућа на мерном месту 6 налази се на удаљењу од 400 m северно од каменолома Дреновац. Слика 32 приказује изглед куће са улазне стране.



Слика 32: Приземна кућа на мерном месту 6 (ММ6)

Посматрани објекат је изграђен током педесетих година прошлог века. На тракастим темељима од камена, зидани су носећи зидови пуном опеком у слабо издашном („немасном“) кречном малтеру. Овај начин зидања може се уочити на задњој фасади објекта (Слика 33). У складу са тадашњим начином грађења, арматура и армиранобетонски серклажи у зидовима не постоје, нема ни бетона, а надпрозорне греде су дрвене. Кров је класичан, четвороводни, а кровна конструкција је дрвена, изведена од рогова са тавањачама. Кровни покривач је раван цреп. Зидови су малтерисани продужним малтером. Имајући у виду старост објекта и традиционалан начин грађења, конструктивни елементи куће изгледају релативно солидно.

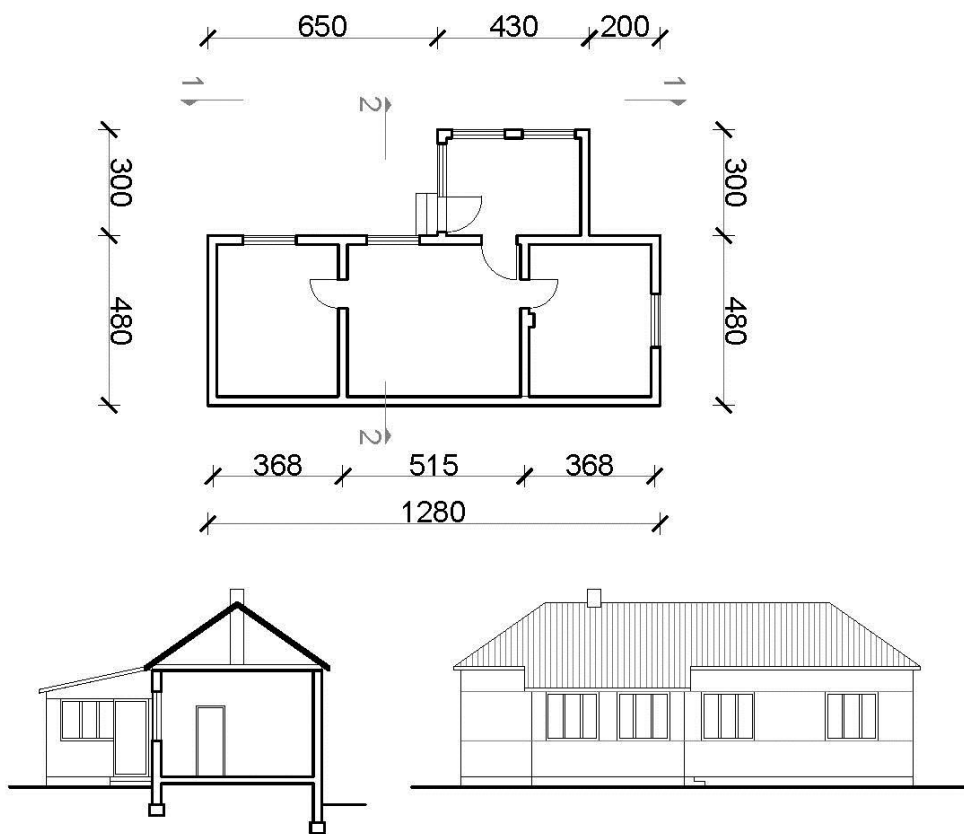
На крову није изведен олук, и стреха је релативно мала, што за последицу има интензивно влажење фасаде атмосферском водом са крова. Наизменично влажење и сушење довели су до појаве прлина на фасади. Фасада је током времена више пута обнављана коришћењем различитих врста и дебљина слојева малтера на различитим местима, па су и на спојевима тих различитих малтера видљиве прлине.



Слика 33: Изглед куће са задње стране

Током шездесетих година прошлог века, са предње стране дозидан је ветробран на улазу у кућу. Парапетни зидови и стубови на угловима ветробрана су зидани опеком. Тракасти темељи за ове нове зидове највероватније нису изведени, већ је ветробран настао застакљивањем и покривањем улазне терасе, чији под је избетониран неармираним бетоном. Садашњу испуну изнад парапета чини метална браварија (прозори и врата), а стубове од опеке на месту навратника, односно надпрозорника, повезује дрена греда.

Кров на ветробрану је једноводни, кровна конструкција је дрвена, а кровни покривач раван лим. Слика 34 приказује основу, пресек и изглед овог објекта.



Слика 34: Основа, изглед и пресек куће на мерном месту 6

Приликом динамичке анализе у програму „Tower“, карактеристике материјала носеће конструкције објекта су усвојене у складу са стварним стањем елемената конструкције на терену. Модалном анализом објекта срачунате су сопствене фреквенције објекта за прва три тона, које су све мање од 1 Hz. (Табела 23)

Табела 23: Периоди осциловања конструкције куће на мерном месту 6

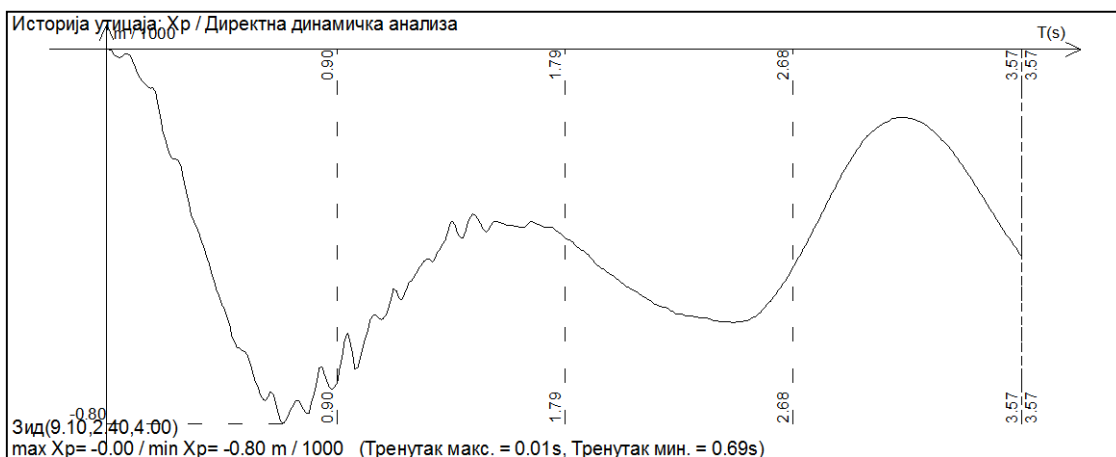
тон	T [s]	f [Hz]
1	1.5555	0.6429
2	1.5023	0.6657
3	1.1524	0.8677

Временски запис убрзања серије минирања 3, на мерном месту број 6, током прве две секунде, који је коришћен као улазни сигнал приказује Слика 35. Временски запис убрзања добијен је из измереног записа брзина осциловања тла поред објекта уз претпоставку хармонијских осцилација.

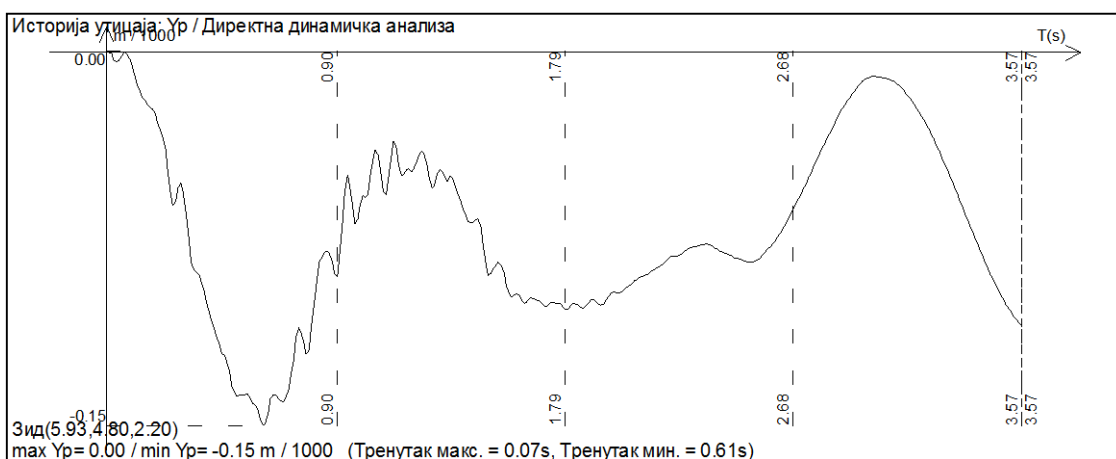


Слика 35: Временски запис убрзања серије минирања 3, на мерном месту 6 (ММ6)

Као резултат прорачуна добијене су историје временских утицаја за елементе конструкције, које приказују Слика 36 и Слика 37. На основу анализе историје временских утицаја за елементе конструкције, одређени су временски тренуци у којима су највеће деформације и напрезања.



Слика 36: Анализа померања у зиду који показује највећа померања у X правцу (средњи попречни зид)



Слика 37: Анализа померања у зиду који показује највећа померања у X правцу (задњи фасадни зид)

Резултати прорачуна добијени директном динамичком анализом показују да су утицаји потреса изазваних минирањем на овај објект занемарљиви (Слика 38, Слика 39). Вредност највећег релативног померања крова у односу на темеље не прелази однос $H/3700$ (где је H висина зида).

Оштећења на конструктивним елементима су незнатна, а на крову се чак ни не примећују.

Чињеница да и код овог објекта краткотрајно дејство потреса и велика разлика између фреквенције осциловања тла и сопствене фреквенције осциловања објекта обезбеђује да објект не дође у резонанцу, оштећења ипак своди само на естетска и површинска.

4.1.3. Кућа број 1 на мерном месту 3

Приземна кућа на мерном месту 3 (Слика 40) налази се на удаљењу од 250 m ваздушном линијом од каменолома Дреновац и изграђена је на тлу истог стенског масива на коме је и каменолом.



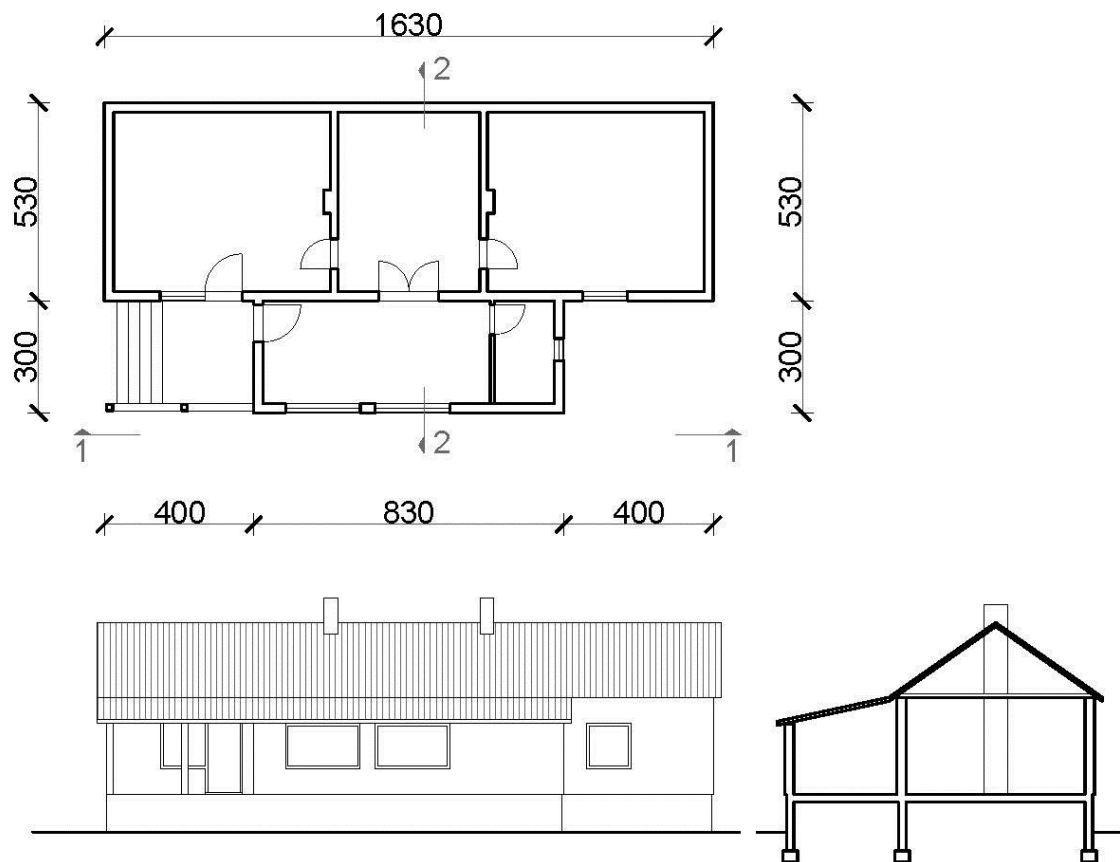
Слика 40: Улазни изглед куће број 1 на мерном месту 3

Посматрани објекат је изграђен крајем шездесетих година прошлог века. На тракастим темељима од неармираног бетона, зидани су носећи зидови пуном опеком у продужном малтеру. Зидови нису ојачани армиранобетонским серклажима. Кров је класичан, двоводни, а кровна конструкција је дрвена, изведена од рогова са тавањачама. Кровни покривач је жљебљени цреп. Зидови су малтерисани продужним малтером.

Током осамдесетих година, са предње стране дозидан је ветробран на улазу у кућу. Зидови ветробрана су зидани опекарским шупљим блоком, на тракастим темељима од неармираног бетона. Ни на овом делу куће нису изведени армиранобетонски серклажи, а натпрозорник на бочној страни је дрвени. Кров је једноводни, кровна конструкција је дрвена, са дрвеним роговима и тавањачама, а кровни покривач жљебљени цреп. Слика 41 приказује основу, пресек и предњи изглед ове куће.

Фасадна облога је од малтера, који је на бочној страни ветробрана потпуно отпао на горњем делу зиданог зида, изнад бетонског темељног зида. Непостојање

олука, заједно са релативно малом стрехом за последицу има већи утицај атмосферске воде на фасаду која се слива са крова.



Слика 41 : Основа, изглед и пресек куће број 1 на мерном месту 3



Слика 42: Изглед куће са предње стране, са десна

На објекту су видљиве прслине. На предњој страни старе куће, лево од дозиданог ветробрана, малтер је сасвим испуцао, а највећа прслина је вертикална, уз сам угао куће (Слика 42).



Слика 43: Бочни изглед куће: нижи део је накнано дозидан

На бочној левој страни старе куће, гледано од улаза (Слика 43) видна је хоризонтална прслина која јасно показује да троугаони забатни део зида није укрућен бочним зидовима. Ова прслина је вероватно настала под утицајем хоризонталних сила, можда као последица од минирања, али може бити последица и од утицаја земљотреса, ветра, леда. Утицај минирања на појаву ове прслине проверен је динамичком анализом конструкције објекта.

На задњој фасади старе куће (Слика 44) приметна је прслина у фасадном малтеру, такође прво хоризонтална, а затим дијагонална. То је једина прслина на том зиду. Динамичком анализом проверен је и утицај минирања на појаву ове прслине.



Слика 44: Изглед куће са задње стране – спој старе куће са дограђеним деловима

Приликом динамичке анализе у програму „Tower“, карактеристике материјала носеће конструкције објекта су усвојене у складу са стварним стањем елемената конструкције на терену. Модалном анализом објекта срачунате су сопствене фреквенције објекта за прва три тона, све мање од 0.5 Hz. (Табела 24)

Табела 24: Периоди осциловања конструкције куће број 1 на мерном месту 3

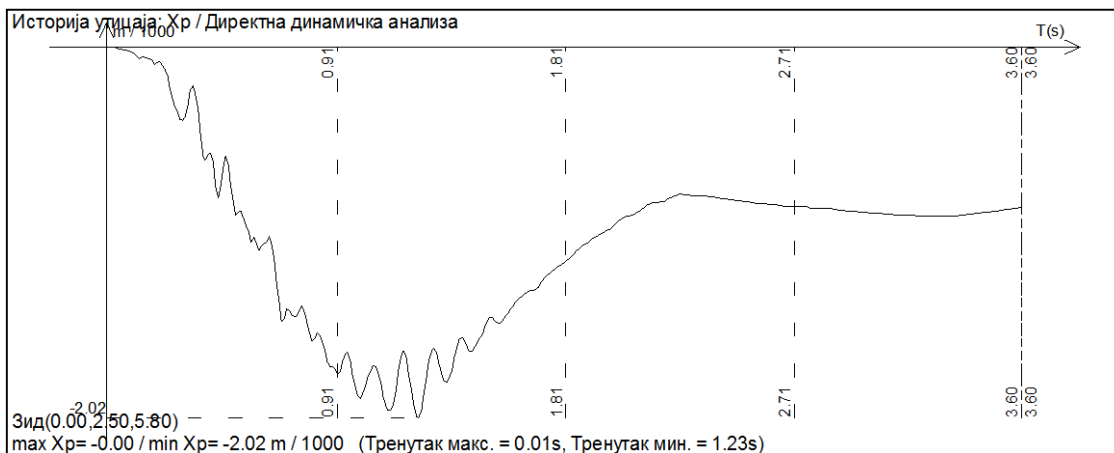
тон	T [s]	f [Hz]
1	2.4314	0.4113
2	2.4121	0.4146
3	2.0598	0.4855

Утицаји у конструкцији објекта срачунати су методом директне динамичке анализе. Као улазни сигнал, коришћени су временски записи убрзања одговарајућих серија минирања за сва три правца (X, Y, Z). Временски запис убрзања добијен је из измереног записа брзина осциловања тла поред објекта уз претпоставку хармонијских осцилација. Слика 45 приказује временски запис убрзања серије минирања 5, на мерном месту број 3, за прве две секунде.

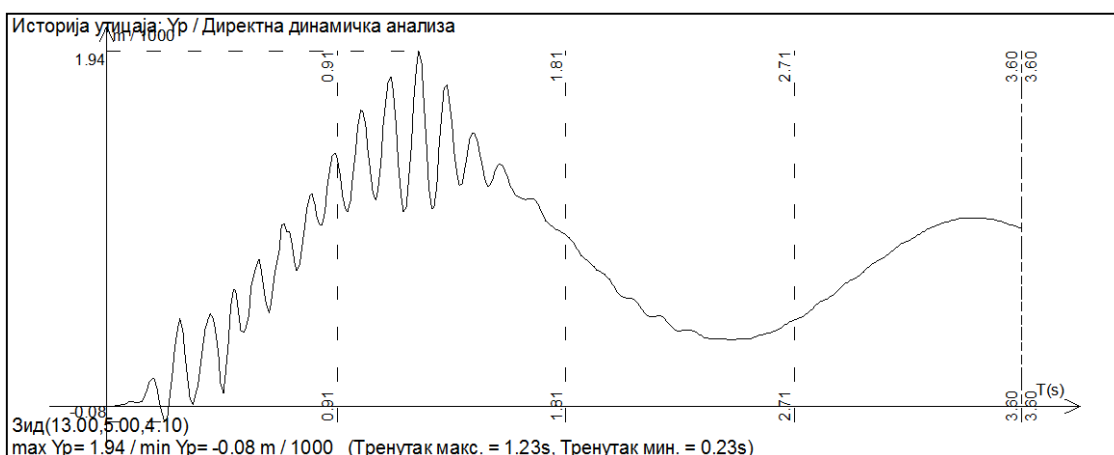


Слика 45: Временски запис убрзања серије минирања 5, на мерном месту 3, (ММЗ-1)

Као резултат прорачуна добијене су историје временских утицаја за елементе конструкције, које приказују Слика 46 и Слика 47. На основу анализе историје временских утицаја за елементе конструкције, одређени су временски тренуци у којима су највећа деформације и напрезања.

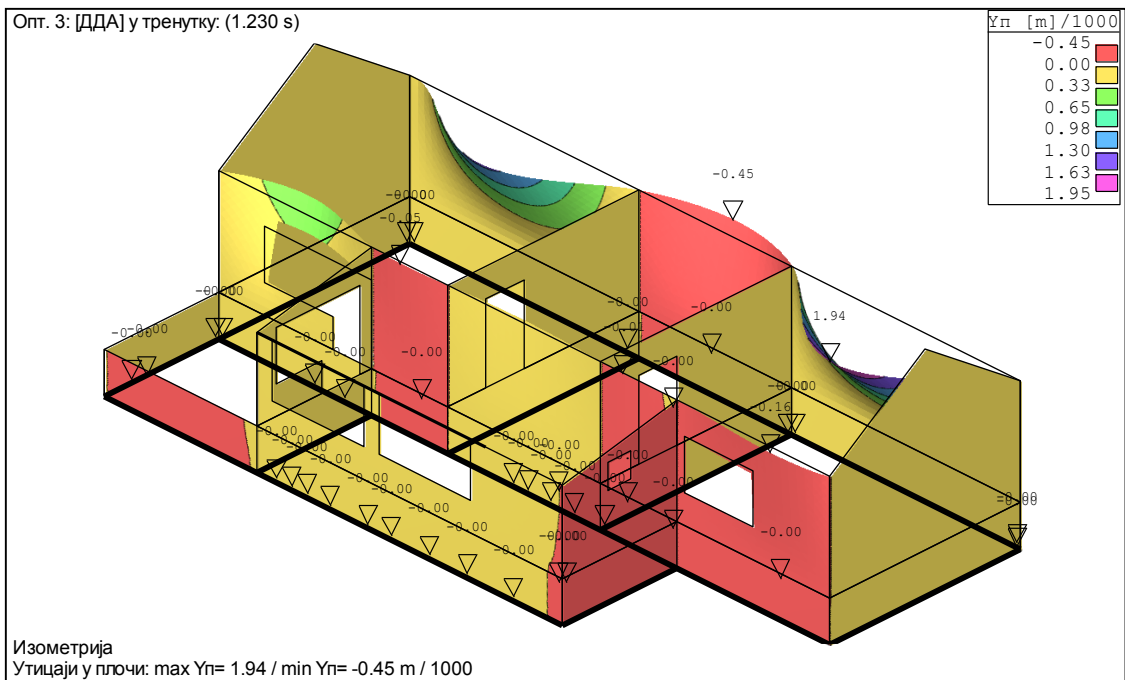


Слика 46: Анализа померања у зиду који показује највећа померања у X правцу (бочни забатни зид, лево од улаза)

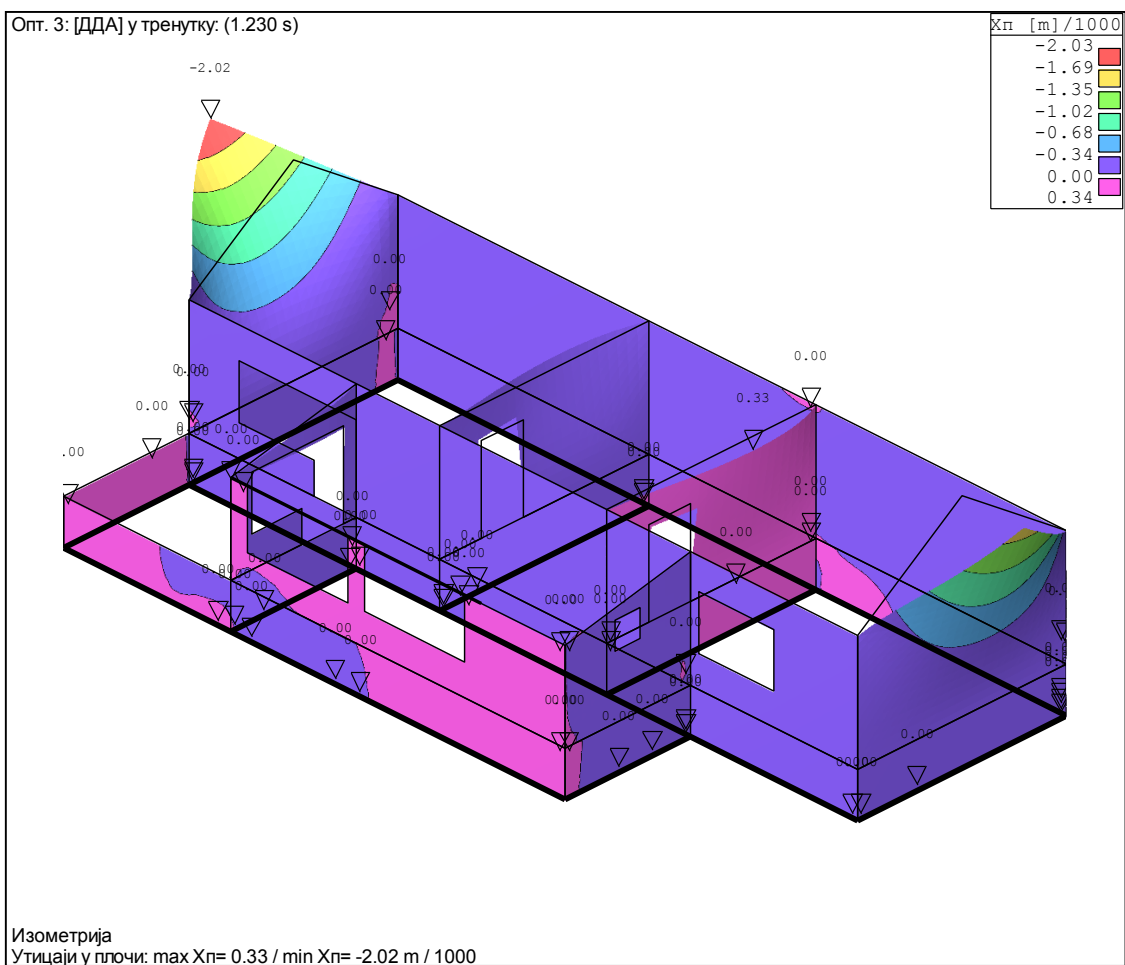


Слика 47: Анализа померања у зиду који показује највећа померања у X правцу (задњи фасадни зид)

Резултати прорачуна добијени директном динамичком анализом показују да вредност највећег релативног померања крова у односу на темеље не прелази однос $H/2400$ (H - висина зида). Међутим, имајући у виду да је померање забатног зида на нивоу стрехе мало, јер је до тог нивоа зид укрућен фасадним зидовима, померање врха забата у односу на стреху од $H/837$ не може се занемарити као могући узрок појаве хоризонталне прслине на овом нивоу.



Слика 48: Померања у Y правцу



Слика 49: Померања у X правцу

Резултати директне динамичке анализе (Слика 48, Слика 49) упућују на места највећих померања која би могла бити места појаве првих оштећења. Међутим, контролом напрезања у тим пресецима, услед малог интензитета пресечних сила, срачунато је да су напрезања услед потреса од минирања у садејству са осталим оптерећењима, далеко испод дозвољених, што наводи на закључак да минирање није узрок видљивих оштећења.

Све хоризонталне прслине на фасади заиста су се и појавиле на местима која су у моделу показала највећа померања, а то су задња и бочне фасаде старе куће, иако се истовремено оштећења на крову ни не примећују. Чињеница да и код овог објекта краткотрајно дејство потреса услед минирање и велика разлика између фреквенције осциловања тла и сопствене фреквенције осциловања објекта обезбеђује да објект не дође у резонанцу, оштећења своди углавном на естетска и површинска.

Резултати анализе напрезања упућују на закључак да фасадна облога на десном предњем делу старе куће није испуцала од последица потреса изазваних минирањем, или да се то није десило након дозиђивања ветробрана. Како је дозидани бочни зид ветробрана укрутио фасадни зид старе куће, и спречио померања услед потреса изазваних минирањем или земљотресом, могуће је да је уочена вертикална прслина на предњој фасади настала пре дозиђивања или да је у питању исушивање нееластичног фасадног малтера.

4.1.4. Кућа на спрат број 2 на мерном месту 3

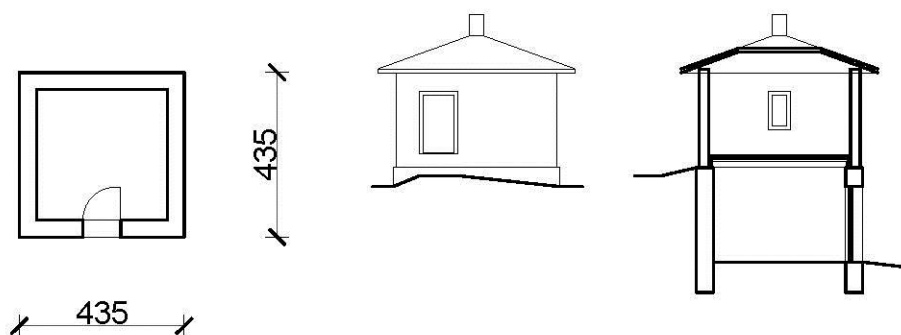
Кућа на спрат, на мерном месту 3 (Слика 50), налази се на удаљењу од око 250 m ваздушном линијом од каменолома Дреновац.



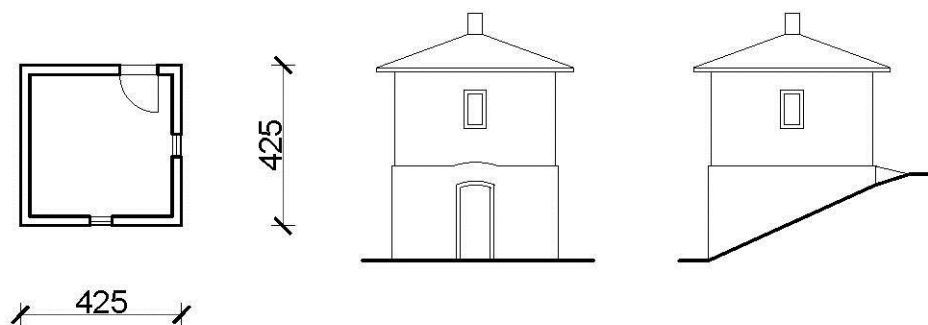
Слика 50: Кућа број 2 на мерном месту 3

Ова спратна кућа (број 2) налази се у истом дворишту као и куће 1 и 3 и све су изграђене је на тлу истог стенског масива на коме је и каменолом.

Посматрани објекат је најстарији на овом мерном месту, изграђен је током двадесетих година прошлог века. Тракасти темељи и зидови доње етажне изграђени су од камена, а зидови спрата изграђени су од пуне опеке у продужном малтеру и малтерисани. Зидови су, уместо данас уобичајених армиранобетонских серклажа, повезани дрвеним гредама („сантрачима“, на нивоу таванице и надпорзорника на спрату). Улазна врата су постављена у отвор који је направљен зидањем лука опеком, а отвори на спрату су изведени испод дрвених греда. Међуспратна конструкција је дрвена, са тавањачама. Кров је класичан, четвороводни, а кровна конструкција је дрвена, изведена од рогова са тавањачама. Кровни покривач је раван цреп. Зидови зидани опеком малтерисани су продужним малтером, са изведеним декорацијама у малтеру. Слика 51 и Слика 52 показују основе, пресек и изгледе објекта.



Слика 51: Основа сутрена, изглед и пресек куће број 2 на мерном месту 3



Слика 52: Основа спрата, изгледи куће број 2 на мерном месту 3 (ММ3)



Слика 53: Изглед куће број 2 на мерном месту 3

Ова кућа је веома стара, готово 100 година, и после толиког времена, природно је да се сав малтер (и као обрада фасаде, и као спојно средство зиданог зида) испрао, „испустио“ и испуцао, а зидови претпрели деформације. Захваљујући својој геометријски правилној и компактној форми, ова кућа је одолела времену, те је и данас у употреби.

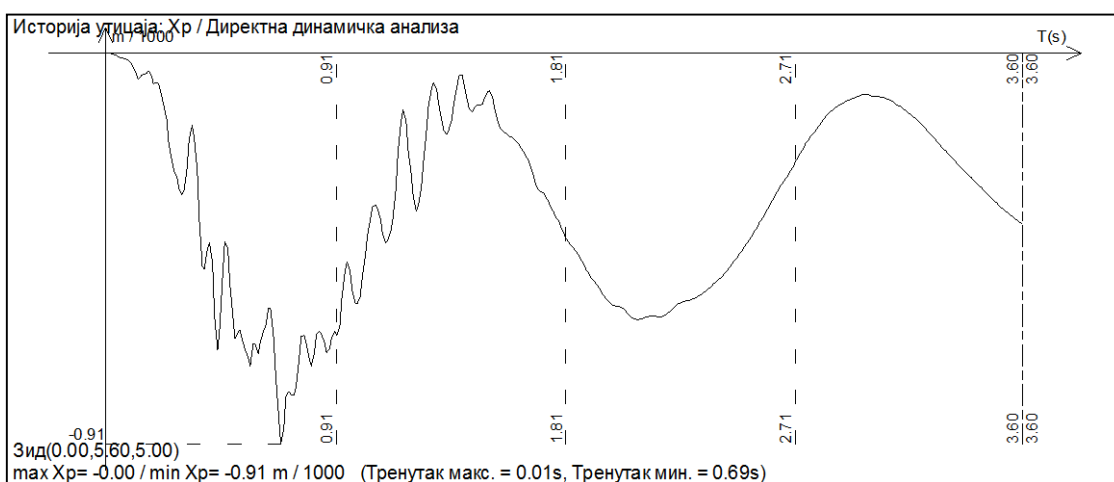
Приликом динамичке анализе у програму „Tower“, карактеристике материјала носеће конструкције објекта су усвојене у складу са стварним стањем елемената конструкције на терену. Модалном анализом објекта срачунате су сопствене фреквенције објекта за прва три тона, које износе око 0.6-0.8 Hz (Табела 25).

Табела 25: Периоди осциловања конструкције куће број 2 на мерном месту 3

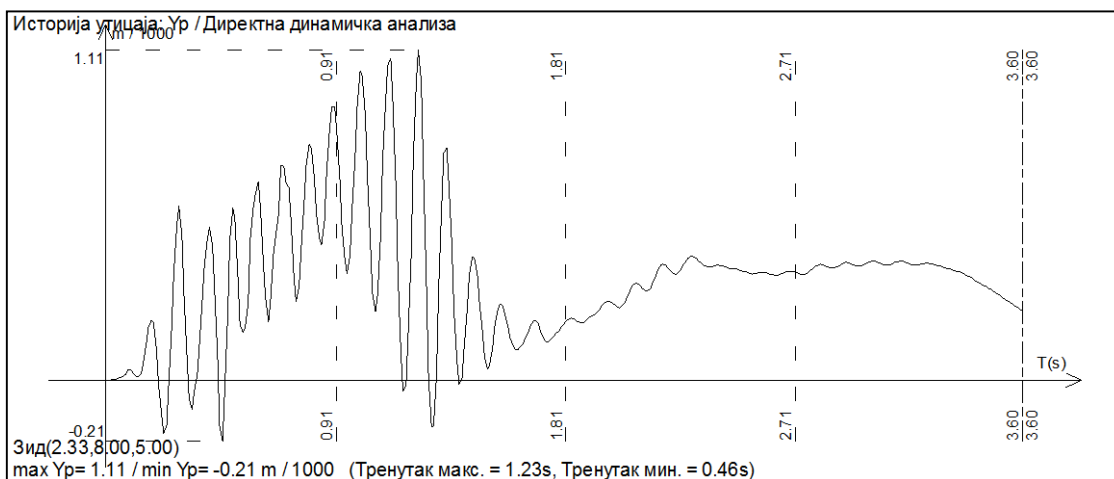
тон	T [s]	f [Hz]
1	1.6909	0.5914
2	1.4258	0.7014
3	1.3170	0.7593

Временски запис убрзања серије минирања 5, на мерном месту број 3, који је коришћен за прорачун утицаја у конструкцији објекта методом директне динамичке анализе исти је за све куће на овој локацији и приказује га Слика 45.

Као резултат прорачуна добијене су историје временских утицаја за елементе конструкције, које приказују Слика 54 и Слика 55. На основу анализе историје временских утицаја за елементе конструкције, одређени су временски тренуци у којима су највећа деформације и напрезања.



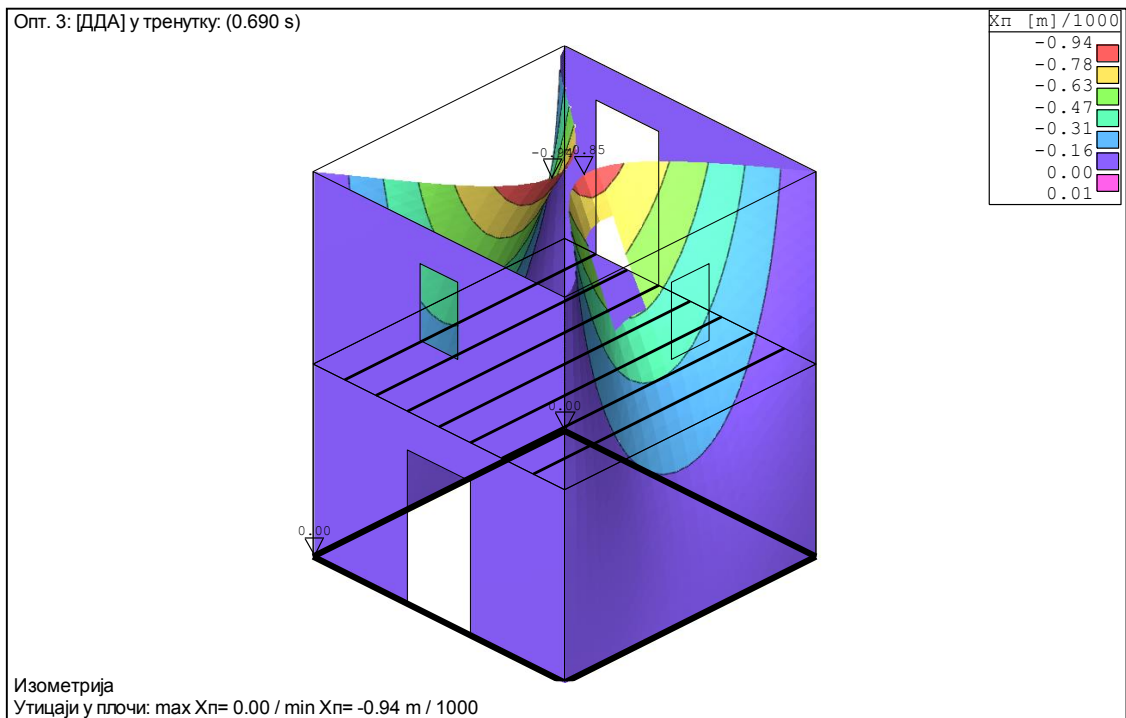
Слика 54: Анализа померања у зиду који показује највећа померања у Х правцу (бочни леви зид, гледано од улаза)



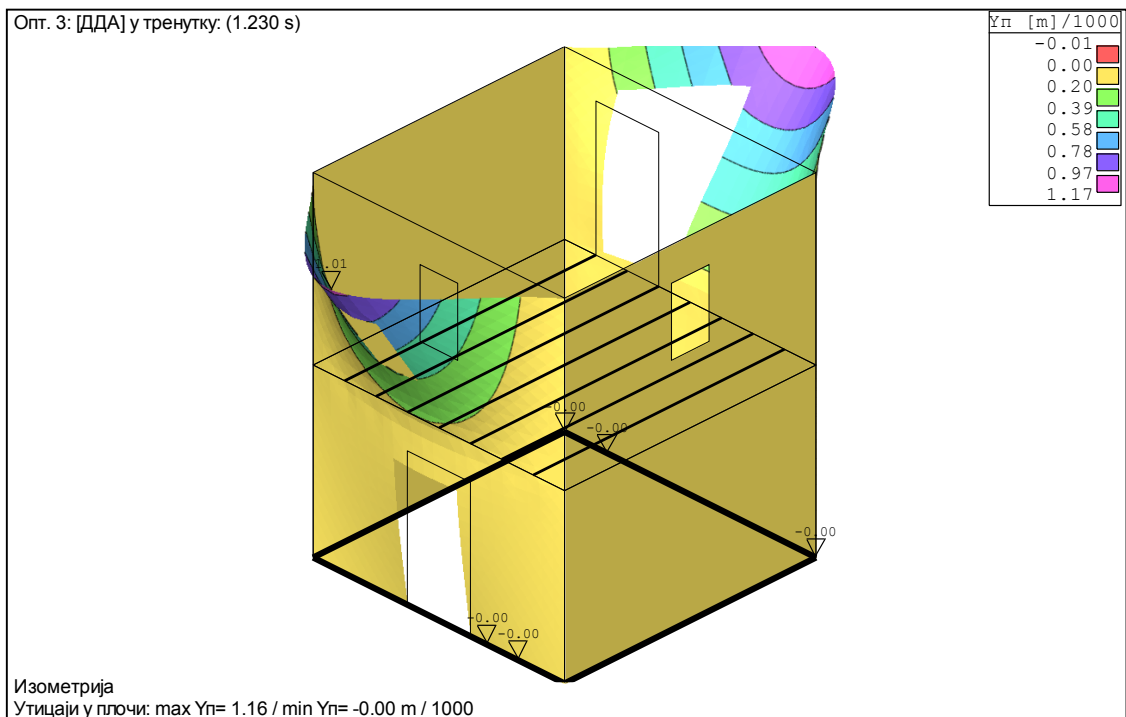
Слика 55: Анализа померања у зиду који показује највећа померања у У правцу (задњи фасадни зид)

Резултати прорачуна добијени директном динамичком анализом показују да су утицаји потреса изазваних минирањем на овај објект занемарљиви (Слика 56,

Слика 57). Вредност највећег релативног померања крова у односу на темеље не прелази однос $H/4200$ (H - висина зида).



Слика 56: Померања у X правцу



Слика 57: Померања у Y правцу

Резултати анализе утицаја потреса изазваних минирањем на овој кући показују да се највећа напрезања очекују на местима натпрозорника и надвратника на спрату. На самој кући такве прслине заиста и постоје, али је вероватније да су настале као последица неких других утицаја током њеног дугогодишњег постојања. Оштећења на крову су, по свој прилици последица савијања дрвених греда које носе кров, под утицајем дуготрајног оптерећења, као и течења дрвета. Како је и код овог објекта велика разлика између фреквенције осциловања тла услед утицаја потреса изазваних минирањем и сопствене фреквенције осциловања објекта, а дејство потреса од утицаја минирања временски је краткотрајно услед чега ни овај објект не долази у резонанцу, могуће је закључити да прслине на објекту заправо нису последица минирања, већ пре последица удруженог дејства атмосферских утицаја и дејства неких од многих земљотреса који су у прошлости погађали ово подручје.

4.1.5. Помоћни објект број 3 на мерном месту 3

Помоћни објект на мерном месту 3 (Слика 58) налази се на удаљењу од 250 m ваздушном линијом од каменолома Дреновац.



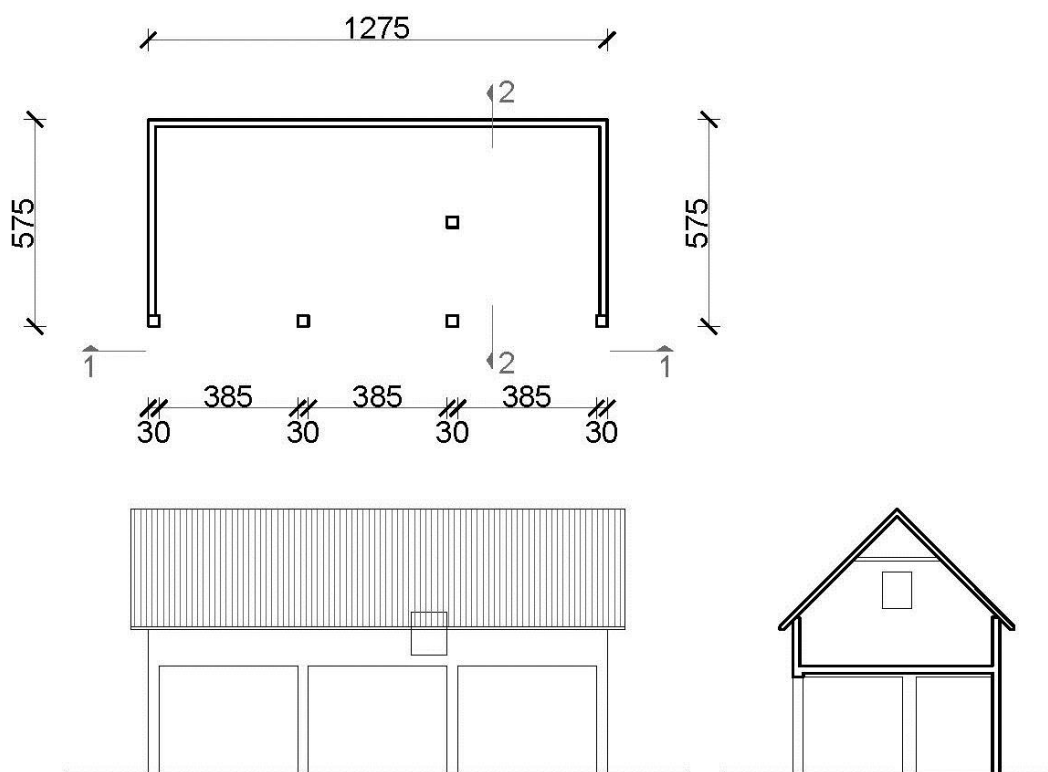
Слика 58: Помоћни објект број 3 на мерном месту 3

Помоћни објект (објект број 3) налази се у истом дворишту као и куће 1 и 2, и све су изграђене на тлу истог стенског масива на коме је и каменолом.

Посматрани објект је најскорије саграђен од свих посматраних објеката на овом мерном месту. Изграђен је током осамдесетих година прошлог века. Тракасти темељи су од армираног бетона, као и носећа скелетна конструкција. Носећу конструкцију приземља чине ободни зидови, два фасадна и унутрашња армиранобетонска стуба, приближних димензија 30/30 цм. Зидови су зидани опекарским блоком у продужном малтеру и малтерисани. Међусpratна конструкција је армиранобетонска полумонтажна, типа ТМ (Слика 59). Кров је класичан, двоводни, а кровна конструкција је дрвена, изведена од рогова са тавањачама. Кровни покривач је жљебљени цреп. Слика 60 показује основу приземља, пресек и предњи изглед објекта.



Слика 59: Унутрашњост помоћног објекта



Слика 60: Основа приземља, изглед и пресек куће број 3 на мерном месту 3



Слика 61: Бочни изглед куће

Помоћни објект има поткровље, коме се приступа спољним степеништем и спољном дрвеном рампом за уношење сена (Слика 61). Како поткровље служи као остава за сено, по фасадном зиду су изведени бројни отвори за проветравање изведени периодичним изостављањем по једног блока, на размаку од око 1 м тако да не утичу значајно на носивост фасаног зида и занемарени су у анализи приликом моделовања објекта за динамичку анализу.

Слика 62 приказује бочни и задњи изглед овог објекта. Видна је хоризонтална армиранобетонска греда, изведена на нивоу стрехе по фасадним зидовима. Преко ове греде постављена је дрвена венчаница на коју се ослања дрвена кровна конструкција – рогови са распињачама. Ова армиранобетонска греда не формира „прстен“ по зиду – прекинута је на бочном зиду на месту врата, како то приказује Слика 61.

На објекту је видљива хоризонтална прслина на оба бочна фасадна зида, која се налази непосредно изнад ове армиранобетонске греде и која јасно обележава троугаони забатни део зида, који, као што је то приказано у резултатима анализе

понашања овог објекта за утицаје потреса изазваним минирањем показује највећа померања, значајно већа од било ког другог дела објекта.



Слика 62: Изглед помоћног објекта (број 3) на мерном месту 3

Осим ове прслине, како то приказује Слика 63, унутар објекта уочен је и недостатак на међуспратној конструкцији, на месту где је разбијен један опекарски блок таванице. То је последица непажљивог руковања и коришћења објекта, и нема никакве везе са могућим оштећењима услед потреса тла. Плоча која повезује опекарске елементе таванице на овом месту није изведена у потребној минималној дебљини (4 цм) и вероватно је неармирана.

Приликом динамичке анализе у програму „Tower“, карактеристике материјала носеће конструкције објекта су усвојене у складу са стварним стањем елемената конструкције на терену. Са циљем да се обухвати и евентуални утицај елемената кровне конструкције на укупна померања, анализирано је понашање објекта на два модела – један са уношењем елемената и карактеристика дрвене кровне конструкције и други, где је дрвена кровна конструкција занемарена.



Слика 63: Оштећење међуспратне таванице

Модалном анализом срачунате су сопствене фреквенције објекта за првих седам тонова, који су оба модела у распону од око 1.9-5.2 Hz. Табела 26 приказује упоредне резултате модалне анализе за оба модела.

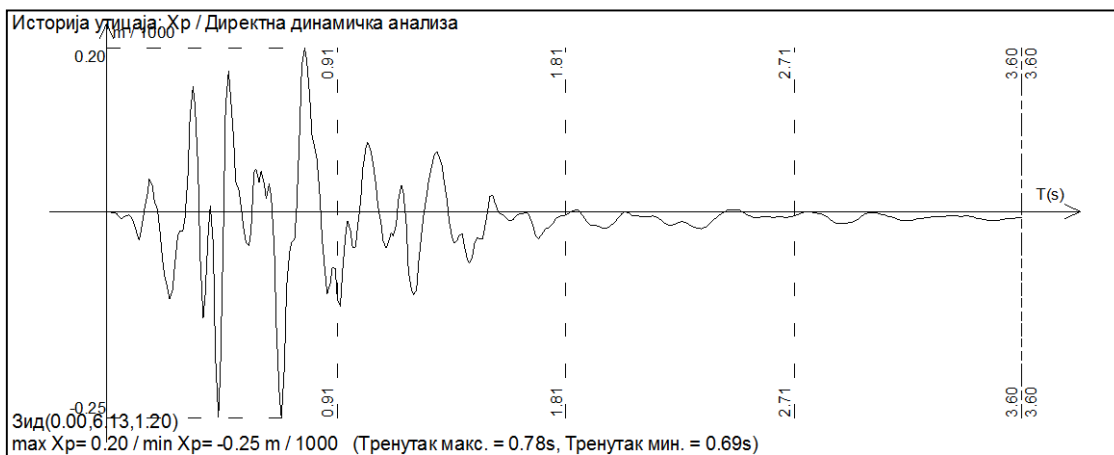
Табела 26: Периоди осциловања конструкције куће број 3 на мерном месту 3

тон	Модел са дрвеном кровном конструкцијом		Модел без дрвене кровне конструкцијом	
	T [s]	f [Hz]	T [s]	f [Hz]
1	0.4208	2.3765	0.5243	1.9075
2	0.3018	3.3130	0.4346	2.3008
3	0.3012	3.3198	0.3019	3.3128
4	0.2492	4.0124	0.3012	3.3198
5	0.2488	4.0185	0.2493	4.0110
6	0.2480	4.0318	0.2489	4.0175
7	0.1917	5.2170	0.2480	4.0316

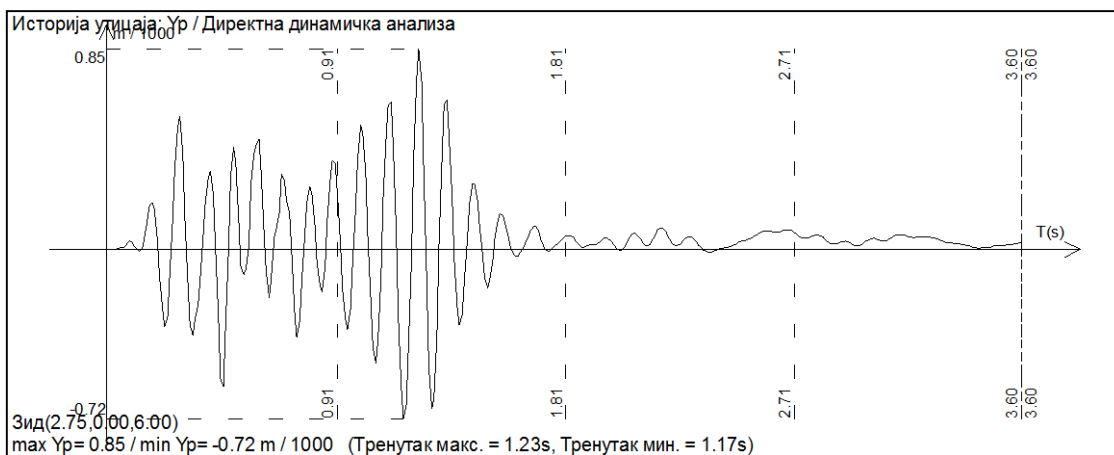
Временски запис убрзања серије минирања 5, на мерном месту број 3, који је коришћен за прорачун утицаја у конструкцији објекта методом директне динамичке анализе исти је за све куће и приказује га Слика 45.

Историје временских утицаја за елементе конструкције, које приказују Слика 64 и Слика 65 (за модел без дрвене кровне конструкције), односно Слика 66 и Слика 67 (за моделе са дрвеном кровном конструкцијом), добијене су као резултат прорачуна. На основу анализе историје временских утицаја за елементе конструкције, одређени су временски тренуци у којима су највећа деформације и напрезања.

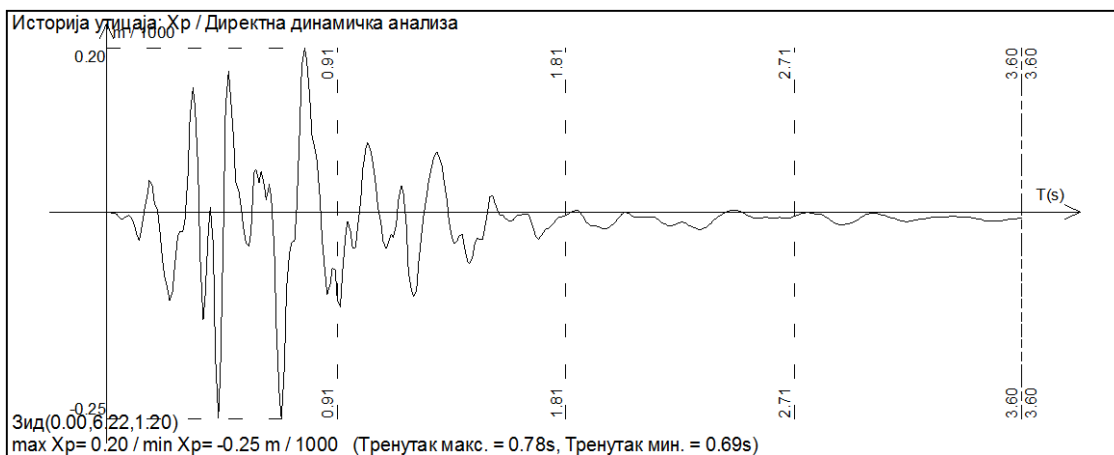
Утврђено је да постојање дрвене кровне конструкције на моделу не мења тренутке у којима се појављују највећа померања. Разлика се појављује у интензитету померања забатног зида у Y правцу: повезаност дрвене кровне конструкције са забатним зидом смањује укупно померања врха забатног зида на 0,68 mm, у односу на 0,85 mm (модел без дрвене кровне конструкције).



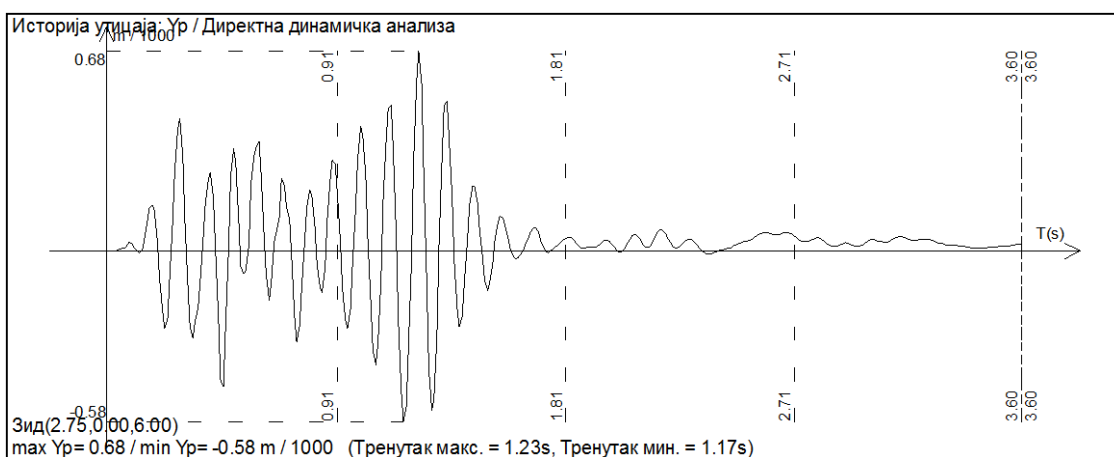
Слика 64: Анализа померања у зиду који показује највећа померања у Х правцу (задњи фасадни зид) – модел без дрвене кровне конструкције



Слика 65: Анализа померања у зиду који показује највећа померања у У правцу (бочни десни зид, гледано од улаза) – модел без дрвене кровне конструкције



Слика 66: Анализа померања у зиду који показује највећа померања у X правцу (задњи фасадни зид) – модел са дрвеном кровном конструкцијом

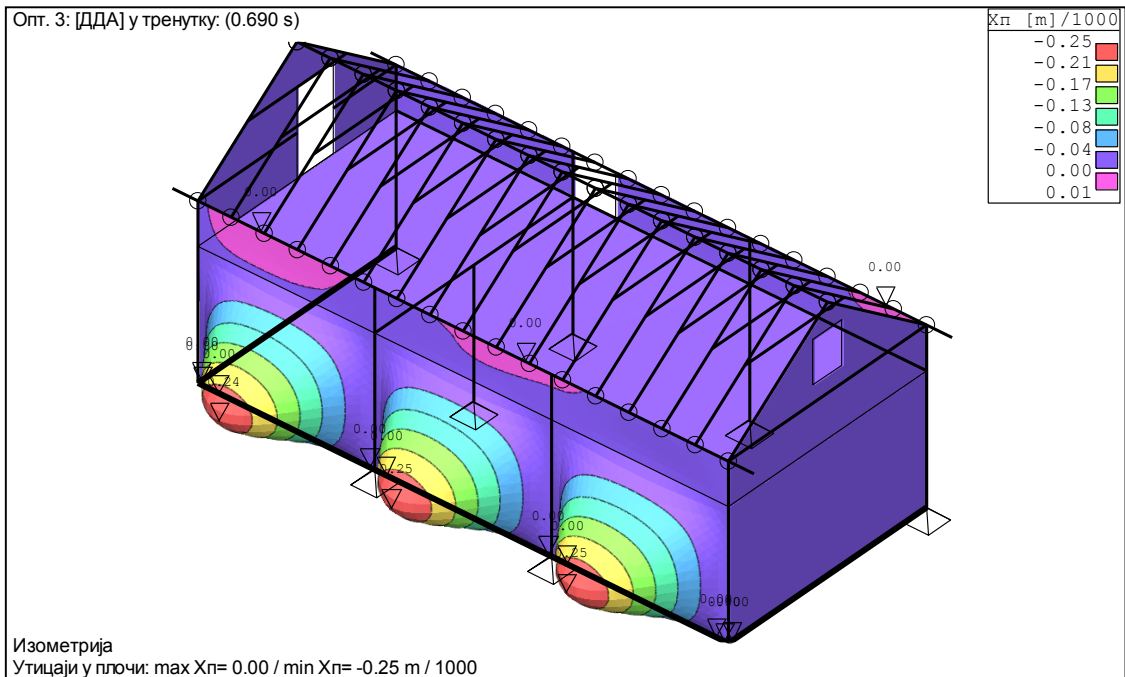


Слика 67: Анализа померања у зиду који показује највећа померања у Y правцу (бочни десни зид, гледано од улаза) – модел са дрвеном кровном конструкцијом

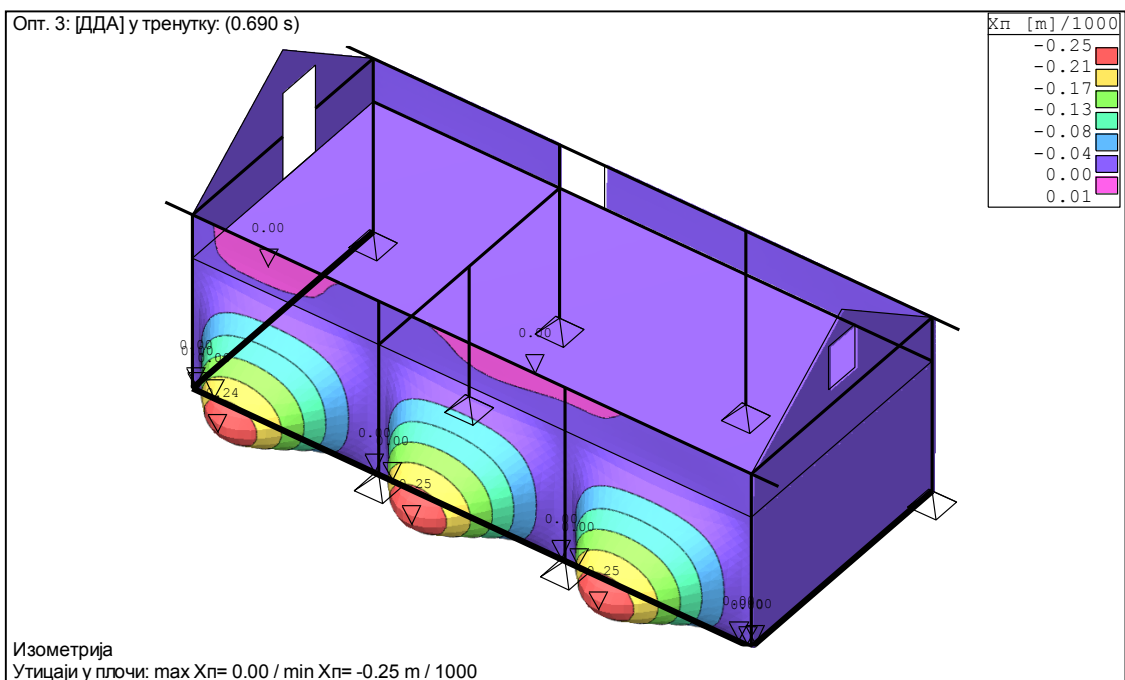
Резултати прорачуна добијени директном динамичком анализом показују да вредност највећег релативног померања крова у односу на темеље не прелази однос $H/7000$ (H - висина зида). Међутим, померање забатног зида на нивоу стрехе, односно хоризонталног армиранобетонског серклажа је незнатно, јер је до тог нивоа објект укрупњен армиранобетонским серклажима. Померање врха забата у односу на хоризонтални серклаж од армираног бетона износи $H/2300$, те може бити разматрано као могући узрок појаве хоризонталне прслине на овом нивоу.

Резултати анализе утицаја потреса изазваних минирањем на овој кући показују да је кућа до нивоа хоризонталне армиранобетонске греде релативно непомерљива, без обзира на чињеницу да је приземље асиметрично Y правцу,

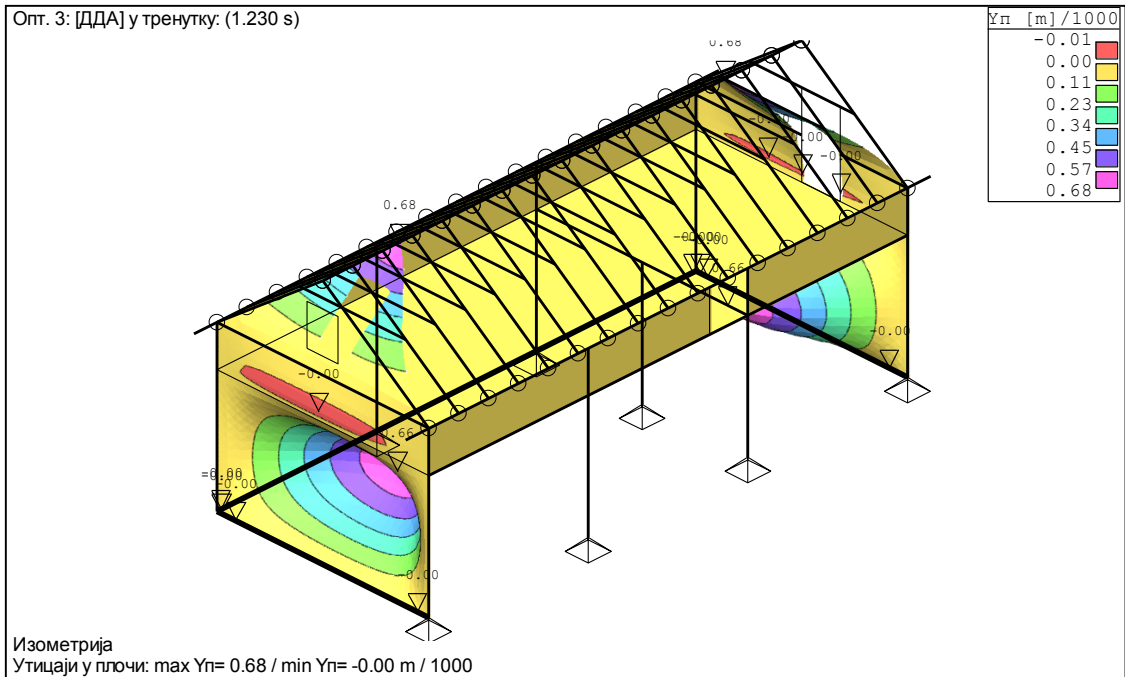
различите крутости, услед чињенице да јој је предња фасада отворена. Померања су изражена само на врху забата, у Y правцу.



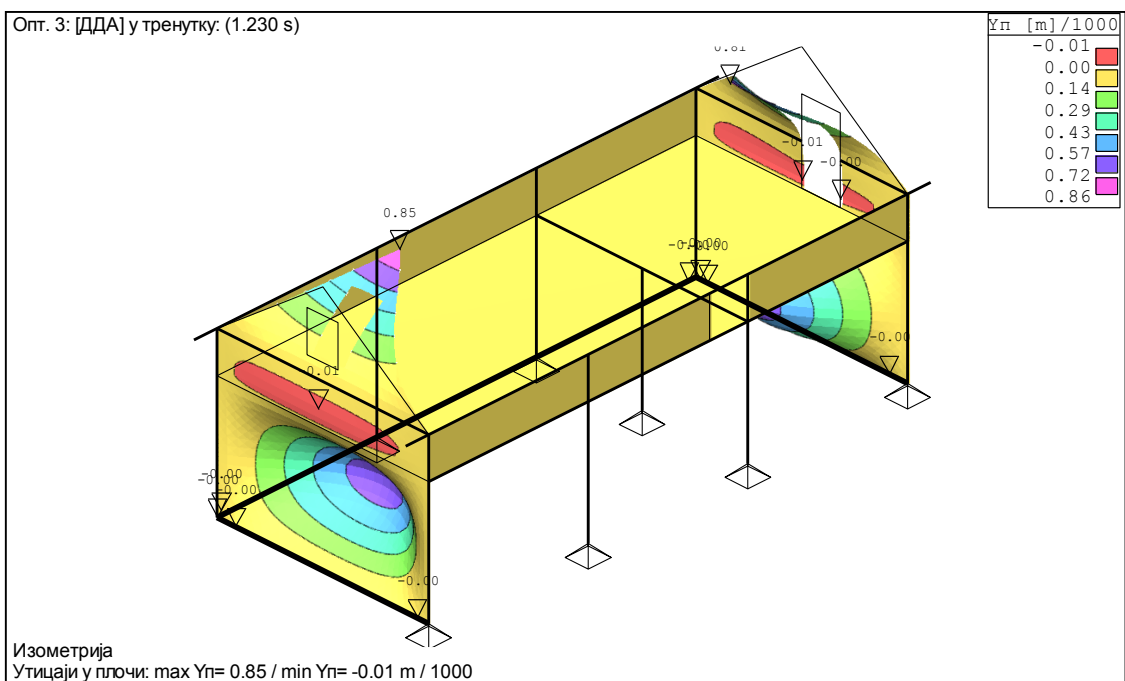
Слика 68: Померања у X правцу, модел са кровном конструкцијом



Слика 69: Померања у X правцу, модел без кровне конструкције



Слика 70: Померања у Y правцу, модел са кровном конструкцијом



Слика 71: Померања у Y правцу, модел без кровне конструкције

Кроз овај пример тестиран је и утицај моделовања кровне конструкције и њеног садејства са калканским зидовима на укупна померања и напрезање. На оба модела издвајају се као релевантна само померања забатних зидова и то у Y правцу, како је то приказано на сликама 78-81. Приметно је да дрвена кровна конструкција, уколико је остварена веза слемењаче са калканским зидом, смањује померања и

напрезања врха забатног зида за скоро 21%. Разлика између фреквенције осциловања тла услед потреса изазваних минирањем и сопствене фреквенције осциловања објекта је и код овог објекта значајна, тако да не постоји опасност да ће објект ући у резонанцу. Осциловање објекта траје практично колико траје и побуда, те краткотрајно дејство ових потреса не утиче на његову стабилност. Међутим, приметно је да се највећа напрезања у калканском зидовима подударају са уоченом хоризонталном прслином изнад међуспратне таванице. Овај пример показује да се применом методе директне динамичке анализе могу уочити места у конструкцији или њеним деловима на којима се јављају највећа напрезања изазвана потресима. Управо та места треба да буду предмет детаљног прегледа у случајевима када се истражују потенцијална оштећења на објектима услед минирања.

Контролом напрезања у тим пресецима, срачунато је да су напрезања услед потреса од минирања, у садејству са осталим оптерећењима, далеко испод дозвољених, што наводи на закључак да минирање није узрок видљивих оштећења. Примећена хоризонтална прслина не може бити изазвана дејством потреса изазваних минирањем иако троугаони део калканског зида показује највећа померања управо у том правцу, али могуће је да је она настала и суперпонираним дејством са другим уобичајеним хоризонталним дејствима (ветар, земљотрес).

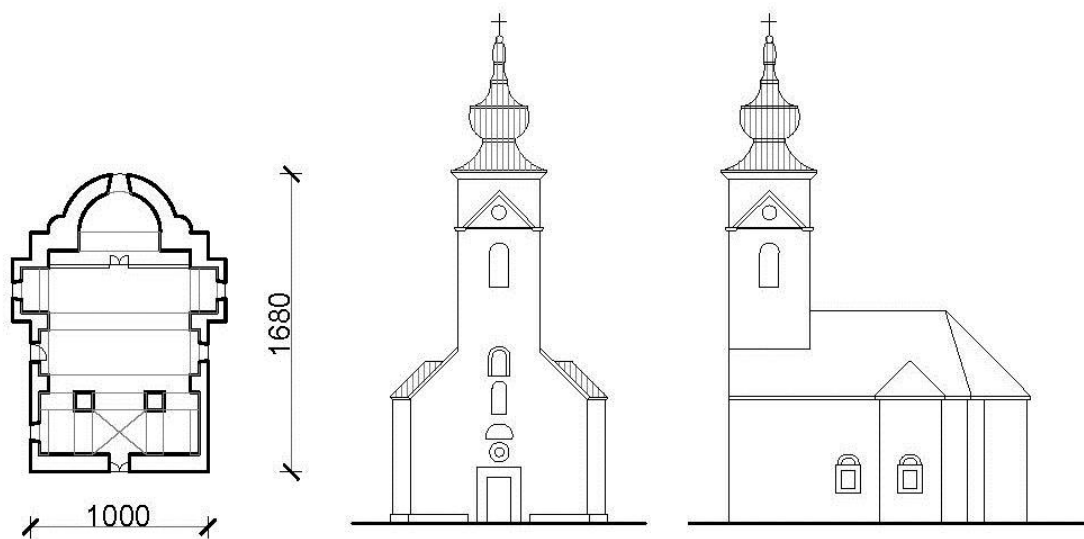
4.1.6. Црква у Бољковцима

У месту Бољковцу, у центру места, налази се локална црква. Услед близине новоотвореног каменолома, јавила се бојазан да би црква могла бити оштећена.



Слика 72: Црква св. Николе у Бољковцима

Црква је једнобродна, зидана од камена, са полукружном апсидом (Слика 73).



Слика 73: Основа и изгледи цркве у Бољевцима



Слика 74: Детаљ сводне конструкције цркве

Зидови су масивни, дебљине од 60 cm, кровна конструкција је дрвена, постављена преко полуобличастих сводова, док је изнад апсиде део лоптастог свода. Кровни покривач је од лима. У унутрашњости цркве између ослонаца сводова постављене су дрвене затеге (Слика 74).

Црква је у изузетно очуваном стању. На спољашњим зидовима нема видних прслина, а и унутрашњост је очувана. Једина приметна прслина је на луку који носи крстасти свод у припрати. Она се налази на средини лука и делује као површинско оштећење.

Услед непостојања измерених временских серија осциловања тла у овом кречњачком каменолому, урађена је динамичка анализа са временском серијом измереном у каменолому Дреновац. Одабрана је временска серија која по положају и удаљењу одговора месту цркве у односу на каменолом. На основу ове анализе не могу се доности никакви закључци, већ је њен циљ само да се одреде места највећих напрезања за сличну временску серију, како би се могла одредити места која би требало осматрати са циљем да се провери да ли се појављују оштећења. Током динамичке анализе у програму „Tower“, карактеристике материјала носеће конструкције објекта усвојене су у складу са стварним стањем елемената конструкције на терену.

Модалном анализом срачунате су сопствене фреквенције објекта за прва три тона, који су у распону од око 1 Hz. (Табела 27).

Табела 27: Периоди осциловања конструкције цркве на мерном месту 1

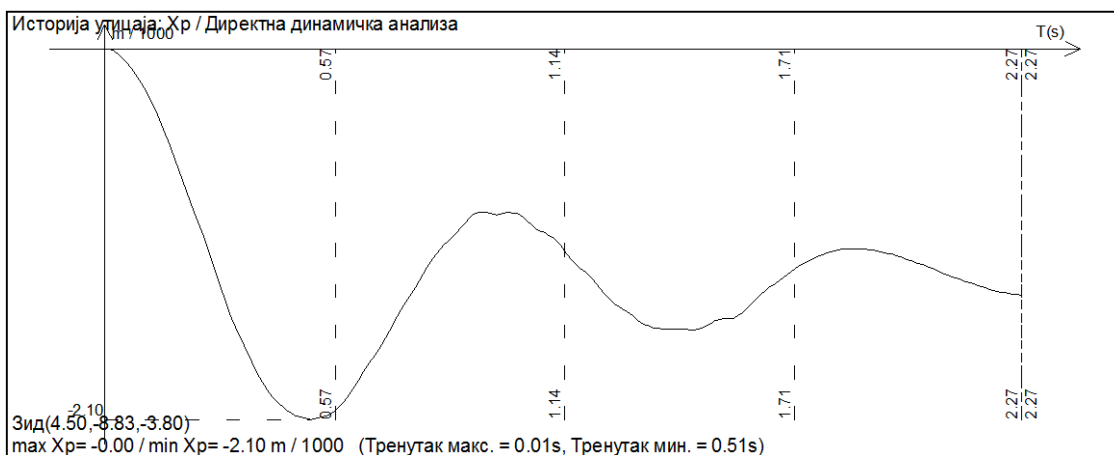
тон	T [s]	f [Hz]
1	1.0898	0.9176
2	0.8754	1.1424
3	0.8360	1.1962

Утицаји у конструкцији објекта срачунати су методом директне динамичке анализе. Као улазни сигнал, коришћени су временски записи убрзања серије минирања 3 за сва три правца (X, Y, Z). Слика 75 приказује временски запис убрзања серије минирања 3, на мерном месту број 1, за прве две секунде.

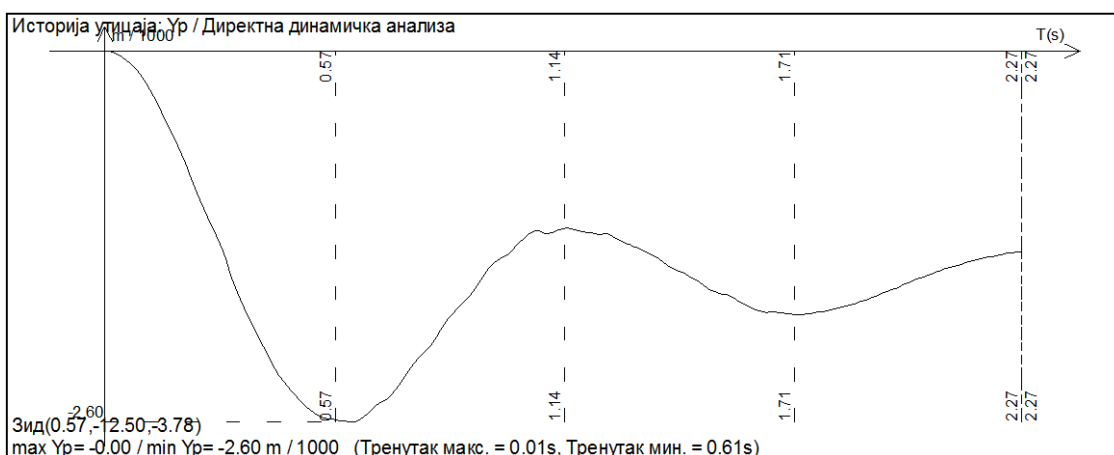


Слика 75: Временске серије убрзања у X, Y и Z правцу

Као резултат прорачуна добијене су историје временских утицаја за елементе конструкције, које приказују Слика 76 и Слика 77. На основу анализе историје временских утицаја за елементе конструкције, одређени су временски тренуци у којима су највећа деформације и напрезања.



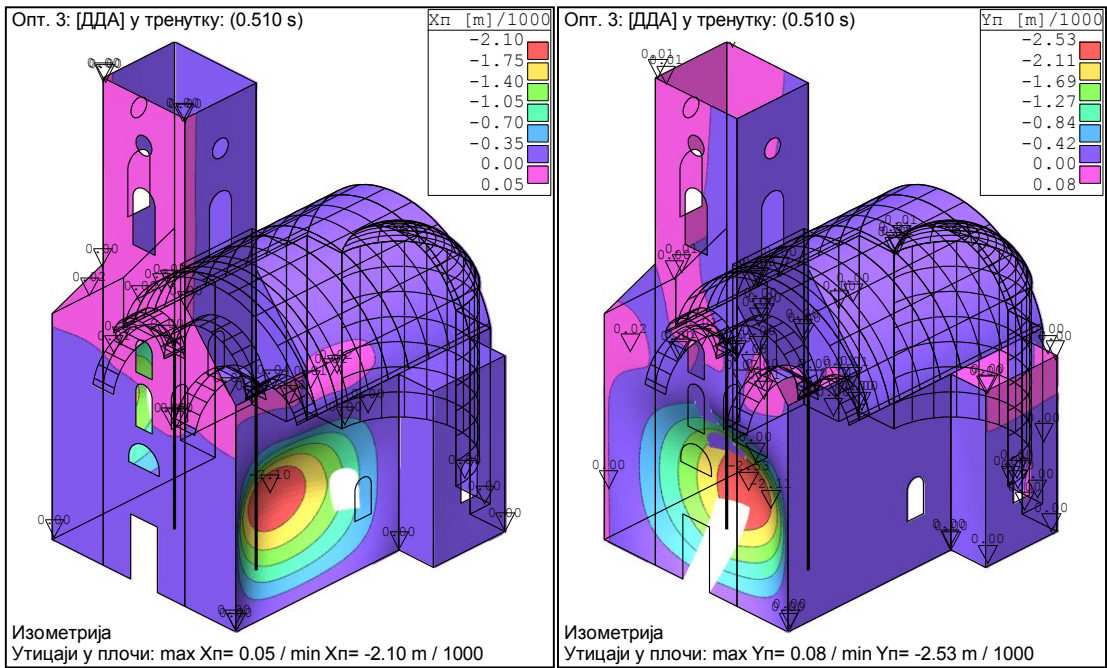
Слика 76: Анализа померања у зиду који показује највећа померања у X правцу (бочни зид)



Слика 77: Анализа померања у зиду који показује највећа померања у Y правцу (улазни фасадни зид)

Резултати прорачуна добијени директном динамичком анализом показују да су утицаји потреса изазваних минирањем на овај објект занемарљиви. Како је цела конструкција цркве масивна и крута, највеће релативно померања је прорачунато на великим фасадним платнима (Слика 78, Слика 79). Ово померање не прелази однос $H/2600$ (где је H висина бочног зида, до стрехе). Краткотрајно дејство потреса и велика разлика између фреквенције осциловања тла и сопствене фреквенције

осциловања објекта обезбеђује да објект не дође у резонанцу, а да потрес има само тренутно и пролазно дејство на објект.



Слика 78: померања у X правцу

Слика 79: померања у Y правцу

5. МОДЕЛОВАЊЕ И ДИНАМИЧКА АНАЛИЗА УТИЦАЈА ПОТРЕСА ОД МИНИРАЊА НА РАЗНЕ ТИПОВЕ АРХИТЕКТОНСКИХ ОБЈЕКТА

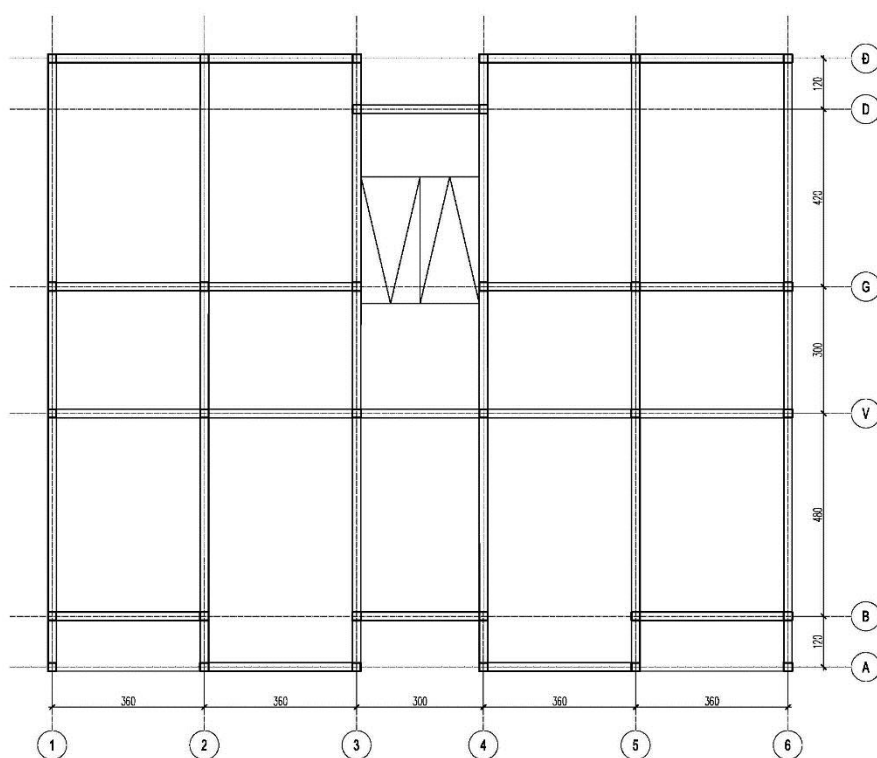
У овом делу су анализирани утицаји потреса од минирања на разне типове архитектонских објеката. Према намени предмет анализе били су стамбени и пословно-комерцијални објекти. Према врсти конструкције анализирани су објекти са носећим зидовима, носећим стубовима и мешовитом носећом конструкцијом. Према врсти материјала од којих је израђена конструкција реч је о армиранобетонским објектима и зиданим објектима са и без армиранобетонских серклажа. Према спратности, објекти су били ниски (П+1 и П+3 за зидане, П+2 и П+4 за армиранобетонске), средњи (П+8, само армиранобетонски) и високи (П+16, само армиранобетонски). Анализирани типови представљају највећи број објеката за становање, пословно и комерцијално коришћење. За анализу су изабране основе са типичним распонима за стамбену и пословно-комерцијалну делатност. Предмет анализе нису били архитектонски објекти великих распона јер они представљају појединачне случајеве и за њих је потребно спровести посебну анализу.

Анализирани типски објекти изложени су дејству временских серија регистрованих у каменолому „Дреновац“ на мерном месту 3. Исти поступак моделовања и динамичке анализе који је примењен на реалне објекте, примењен је и на изабране артифицијелне типове. Сврха ове анализе је да се покаже применљивост поступка и препозна општи тренд утицаја потреса на различите архитектонске објекте. Пошто су минирања извођена према стандардима, разумљиво је да никакво прекорачење дозвољених напона и деформација није уочено. Међутим, оваква анализа напрезања показује који су гранични критеријуми меродавни (деформације, напрезања), који су елементи конструкције најугроженији, те где ће се појавити прва оштећења. Исти поступак се може спровести и за артифицијелно увећано дејство потреса, срачунато на основу веће количине експлозива или мање удаљености од места минирања. Примена овог нестандардног поступка пружа могућност да се анализирају дејства променљивих количина експлозива на реалне објекте, или на пројектоване објекте на разним удаљеностима од места минирања.

На основу понашања анализираних типских објеката на дејство потреса од минирања, могу се срачунати дијаграми зависности дозвољене количине експлозива и безбедног удаљења за неки претпостављени тип објекта, на основу меродавних граничних критеријума (највеће померање неке тачке објекта, највеће релативно померање, гранично напрезање или граничне деформације елемената конструкције). На тај начин се може проценити ефект експлозија на анализирани објект (било реални, било пројектовани), и могу се срачунати количине експлозива, односно удаљења од места минирања, користећи граничне вредности меродавних критеријума за димензионисање елемената конструкције. Коришћењем конвенционалних једначина са највећим вредностима R и најмањим вредностима средње квадратне грешке (предиктор ЦМРИ, Табела 11), може се израчунати однос између дозвољене количине експлозива и раздаљине, за посматрани тип архитектонског објекта, а за меродавни критеријум граничног стања. Као илустрација поступка, за анализирани типски објект П+16 са рамовском конструкцијом, приказан је дијаграм максималне дозвољене количине експлозива на одређеном растојању, а за меродавни критеријум максималног померања објекта ($H/600$).

5.1. Зидане конструкције

За анализу утицаја минирања на зидане архитектонске објекте анализирана је зграда коју приказује Слика 80. Овај тип може репрезентовати стамбене зграде са два или три стана по етажи, ниске спратности (П+1 до П+3), зидане опеком или опекарским блоком, са или без армиранобетонских серклажа. Посматрани објекти су распона $5 \times 3,60$ метара у правцу носећих зидова, и $(1,2+4,8)+3,0+(4,2+1,2)$ метра у другом правцу. Спратна висина је 3,0 метра. Таваница је армиранобетонска пуна плоча дебљине 15 цм. Карактеристике елемената конструкције приказане су у прилогу 1.



Слика 80: Основа типског спрата зидане зграде

Анализа је показала да су додатна напрезања у носећој конструкцији зидова услед дејства потреса од минирања знатно мања од напрезања од гравитационог оптерећења, и да незнатно утичу на димензионисање елемената конструкције. Контрола деформација је показала да су и укупне и релативне деформације услед дејства минирања знатно мање од дозвољених. Табела 28 приказује максималне деформације у X и Y правцу зиданих типских објеката. Овако мале деформације не

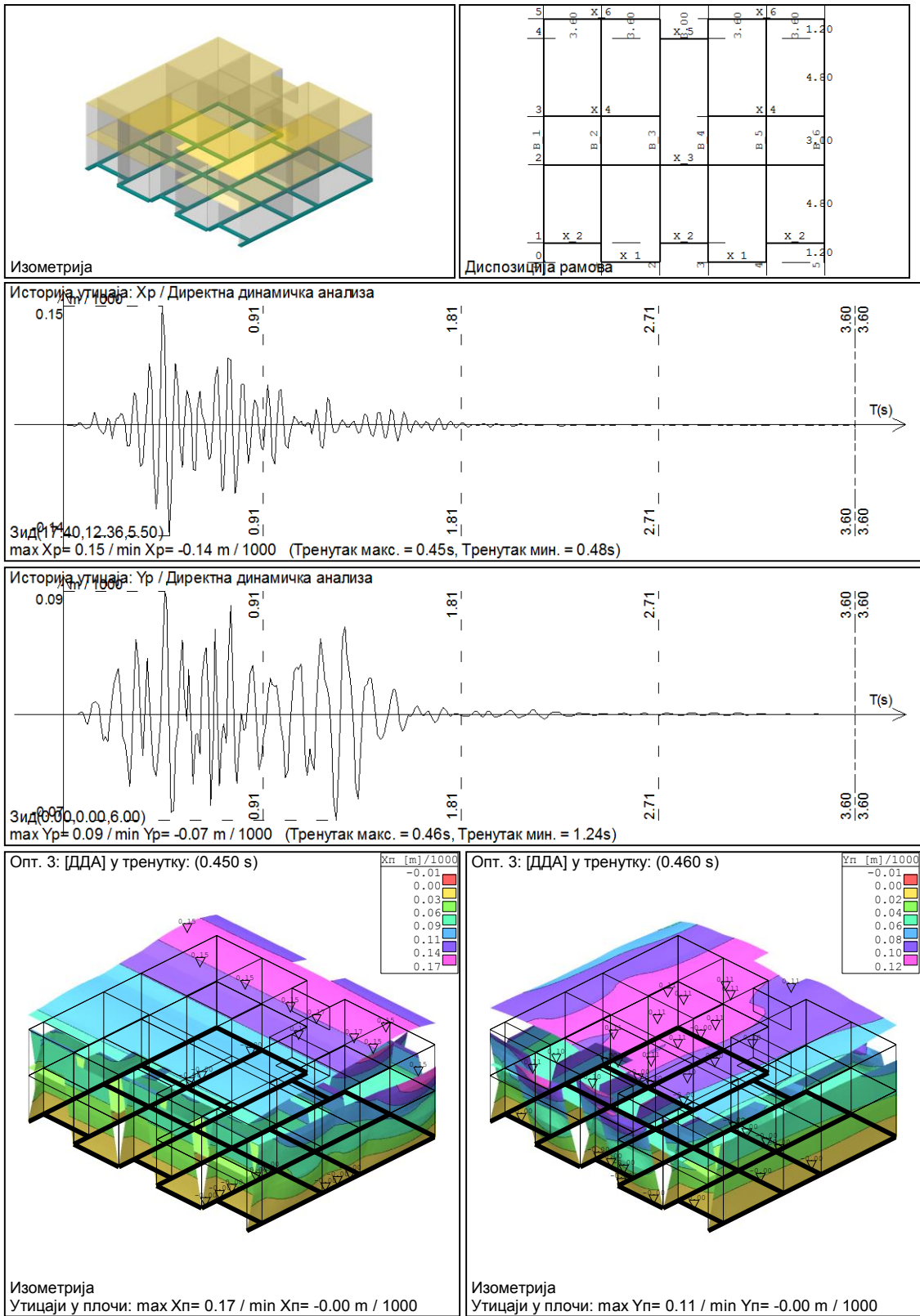
изненађују јер су минирања извођена према стандардима, а зграде су правилне и конструисане у складу са Правилником техничким нормативима за изградњу објеката високоградње у сеизмичким подручјима.

Табела 28: Максимална померања у X и Y правцу зиданих типских објеката

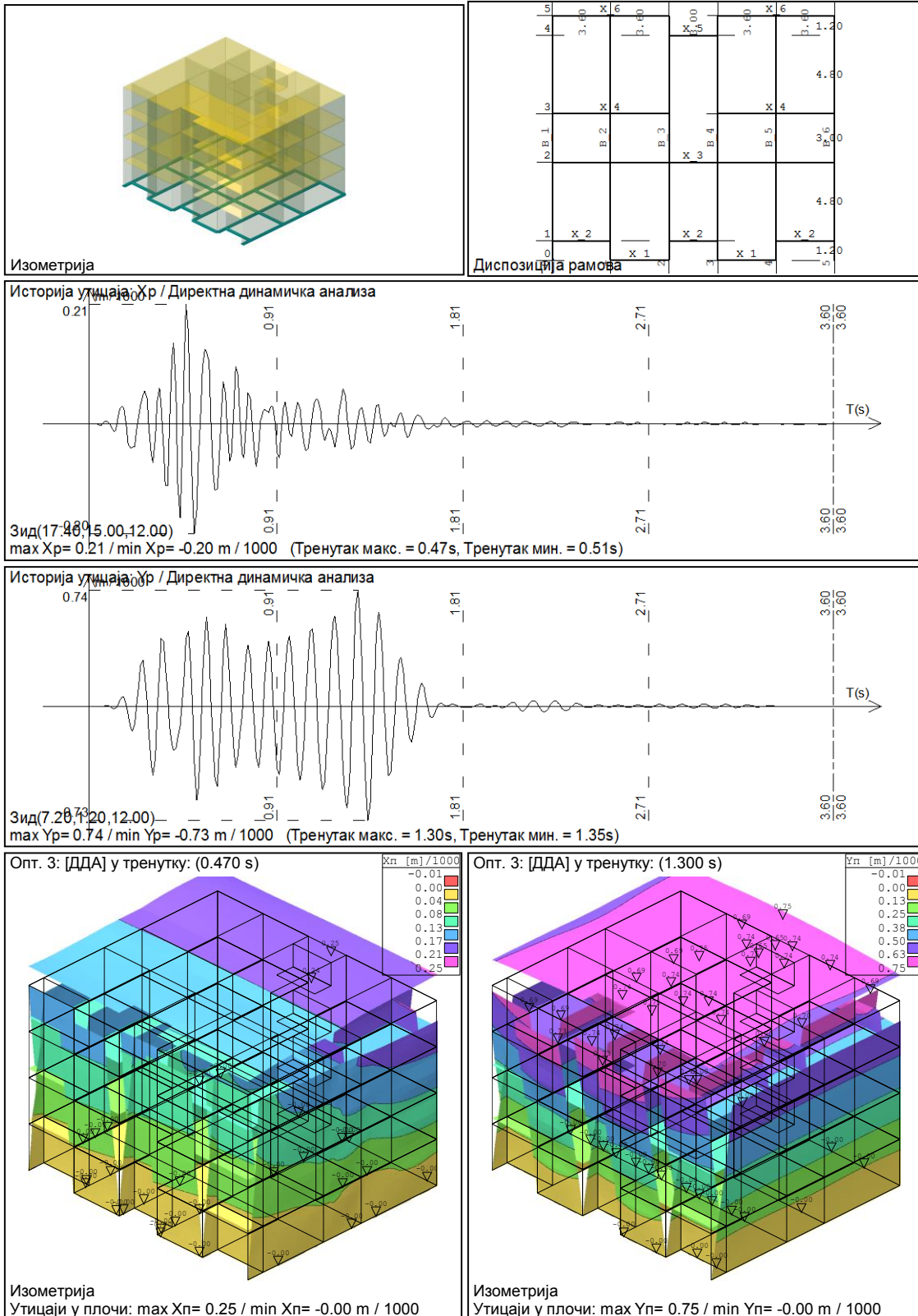
	П+1 без серклажа		П+1 са серклажима		П+3 без серклажа		П+3 са серклажима	
	Xp, max (mm)	Yp, max (mm)	Xp, max (mm)	Yp, max (mm)	Xp, max (mm)	Yp, max (mm)	Xp, max (mm)	Yp, max (mm)
Пом.	0,15	0,10	0,14	0,09	0,25	0,71	0,26	0,52

На сликама 81-84. приказан је тродимензионални модел конструкције, распоред зидова у основи, највећа померања објекта у X и Y правцу (на углу највише таванице), као и највећа релативна померања таваница (таваница изнад приземља).

5.1.1. Зидане конструкције без серклажа

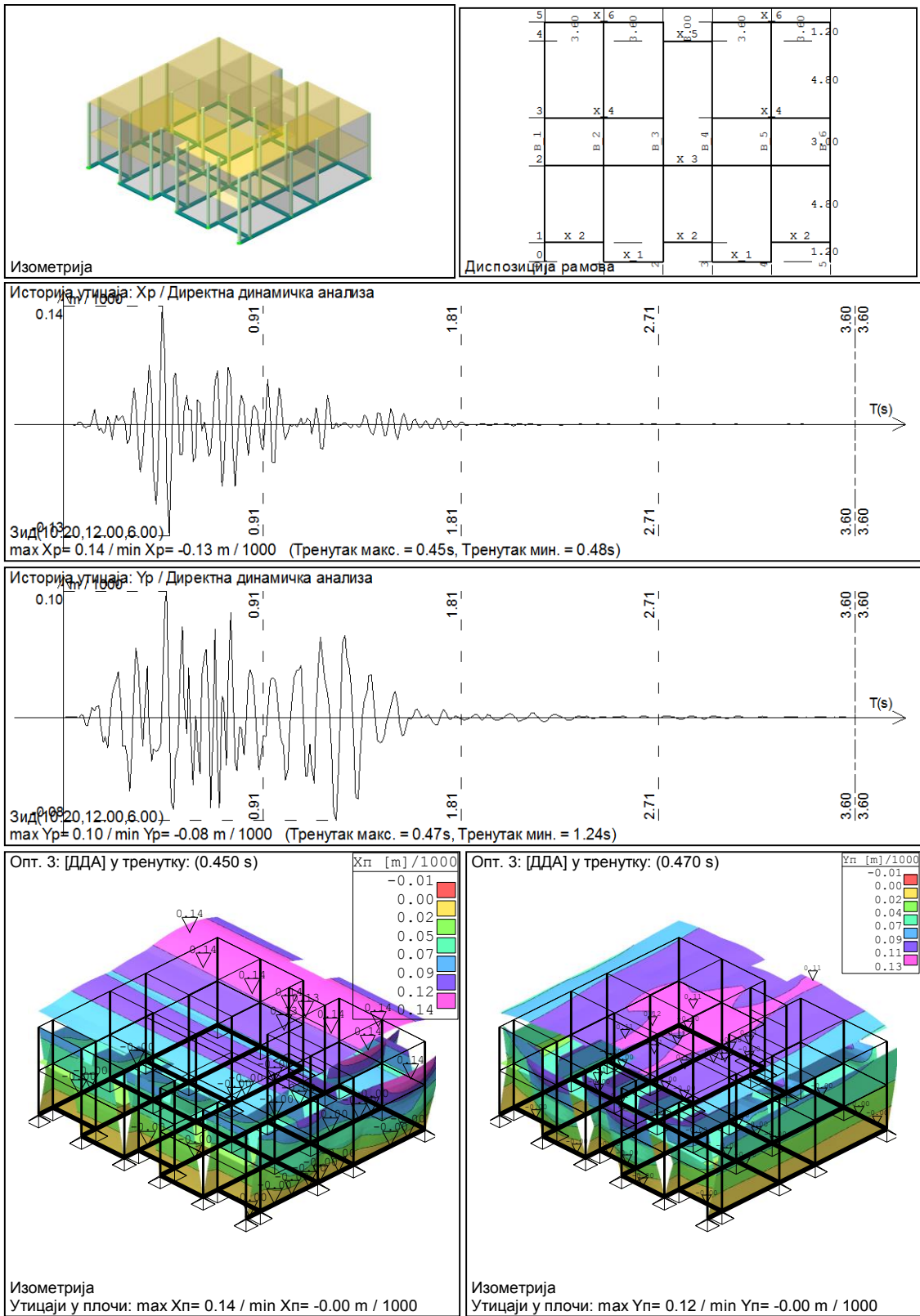


Слика 81: П+1: 3д модел, основа, максимална релативна померања

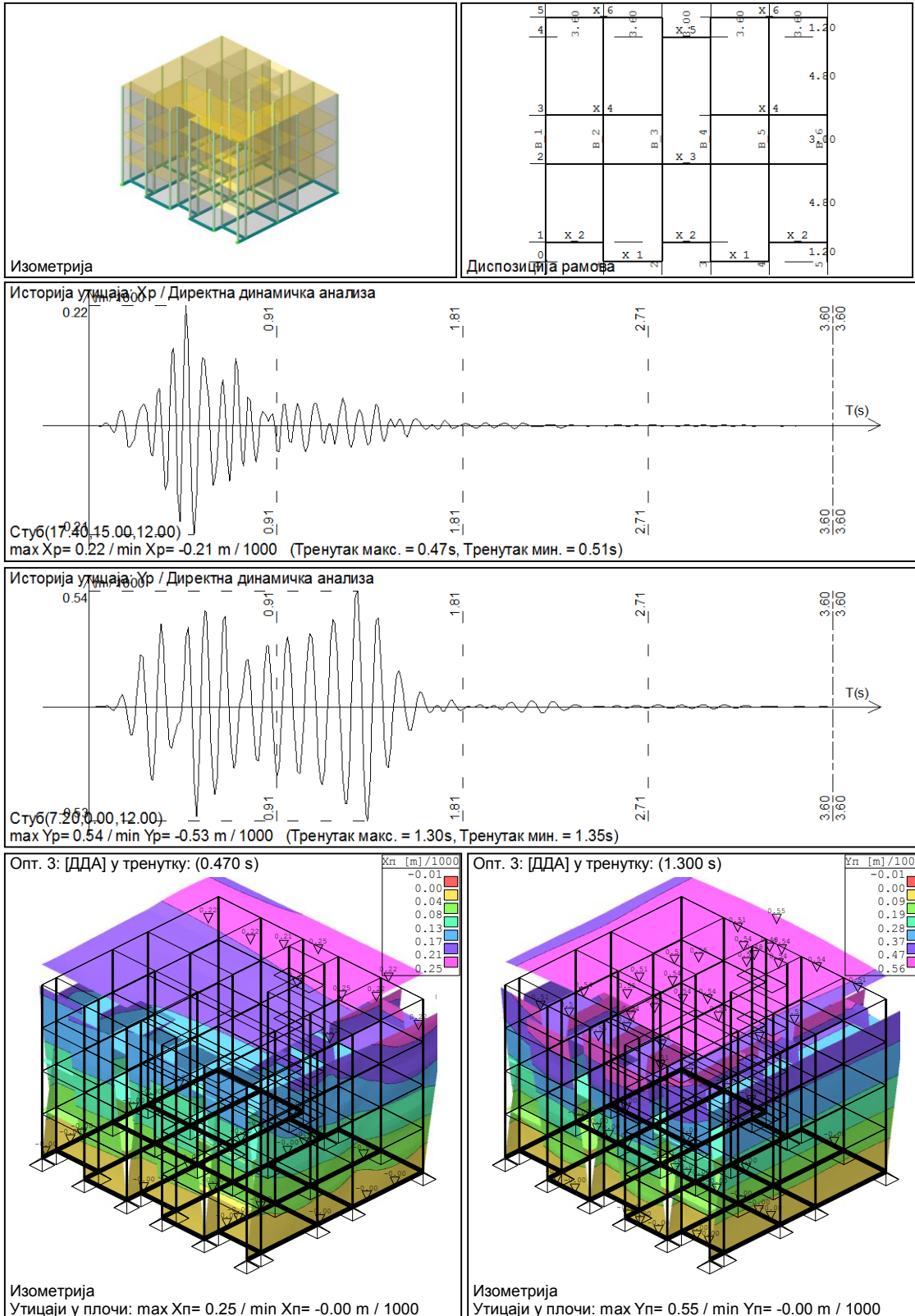


Слика 82: П+3: 3д модел, основа, максимална релативна померања

5.1.2. Зидане конструкције са серклажима



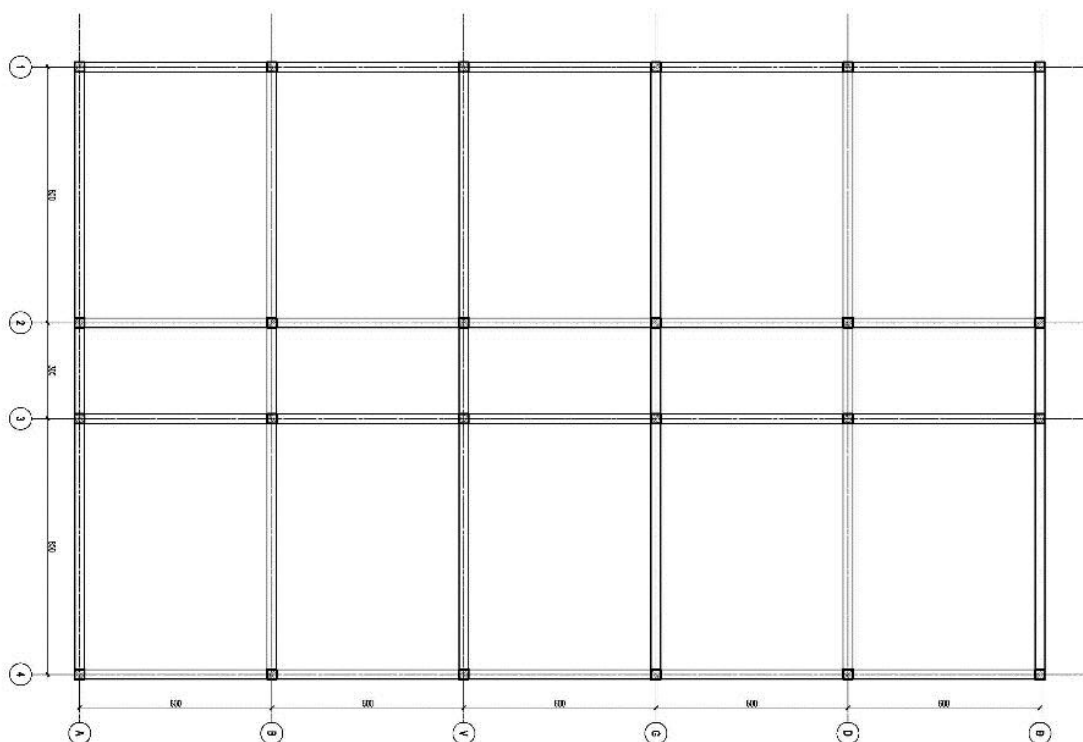
Слика 83: П+1: 3д модел, основа, максимална релативна померања



Слика 84: П+3: 3д модел, основа, максимална релативна померања

5.2. Армиранобетонске рамовске конструкције

Посматрани су архитектонски армиранобетонски објекти, спратности П+2, П+4, П+8 и П+16. Објект је распона 8,0+3,0+8,0 у једном, и 5×6,0 метара у другом правцу, а спратна висина је 3,0 метра. Носећа конструкција је рамовска, састављена од стубова и греда у два правца (Слика 85). Димензије елемената су претпостављене из услова граничне носивости за гравитационо оптерећење. Карактеристике елемената конструкције приказане су у прилогу 1.

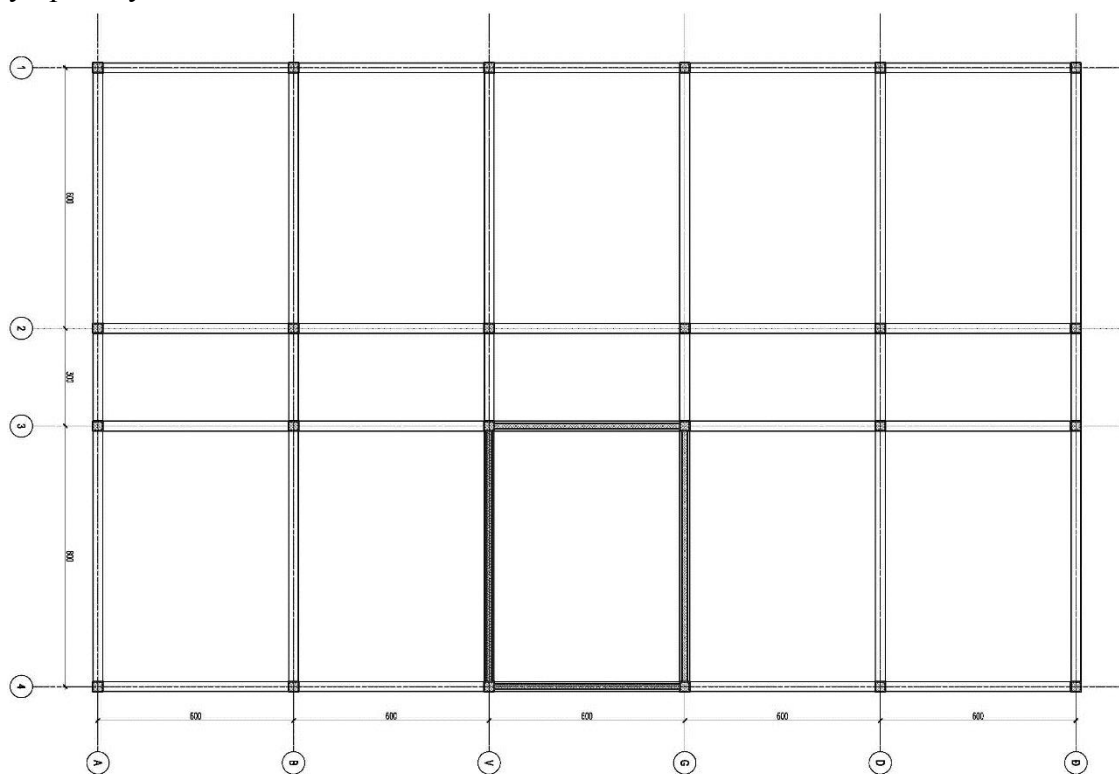


Слика 85: Основа типске армиранобетонске рамовске конструкције

Анализа је показала да су додатна напрезања у конструкцији услед дејства потреса од минирања далеко мања од напрезања од гравитационог оптерећења, и да незнатно утичу на димензионисање елемената конструкције. Контрола деформација је показала да су и укупне и релативне деформације мање од дозвољених. На сликама 86-89. приказан је тродимензионални модел конструкције, распоред рамова у основи, највећа померања објекта у X и Y правцу (на углу највише таванице), као и највећа релативна померања таваница (таваница изнад приземља).

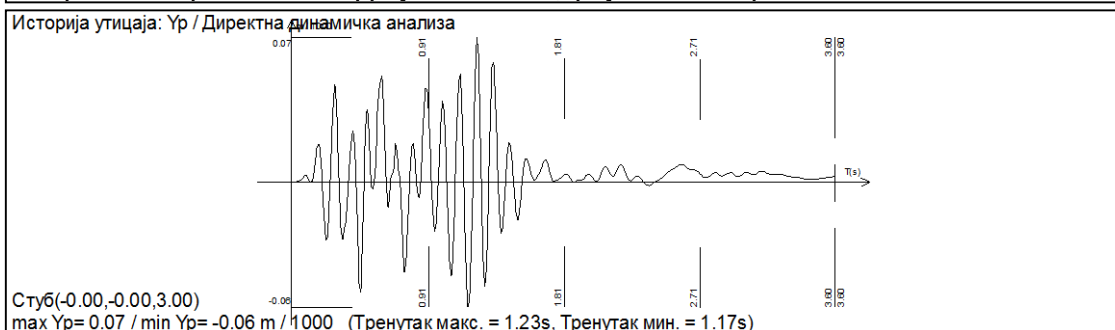
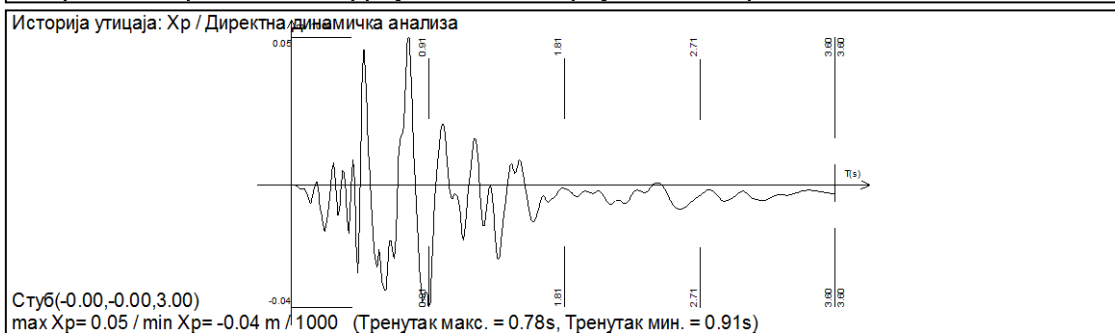
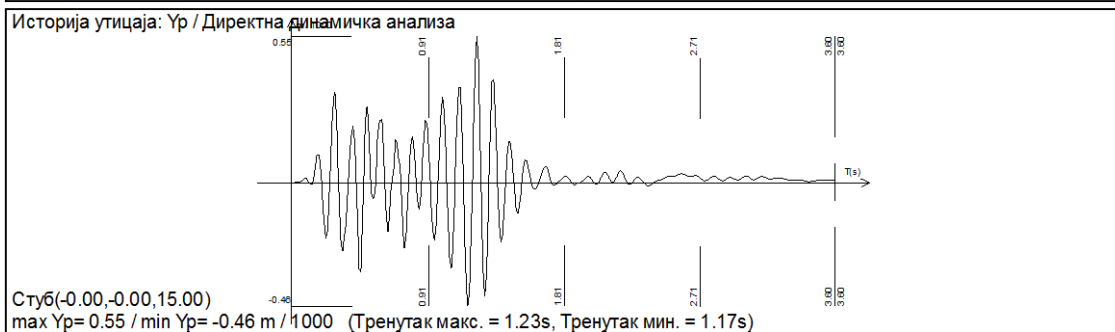
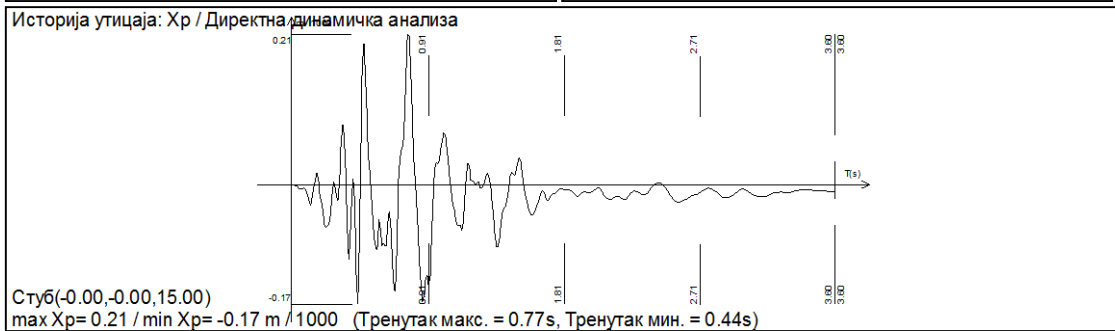
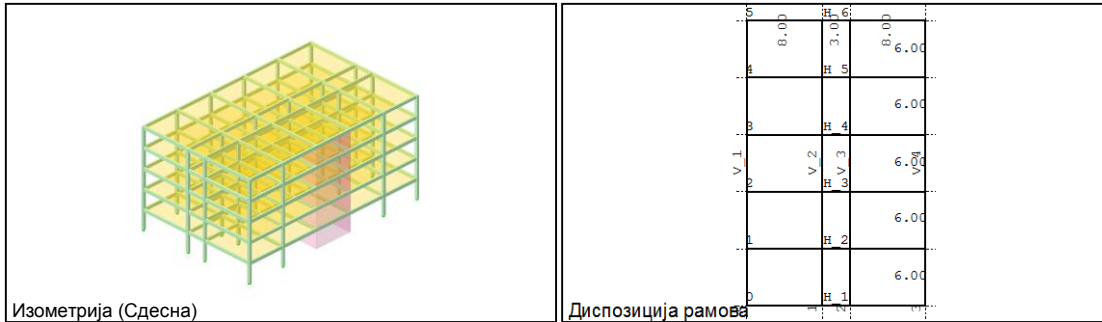
5.3. Армиранобетонске рамовске конструкције са језгром

Посматрани су архитектонски армиранобетонски објекти, спратности П+2, П+4, П+8 и П+16. Сви објекти су истих распона и спратних висина као и у претходном примеру. Носећа конструкција је рамовска, састављена од стубова и греда у два правца, а армиранобетонско језгро сачињавају зидови дебљине 16 цм (Слика 90). Димензије елемената су претпостављене из услова граничене носивости за гравитационо оптерећење. Карактеристике елемената конструкције приказане су у прилогу 1.

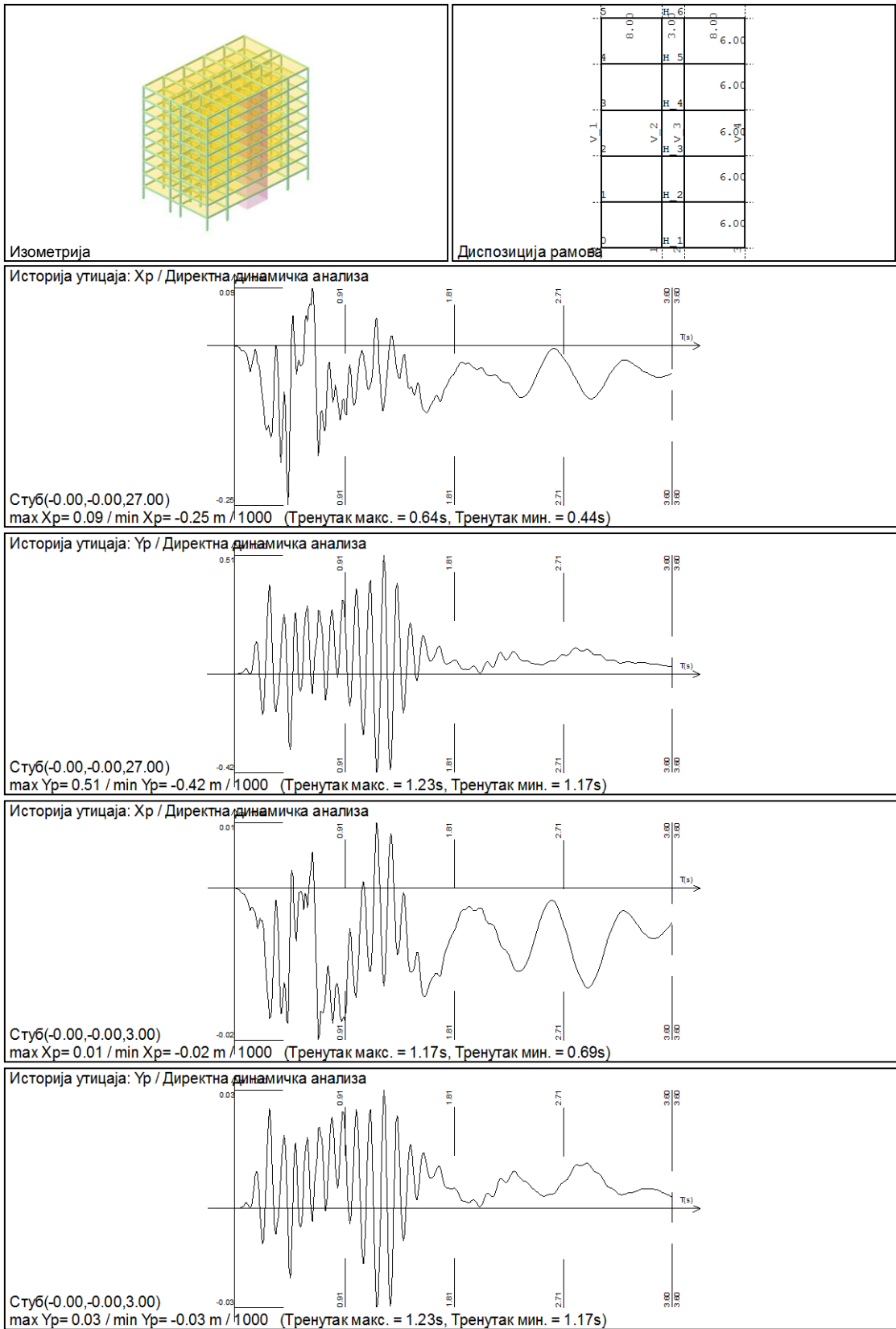


Слика 90: Основа типске армиранобетонске рамовске конструкције са језгром

Анализа је показала да су додатна напрезања у конструкцији услед дејства потреса од минирања далеко мања од напрезања од гравитационог оптерећења, и да незнатно утичу на димензионисање елемената конструкције. Контрола деформација је показала да су и укупне и релативне деформације мање од дозвољених. На сликама 91-94 приказан је тродимензионални модел конструкције, распоред рамова у основи, највећа померања објекта у X и Y правцу (на углу највише таванице), као и највећа релативна померања таваница (таваница изнад приземља).



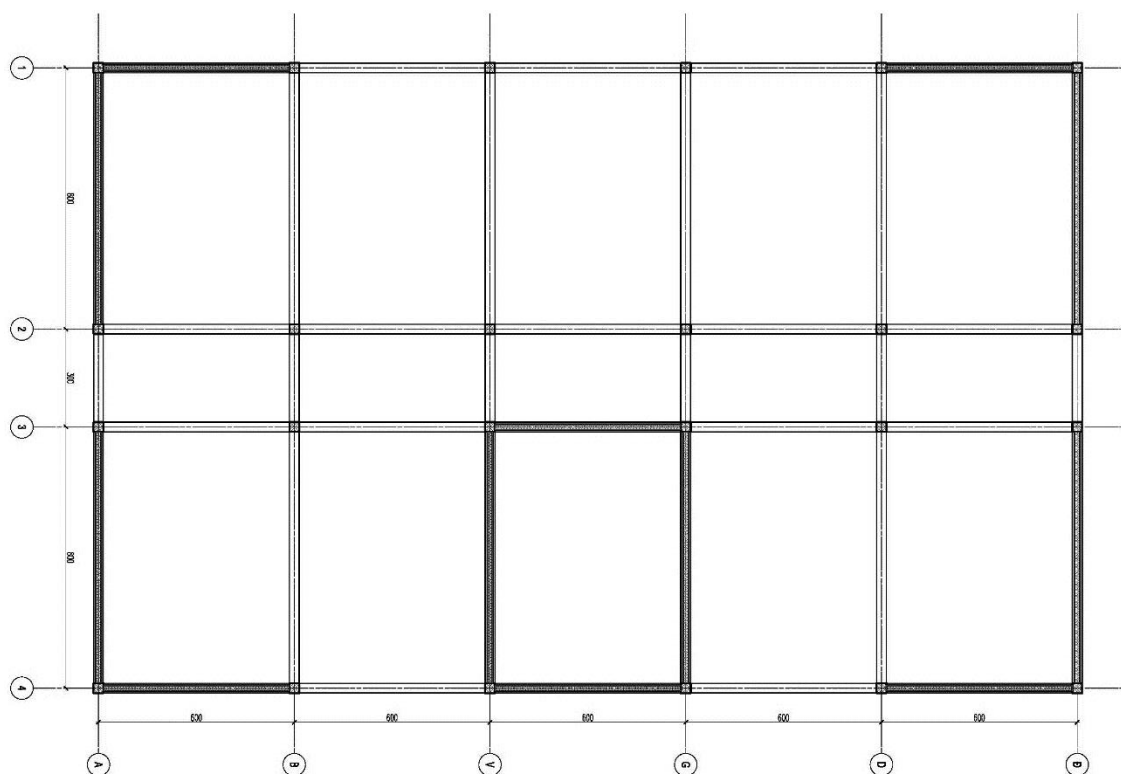
Слика 92: П+4: 3д модел, основа, максимална укупна и релативна померања.



Слика 93: П+8: 3д модел, основа, максимална укупна и релативна померања.

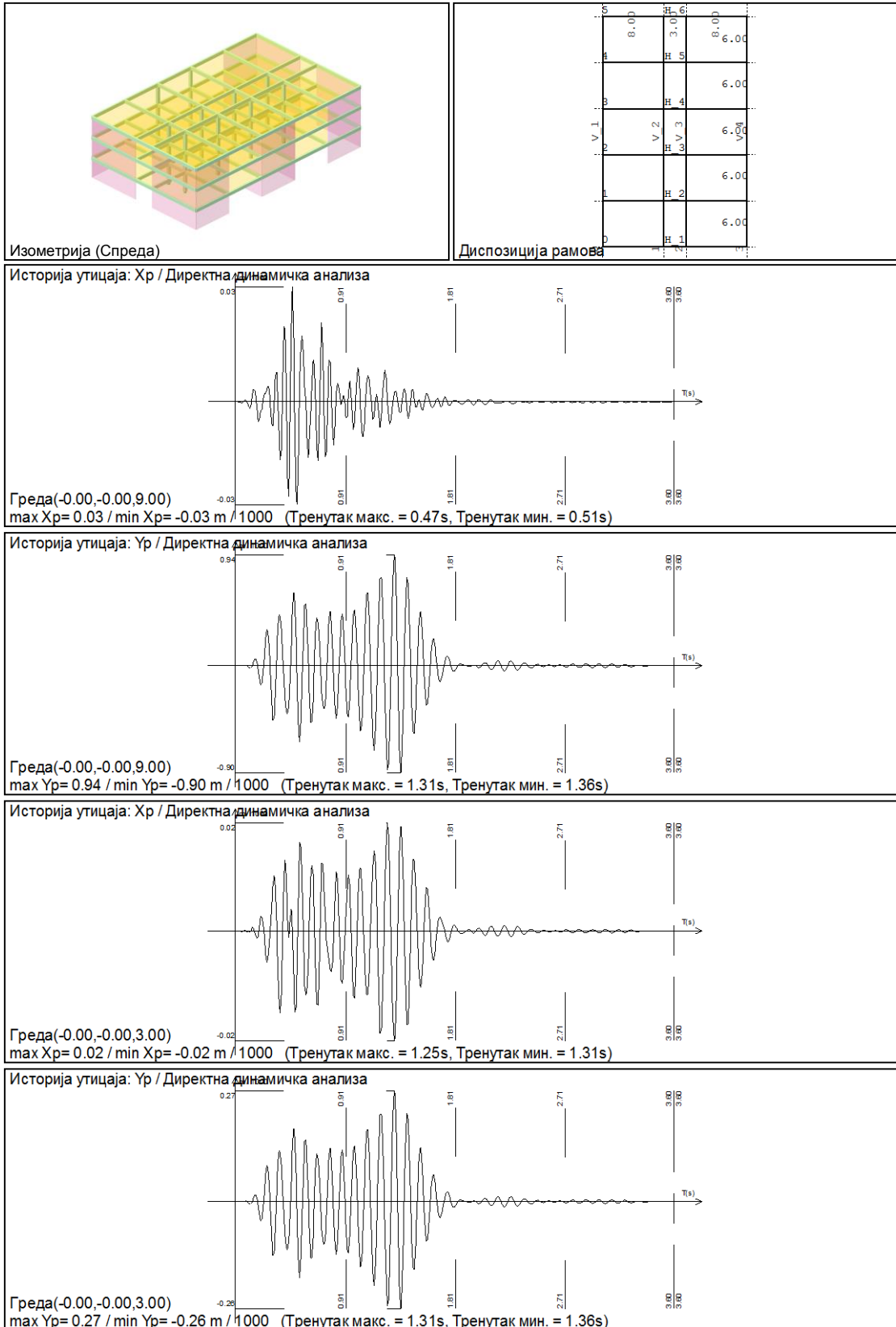
5.4. Армиранобетонске рамовске конструкције са носећим зидовима и језгром

Посматрани су архитектонски армиранобетонски објекти са мешовитом носећом конструкцијом састављеном од носећих зидова, стубова и греда. Сви објекти су истих распона, спратних висина и спратности, као и у осталим примерима. Носећа конструкција је мешовита, састављена од стубова и греда у два правца, а армиранобетонски зидови су дебљине 16 цм (Слика 95). Карактеристике елемената конструкције приказане су у прилогу 1.

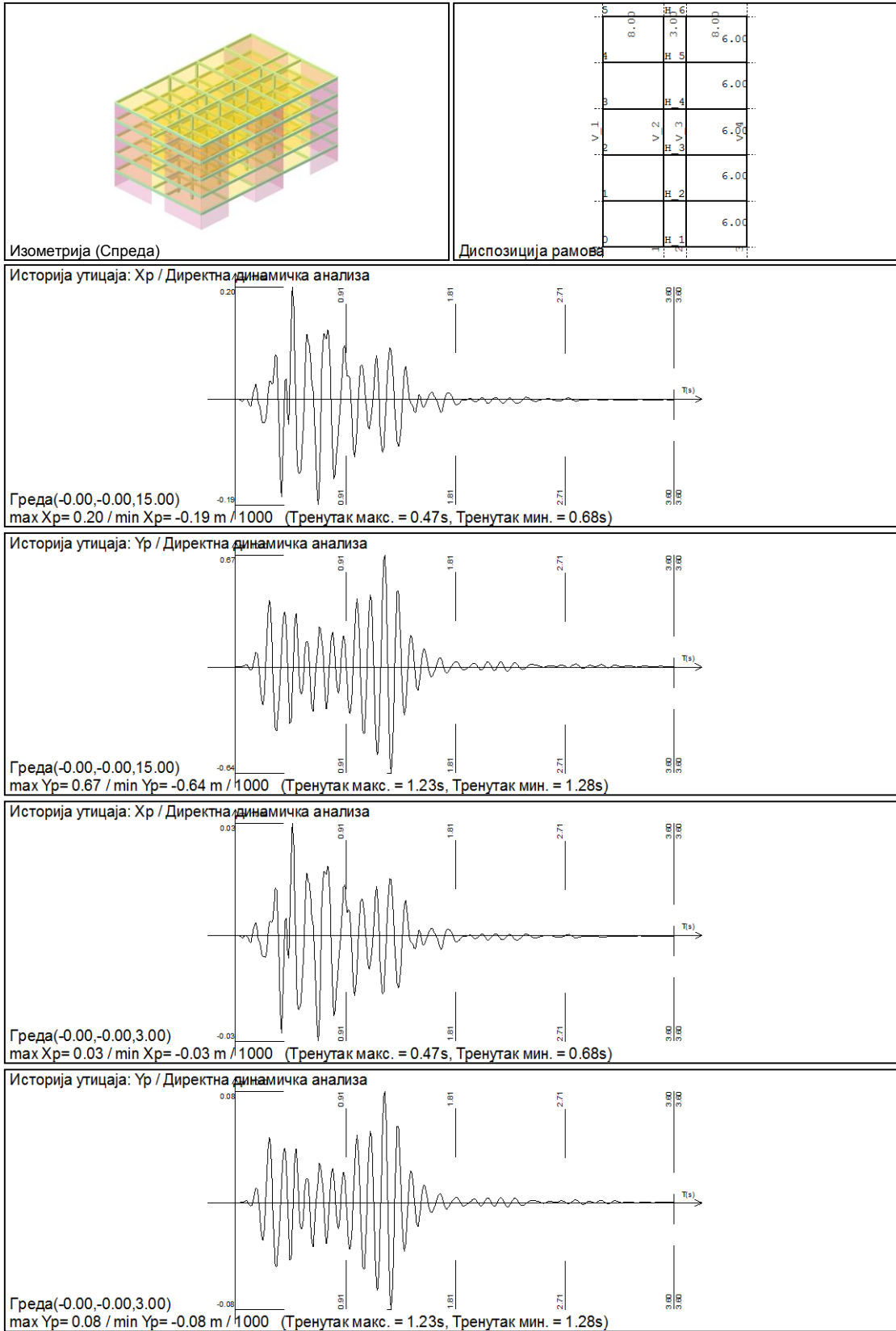


Слика 95: Основа типске армиранобетонске рамовске конструкције са језгром

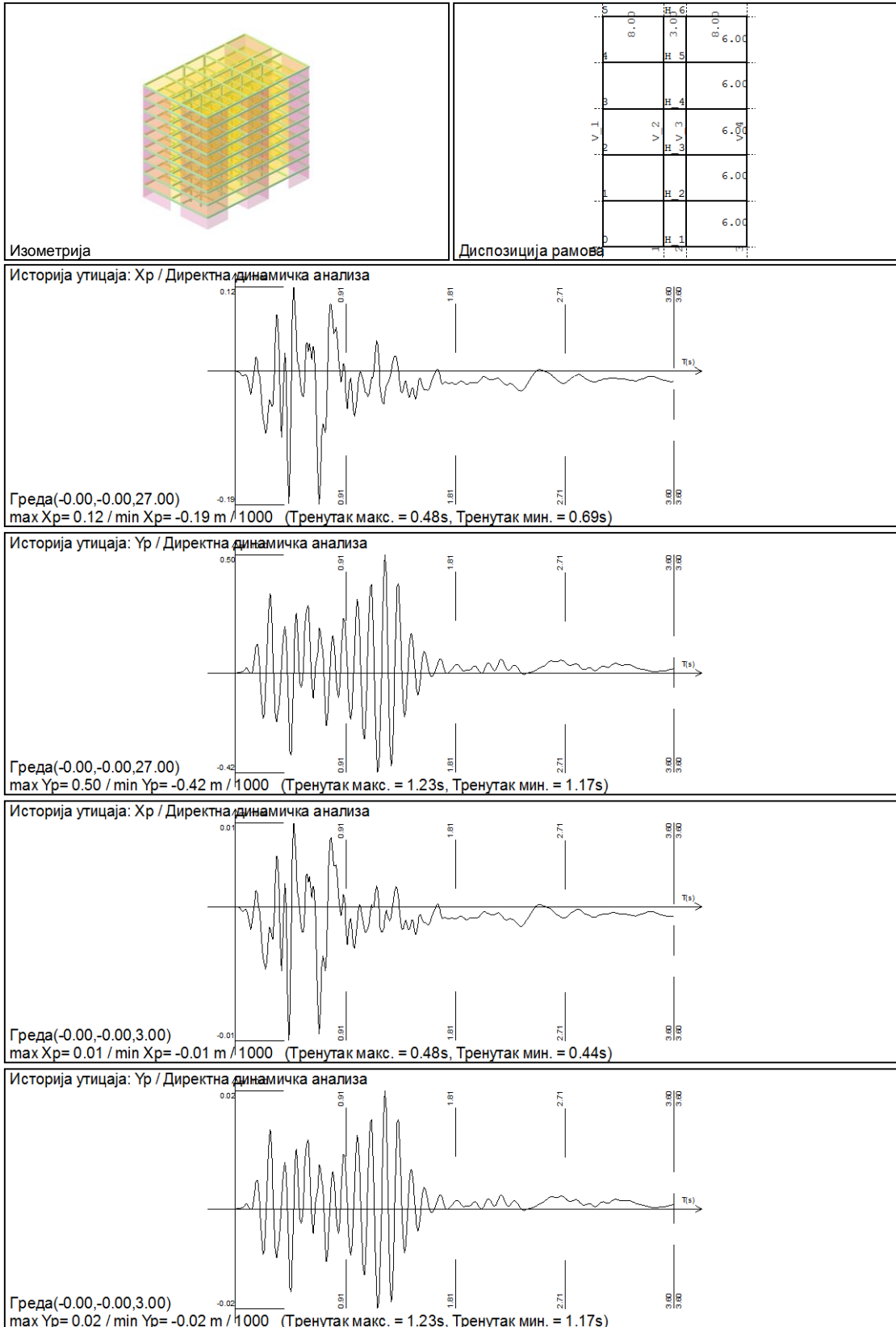
Као и у претходним примерима, анализа је показала да су додатна напрезања у конструкцији услед дејства потреса од минирања далеко мања од напрезања од гравитационог оптерећења, и да незнатно утичу на димензионисање елемената конструкције. Контрола деформација је показала да су и укупне и релативне деформације мање од дозвољених. На сликама 96-99 приказан је тродимензионални модел конструкције, распоред рамова у основи, највећа померања објекта у X и Y правцу (на углу највише таванице), као и највећа релативна померања таваница (таваница изнад приземља).



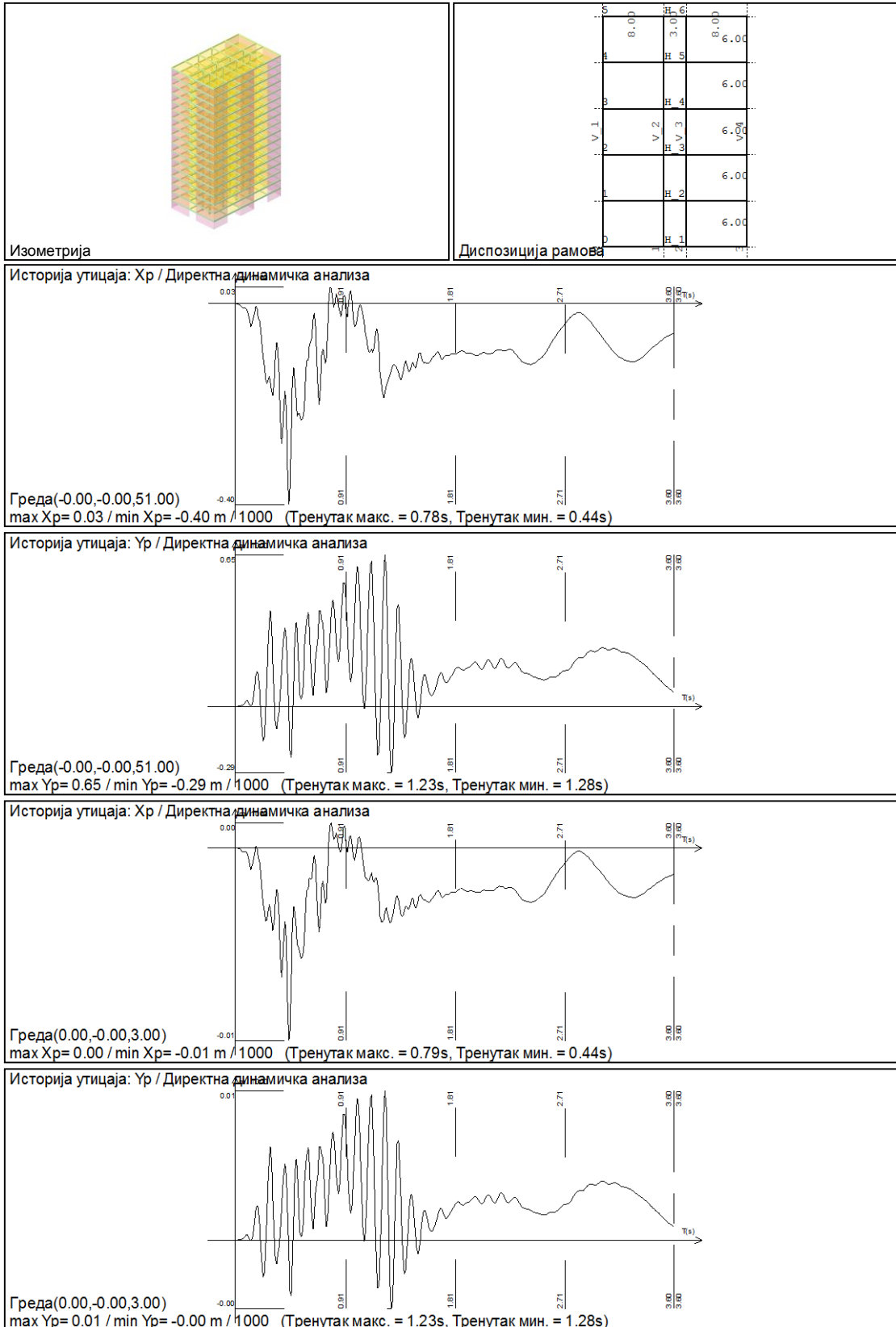
Слика 96: П+2: 3д модел, основа, максимална укупна и релативна померања.



Слика 97: П+4: 3д модел, основа, максимална укупна и релативна померања.



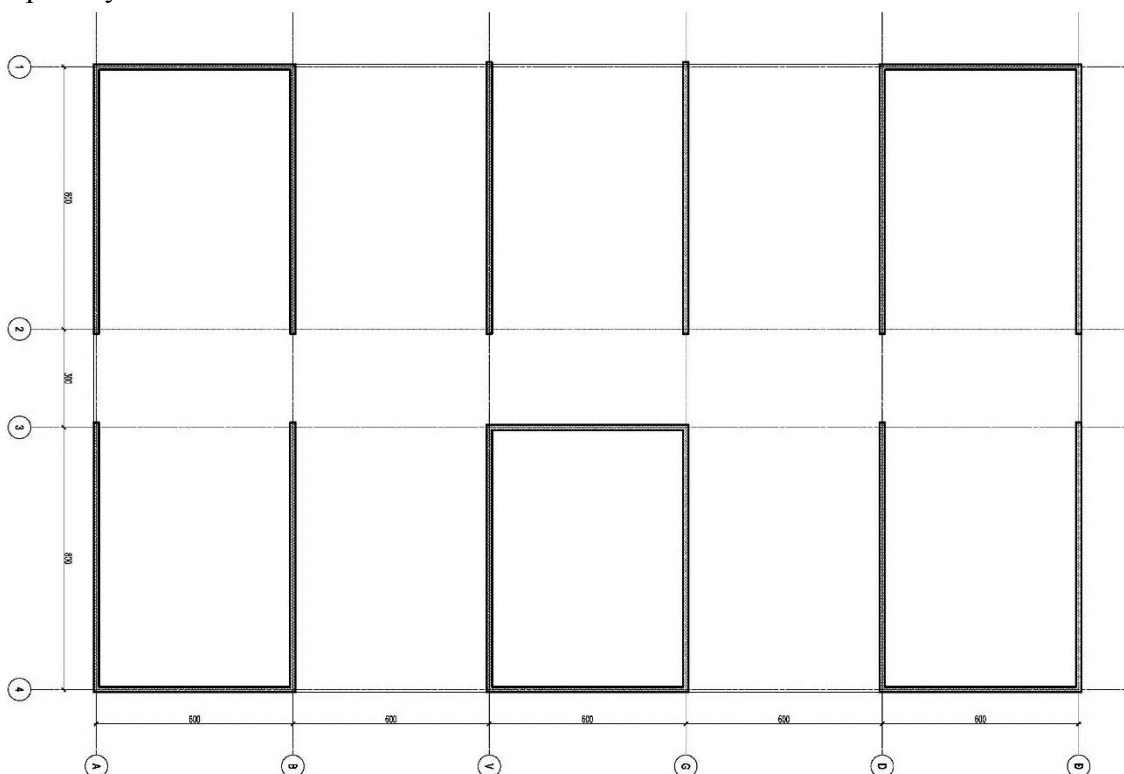
Слика 98: П+8: 3д модел, основа, максимална укупна и релативна померања.



Слика 99: П+16: 3д модел, основа, максимална укупна и релативна померања.

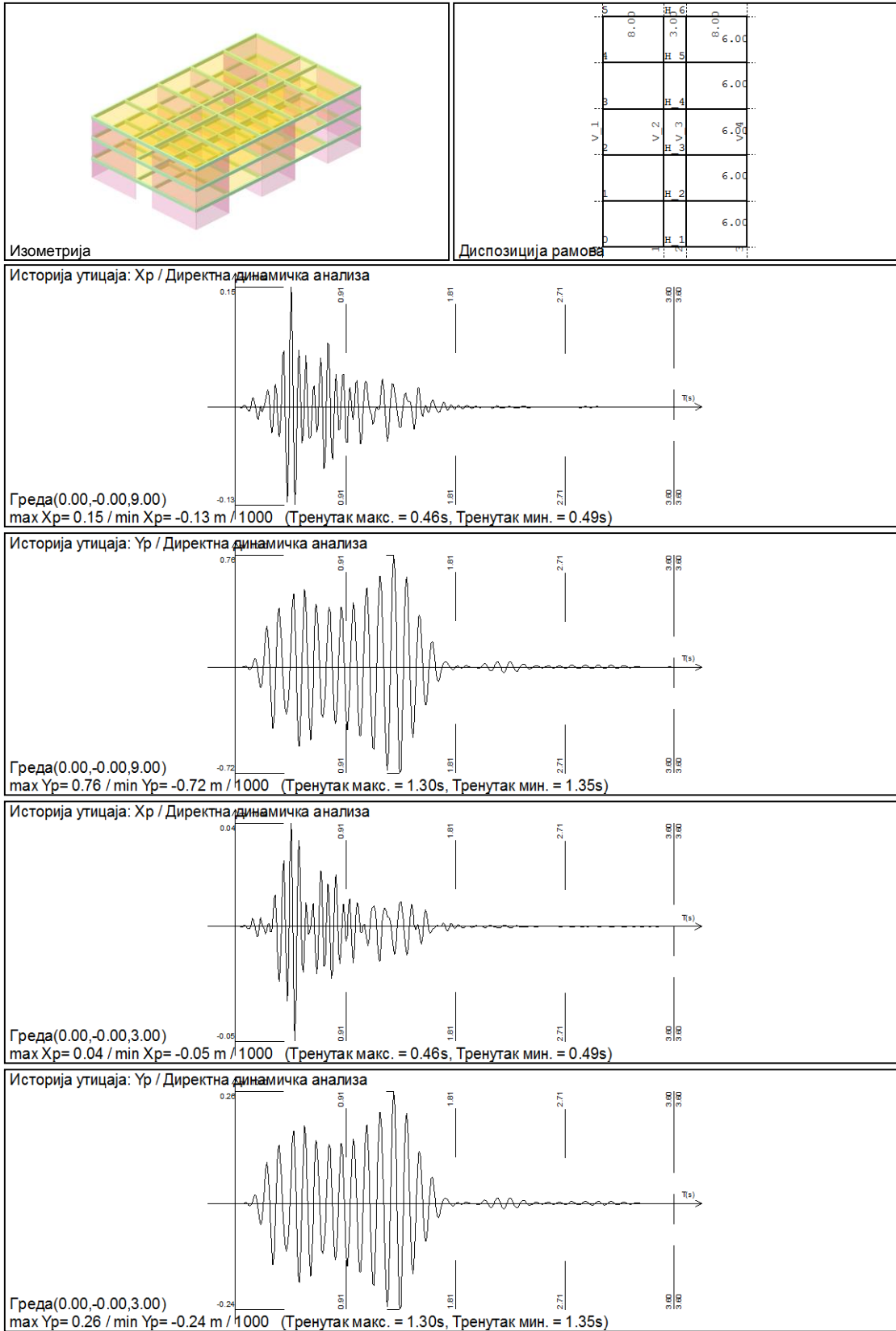
5.5. Армиранобетонске конструкције са носећим зидовима

Анализирани су архитектонски објекти са носећом конструкцијом састављеном од носећих армиранобетонских зидова. Сви објекти су истих распона, спратних висина и спратности, као и у претходним примерима (Слика 100). Димензије елемената су претпостављене из услова граничене носивости за гравитационо оптерећење. Карактеристике елемената конструкције приказане су у прилогу 1.

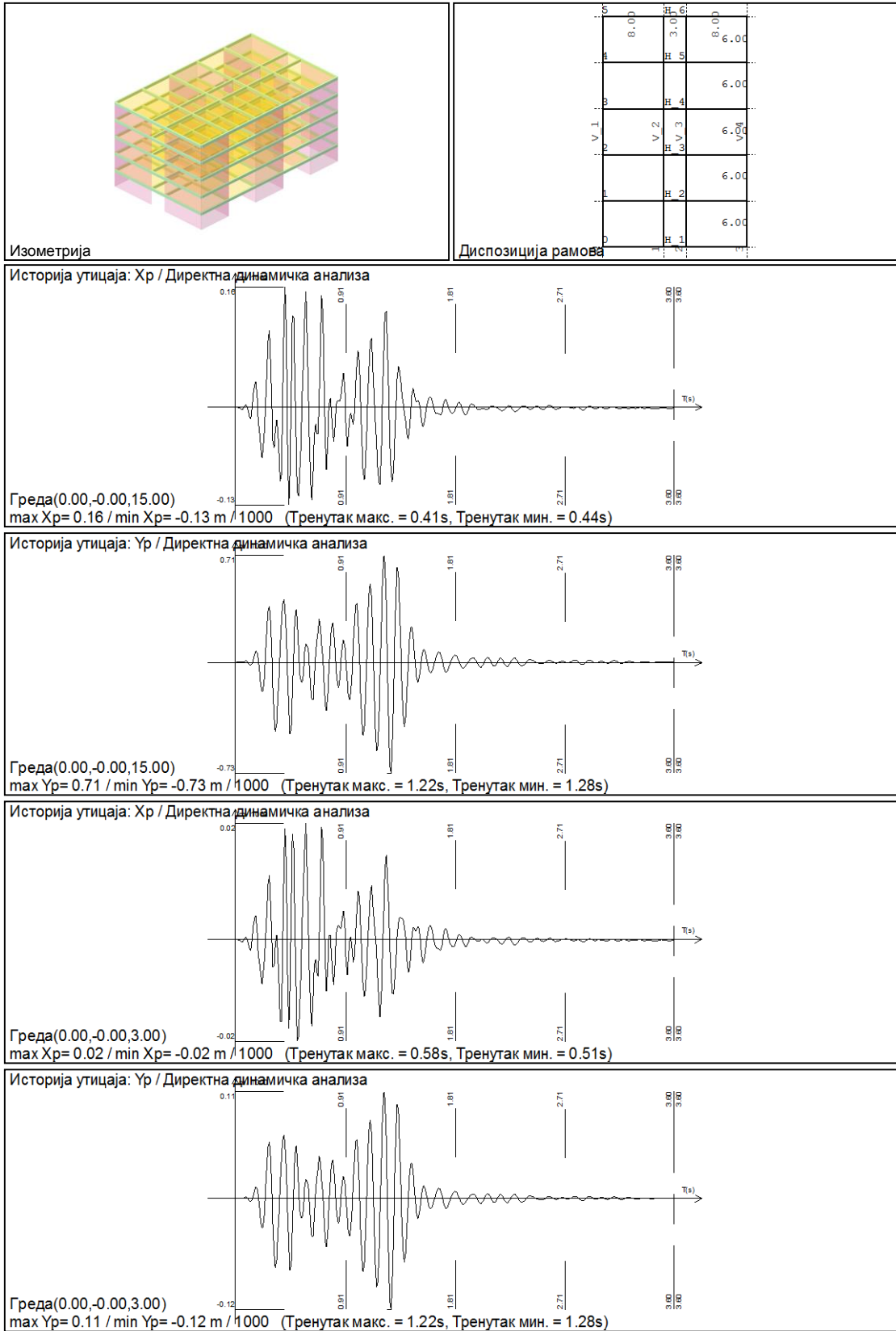


Слика 100: Основа типске армиранобетонске рамовске конструкције са језгром

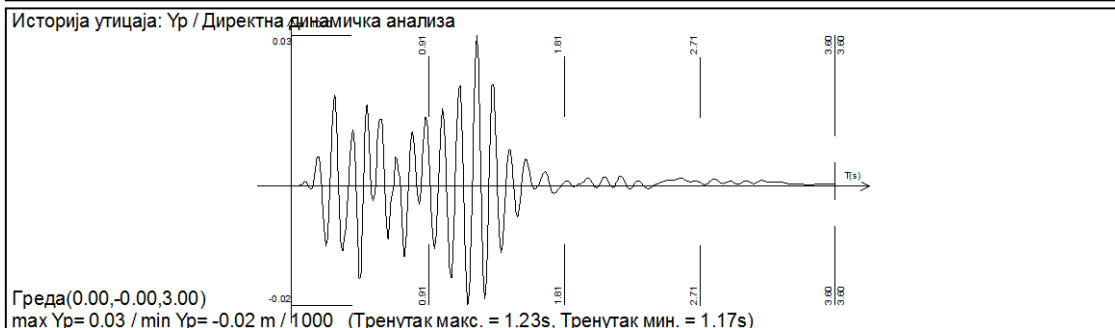
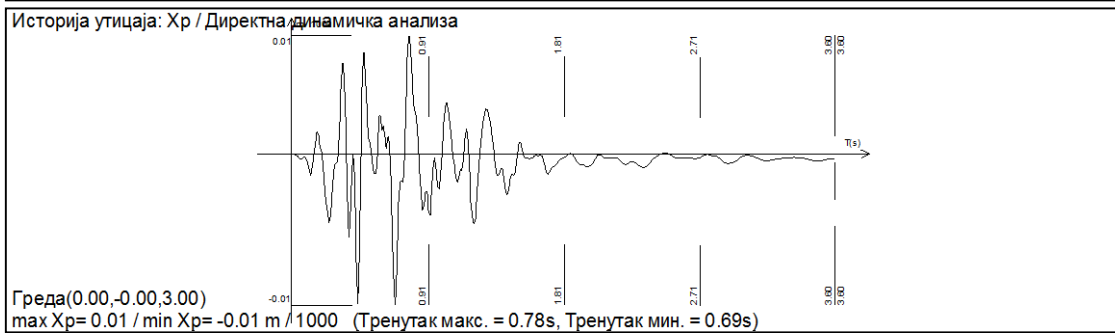
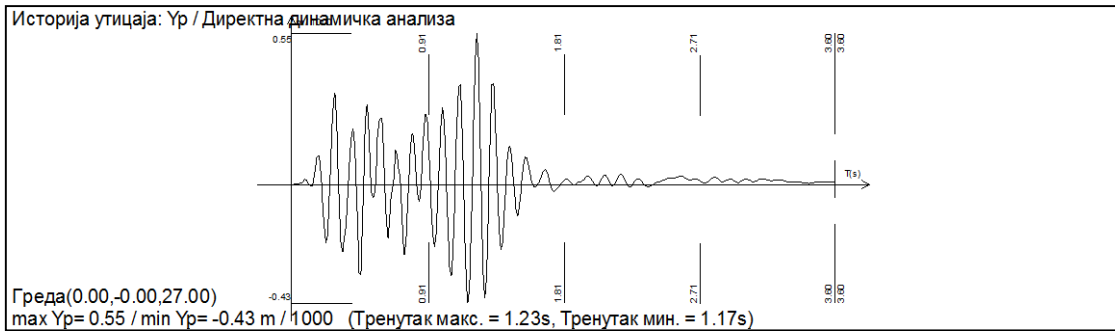
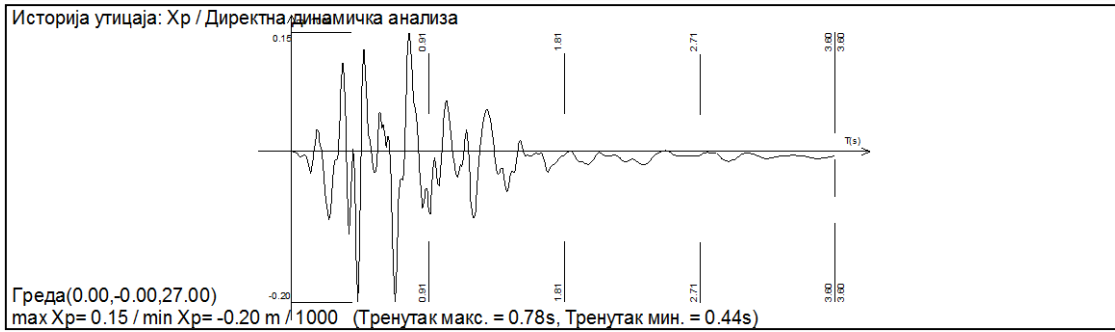
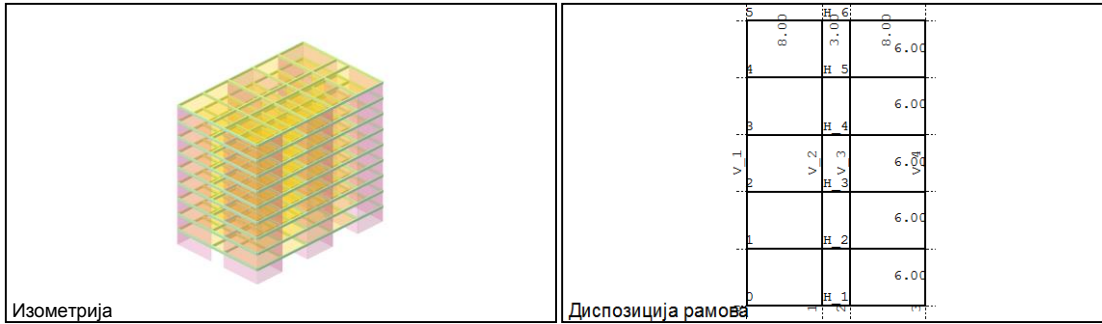
Као и у претходним примерима, анализа је показала да су додатна напрезања у конструкцији услед дејства потреса од минирања далеко мања од напрезања од гравитационог оптерећења, и да незнатно утичу на димензионисање елемената конструкције. Контрола деформација је показала да су и укупне и релативне деформације мање од дозвољених. На сликама 101-104 приказан је тродимензионални модел конструкције, распоред рамова у основи, највећа померања објекта у X и Y правцу (на углу највише таванице), као и највећа релативна померања таваница (таваница изнад приземља).



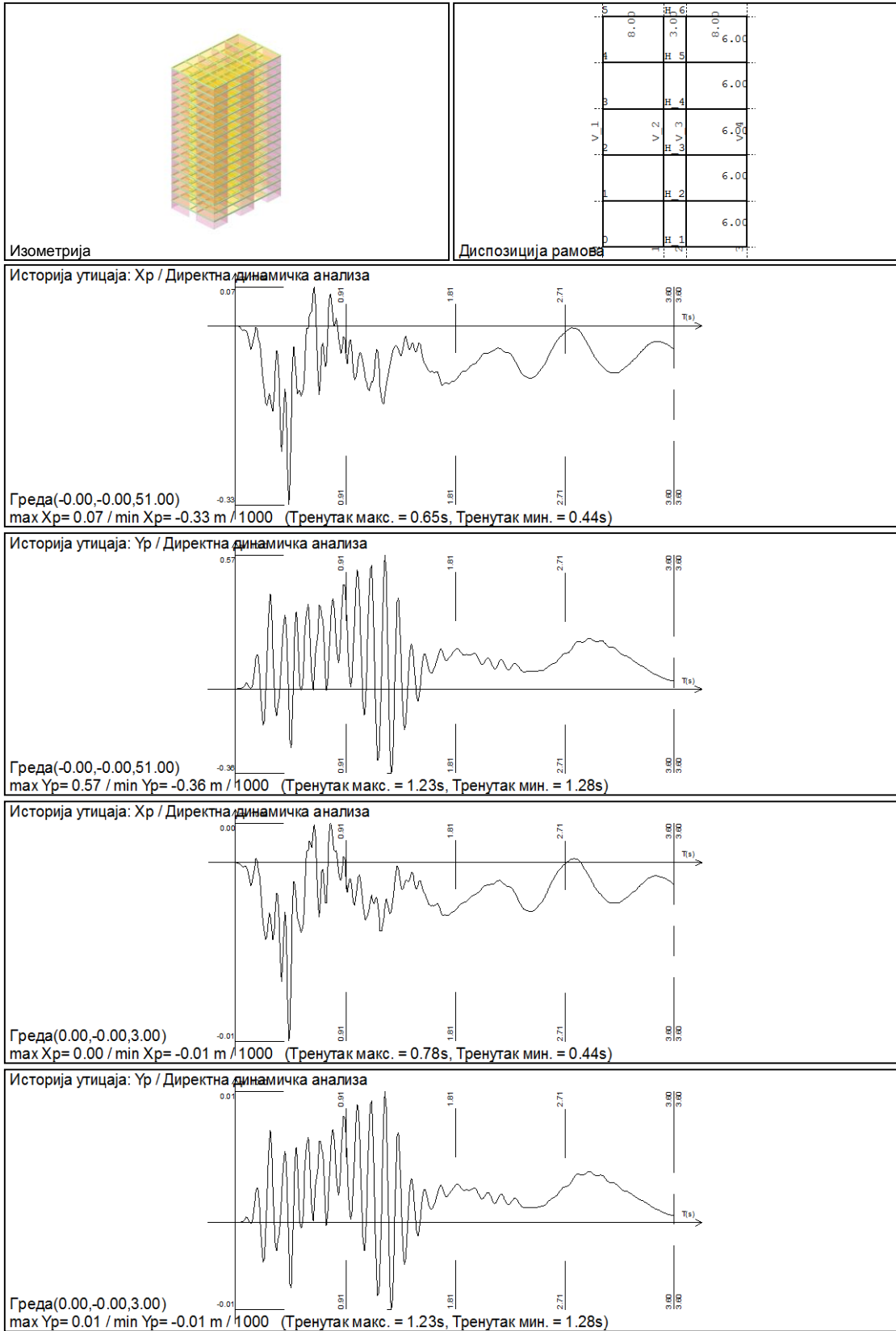
Слика 101: П+2: 3д модел, основа, максимална укупна и релативна померања.



Слика 102: П+4: 3д модел, основа, максимална укупна и релативна померања.



Слика 103: П+8: 3д модел, основа, максимална укупна и релативна померања.



Слика 104: П+16: 3д модел, основа, максимална укупна и релативна померања.

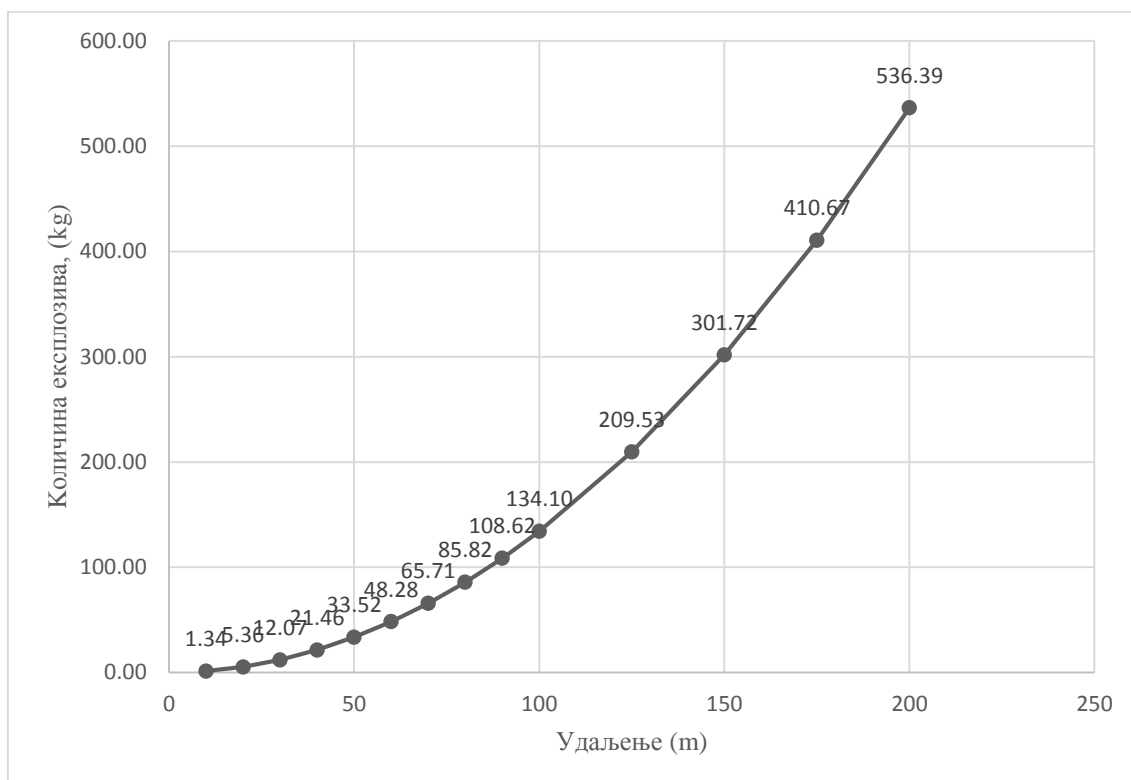
Максимална померања објеката у зависности од типа конструкције и спратности приказане у Табели 29. Сва померања су знатно мања од дозвољених ($H/600$, што износи 15,0; 25,0; 45,0 и 85,0 mm, респективно за спратности П+2, П+4, П+8 и П+16) што је и очекивано, с обзиром да је минирање на отвореним коповима контролисан инжењерски поступак.

Табела 29: Максимална померања за разне типове и разне спратности архитектонских објеката

	Рамовска конструкција		Рамовска са језгром		Мешовита конструкција		Конструкција од носећих зидова	
	Х _р , max (mm)	У _р , max (mm)	Х _р , max (mm)	У _р , max (mm)	Х _р , max (mm)	У _р , max (mm)	Х _р , max (mm)	У _р , max (mm)
П+2	0,30	0,39	0,31	0,63	0,03	0,94	0,15	0,76
П+4	0,41	0,51	0,21	0,55	0,20	0,67	0,16	0,73
П+8	0,75	1,03	0,25	0,51	0,19	0,50	0,20	0,55
П+16	1,44	1,72	0,56	0,88	0,40	0,65	0,33	0,57

Применом поступка моделовања и динамичке анализе појединачних објеката за увећане вредности регистрованих временских серија, може се проценити количина експлозива која, на дефинисаном удаљењу, доводи до највећих дозвољених деформација или напрезања. Доган и др. [Dogan et al, 2013] су анализирали дејство минирања изведених на минерском полигону у Анкари, на пројектоване објекте будуће стамбене четврти која би требало да се изгради у непосредној близини. За прорачун и проверу понашања армиранобетонске рамовске и мешовите конструкције (са кратким армиранобетонским зидовима по фасади) објеката спратности П+4 и П+6, користили су серију са највећим вредностима убрзања мереним на 40 метара од места минирања, која је достигала вредности и до 10 g у кратком временском интервалу. Упркос високим вредностима убрзања, напрезања у елементима конструкције била су испод граничних, а релативна померања нису прелазила 0,4%.

За изабрани меродавни критеријум максималног померања објекта ($H/600$) и на основу резултата померања анализираних типских објеката на дејство потреса од минирања на ММЗ за тип рамовске конструкције, спратности П+16, срачунат је дијаграм максималне дозвољене количине експлозива на одређеном растојању. Максимална дозвољена брзина (PPV) за вредност критеријума највећег дозвољеног померања објекта ($H/600$) срачуната је на основу односа добијене вредности максималног померања конструкције и максималне регистроване брзине серије минирања 5 на ММЗ.



Слика 105: Дијаграм количина експлозива у зависности од удаљења места минирања за претпостављени меродавни критеријум максималног померања објекта ($H/600$) рамовске конструкције, спратности П+16

За одређивање одговарајуће количине експлозива на претпостављеној удаљености коришћена је конвенционална једначина за процене PPV, са највећим вредностима R и најмањим вредностима средње квадратне грешке (предиктор ЦМРИ). Овако срачунате вредности PPV далеко превазилазе вредности дате стандардима, тако да добијени дијаграм односа количине експлозива и одстојања о места минирања представља само илустрацију примењеног нестандардног

поступка за један изоловани меродавни критеријум (максимално укупно померање), и не може се користити за одређивање параметара минирања.

Понављањем овог поступка за више различитих меродавних критеријума, могу се добити вредности максималних количина експлозива које би на дефинисаним растојањима довеле до прекорачења дозвољених напрезањаи деформација, и последично до вероватног оштећења конструкције. Слика 105 приказује добијене резултате количина експлозива у зависности од удаљења од места минирања. Дијаграм са Сликe 105, у односу на дијаграме са Сликe 19 (који представљају ограничења дата вибрационим стандардима), приказује количине експлозива и преко десет пута веће од дозвољених. Још једном треба напоменути да су ове вредности само илустрација количине експлозива потребног за постизање максималног дозвољеног померања објекта, и да оне далеко превазилазе вредности дозвољене вибрационим стандардима.

6. ЗАКЉУЧАК

Потреси и вибрације тла представљају таласно кретање које се шири од центра, места минирања, ка околини. Пролазећи кроз површинске слојеве тла ови таласи изазивају и осциловање објеката на површини. Уколико се фреквенција осциловања тла поклопи са сопственом фреквенцијом осциловања објеката на површини, амплитуда осциловања објеката може значајно превазићи амплитуду осциловања тла и довести до значајних оштећења.

Утицаји потреса тла изазваних минирањем на објекте у окружењу у којима раде и бораве људи предмет је истраживања већ скоро један век. После више деценија истраживања, са циљем да се спрече оштећења објеката и узнемиравање људи, уведена су ограничења у виду максималних дозвољених брзина осциловања тла (PPV) и максималних дозвољених ваздушних натпритисака. Ови параметри дуго су били меродавни за утврђивање параметара минирања и одређивање количина експлозива које ће се користити. Развојем динамичке анализе конструкција показало се да је и фреквенција осциловања тла од великог значаја за спречавање оштећења објеката. Минирања чија је фреквенција била блиска сопственим фреквенцијама осциловања околних зграда могла су да изазову и до пет пута већа оштећења, уз исту брзину осциловања. На основу ових резултата извршена је корекција постојећих вибрационих стандарда и они данас претежно ограничавају брзину осциловања тла у зависности од фреквенције осциловања.

Са становишта рударске инжењерске праксе ови стандарди дају резултате задовољавајуће тачности. Међутим, на основу ових стандарда није могуће одредити да ли ће ипак доћи до оштећења појединих делова објеката, нити интензитет тих евентуалних оштећења. Такође, често потреси изазвани минирањем повећају већ постојећа оштећења настала услед других дејстава (неодговарајуће коришћење, атмосферски утицаји, ветар, земљотрес ...), и учине их видљивим. Постојећи стандарди не дају смернице за понашање у оваквим ситуацијама.

Као што је већ наведено, према појединим ауторима (Wu, Нао 2005), иако је уобичајено коришћење максималне дозвољене брзине осциловања тла (саме или у комбинацији са периодом осциловања тла) за процену понашања конструкција објеката, ови критеријуми обезбеђују само смернице за пројектовање минирања.

Постоје бројна супротстављена мишљења око тога која ће гранична вредност максималне брзине осциловања тла изазвати оштећење. Разлог томе је што оштећења конструкција не зависе само од амплитуде померања тла, већ и од самих својстава конструкције објеката као што су тип и стање конструкције, својства коришћених материјала, динамичких карактеристика конструктивног склопа.

За одређивање параметара минирања и утврђивања безбедних растојања углавном се користе емпиријске формуле које зависе од количине експлозива по интервалу кашњења, удаљења од места минирања и карактеристика локације. Ове формуле дају приближне вредности са знатним одступањима. У овом раду је процењена тачност коришћења и предиктивна моћ конвенционалних предиктора уз помоћ измерених и забележених вредности максималне брзине осциловања тла на површинском копу каменолома „Дреновац“. Затим је развијен нови модел коришћењем вештачких неуронских мрежа, са три главне улазне јединице (укупно експлозивно пуњење, максимално пуњење по интервалу успорења, растојање од места минирања до мерног места). Потом су, уз помоћ постојећих стандарда процењени ефекти забележене максималне брзине осциловања тла и припадајуће фреквенције, као и надпритисак ваздушног удара на околне куће.

У првом делу истраживања утицаја потреса од минирања, померање тла индиковано експлозијом одређивано је помоћу конвенционалних предиктора и помоћу примене вештачке неуронске мреже. Изведена анализа је показала да се коришћењем конвенционалних предиктора добијају задовољавајуће тачни подаци ($R > 0,8$), изузев у случају предиктора Амбрасеис–Хендрона. На сличан начин, коришћењем вештачких неуронских мрежа са шест скривених чворова у скривеном слоју, развијен је предикторски модел са сличном прецизношћу предвиђања ($R \approx 0,9$) као што је случај код конвенционалних предиктора, али са мањом вредношћу средње квадратне грешке (0,028).

У другом делу истраживања, процењивани су утицаји померања тла и натпритиска ваздушног удара изазваних експлозијом на суседне стамбене зграде, коришћењем постојећих вибрационих стандарда. Посматрани су околни објекти, зидане сеоске куће и помоћни објекти једноставне конструкције, у којима су основни грађевински материјали коришћени за елементе конструкције пуна опека

и опекарски блок, неармирани и армирани бетон. Спроведена анализа је показала да се према америчким, совјетским, аустралијским и кинеским стандардима, не очекују оштећења конструкције околних објеката. Међутим, упоређивањем са немачким стандардом ДИН 4150 и индијским стандардом ДМГС, примећено је да постоји неколико случајева измерених брзина које су изнад горње границе за ову категорију објеката. На основу тога, требало би повести рачуна да се пројекти минирања пажљивије релизују како би се спречила потенцијална оштећења на стамбеним објектима у близини каменолома.

Користећи однос између забележене максималне брзине осциловања тла и редукованог растојања са највећим коефицијентом корелације и најмањом вредношћу средње квадратне грешке (предиктор ЦМРИ), направљене су табеле за минирање за сваки анализирани стандард вибрације и дате су дозвољене количине експлозива у функцији растојања од места минирања.

Поред мерења покретања тла индукваног експлозијом, бележен је такође и надпритисак ваздушног удара на четири различита мерна места. Према стандарду УСБМ и локалним критеријумима, измерене вредности надпритиска су значајно ниже од доњег дозвољеног прага. Такође, слично као и у претходној анализи покретања тла изазваног експлозијом, направљена је табела за минирање за дозвољену вредност надпритиска ваздушног удара у функцији растојања од места минирања, коришћењем горње границе од 140 dB за натпритисак ваздушног удара, као што је предвиђено у Правилнику о техничким нормативима и руковању експлозивним средствима и минирању у рударству (1988). У овом случају, фактори терена за пригушење дати у једначини (2) одређени су на основу четири мерења, што може да доведе до двосмислених тумачења. Како би се ово избегло, даља истраживања треба да укључе већи сет података за натпритисак ваздушног удара.

Пошто примена постојећих поступака прописаних важећим вибрационим стандардима није могла да одреди величину померања и напрезања околних кућа и њихових делова, нити да укаже на места на којима ће се појавити прва оштећења, спроведена је динамичка анализа постојећих објеката. Зграде су моделоване и прорачуанте применом постојећих софтвера који користе методу коначних елемената за динамички прорачун објеката на утицаје измерених временских

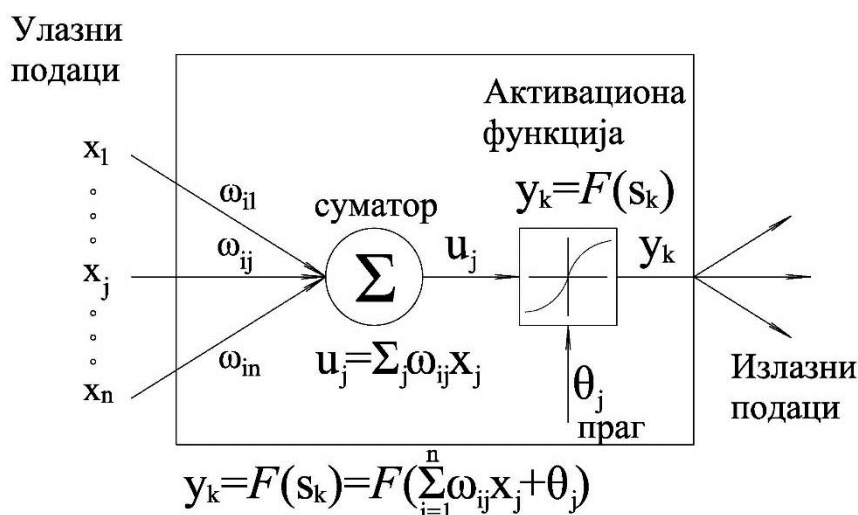
записа. Резултати приказани у овом раду су показали да су, чак и у случајевима прекорачених максималних брзина осциловања тла, напрезања у приземним кућама била далеко испод дозвољених, тако да није могло доћи до појаве оштећења. Такође, примена методе динамичке анализе може помоћи истраживачима, и показати им на којим местима су највећа напрезања, и где ће се појавити прва оштећења. Овај поступак омогућава прецизнији преглед објеката у потрази за оштећењима од минирања, као и могућност да се означе и из разматрања елиминишу оштећења која су производ неких других дејстава.

Са циљем да се утврди утицај потреса од минирања на типске архитектонске објекте, приказани поступак моделовања и динамичке анализе примењен је и на неколико карактеристичних типова зиданих и армиранобетонских архитектонских објеката, уз коришћење регистрованих временских записа на мерном месту 3. Резултати су показали да су напрезања и деформације анализираних типова објеката, за утицаје регистроване на мерним местима, мањи од дозвољених. Овакав резултат је очекиван, јер су минирања извођења у складу са важећим вибрационим стандардима. Као и у претходном поглављу, резултати и ових анализа типских објеката показују који су гранични критеријуми меродавни (деформације, напрезања), места највећих деформација и указују на где би се могла појавити оштећења на конструкцији.

Приказани поступак се може спровести и за знатно увећана дејства потреса, са циљем да се одреде максимална количина експлозива или минимално удаљење у зависности од граничних вредности критеријума за димензионисање елемената конструкције. Коришћењем конвенционалних једначина (предиктор ЦМРИ, Табела 11), срачунат је однос између дозвољене количине експлозива и раздаљине, за посматрани тип архитектонског објекта спратности П+16 са рамовском конструкцијом, и за меродавни критеријум максималног померања објекта ($H/600$). Применом овог поступка, могуће је утврдити безбедна растојања од места минирања, а за различите типове архитектонских објеката.

ДОДАТАК: ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ПРИМЕЊЕНИХ НЕУРОНСКИХ МРЕЖА

Почетак истраживања неуронских мрежа најчешће се повезује са чланком Ворена МекКулока и Волтера Питса (McCulloch W., Pitts W. 1943) о логичком рачуну који се може приметити иза идеја својствених нервној активности. По аналогији са биолошким неуронским мрежама започет је развој вештачких неуронских мрежа (Artificial Neural Networks – ANN). Вештачки неурон, налик биолошком, моделован је као елемент који обрађује податке добијене на улазу и резултат прослеђује на излаз. Скуп вештачких неурона, међусобно повезаних везама, чини вештачку неуронску мрежу. Сваки појединачни вештачки неурон може имати више улаза. Сваки улаз има одговарајући тежински коефицијент (ω), који одговара синапсама код биолошког неурона. Збирни утицај свих улаза помножених својим тежинским коефицијентима је улазни параметар за активациону функцију (F) која генерише излазни резултат (Слика 106).



Слика 106: Скица вештачког неурона [Костић, 2015, прилагођено]

Активациона функција ограничава амплитуду излазног сигнала, по правилу је нелинеарна, и треба да одговара предвиђеној расподели излазних вредности. Обично се активационом функцијом нормализују излазне вредности у интервалу $[0,1]$ или $[-1,1]$. Најчешће коришћене активационе функције приказује Табела 30 [према Костић 2015].

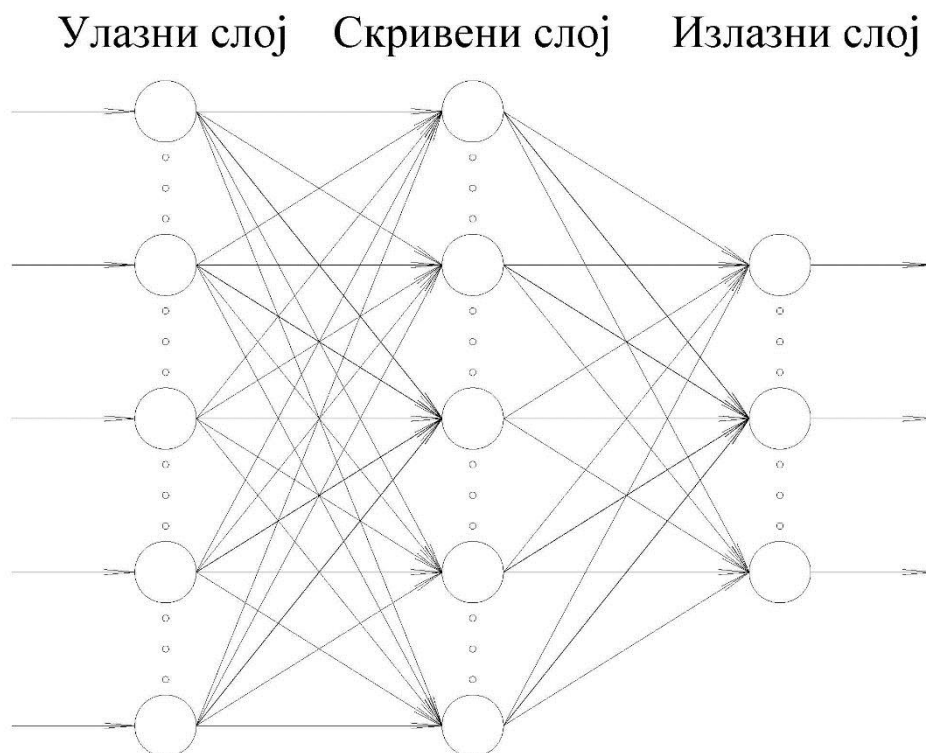
Табела 30: Најчешће коришћени типови активационих функција [Костић, 2015, прилагођено]

Активациона функција	Аналитички израз	Графичка представа
Хевисајова функција прага	$F(\omega) = \begin{cases} 1, & \omega \geq 0 \\ 0, & \omega < 0 \end{cases}$	
Функција типа знака	$F(\omega) = \begin{cases} 1, & \omega \geq 0 \\ 0, & \omega = 0 \\ -1, & \omega < 0 \end{cases}$	
Део-по-део линеарна функција	$F(\omega) = \begin{cases} 1, & \omega \geq 1/2 \\ 1/2 + \omega, & -1/2 < \omega < 1/2 \\ 0, & \omega \leq -1/2 \end{cases}$	
Сигмоидна, тј. логистичка функција	$F(\omega) = \frac{1}{1 + e^{-b\omega}}$	

Вештачка неуронска мрежа је сачињена од међусобно повезаних неурона, груписаних у слојевима. Шема повезивања неурона, или архитектура неуронске мреже, одређује се бројем слојева и међусобних веза. Сваки слој прима улазне податке из претходног слоја, а своје излазе шаље следећем слоју. Свака мрежа се састоји од најмање три слоја: улазног слоја (који прима улазне податке и прослеђује их следећем слоју), излазног слоја (који дају резултате обраде улазних података) и

скривеног слоја (или више њих, који обрађују улазне податке ради добијања резултата захтеване тачности). Сложеније неуронске мреже могу имати више скривених слојева и сложеније везе између њих. Везе у мрежи се могу остваривати између неурона у истим или различитим слојевима. Слојеви могу бити потпуно или делимично повезани. Два слоја су потпуно повезна ако је испуњен услов да су сви неурони једног слоја повезани са свим неуронима другог слоја. Уколико овај услов није испуњен, онда су та два слоја делимично (непотпуно) повезана. Слојеви су хијерархијски повезани ако су неурони сваког претходног слоја повезани само са неуронима наредног слоја.

Подаци се кроз неуронску мрежу могу простирати (пропагирати) унапред (неповратне, нерекурентне, нерекурзивне мреже, енгл. *feedforward neural networks*), односно и уназад, са повратном спрегом (повратне, рекурентне, рекурзивне мреже, енгл. *feedback neural networks*). Код неповратних мрежа се подаци простиру од улазних ка излазним сигнаlima, док код мрежа са повратном спрегом виши слојеви враћају податке назад, у ниже слојеве.



Слика 107: Шема повезивања трослојне неуронске мреже са простирањем унапред

Најчешћа шема повезивања неуронских мрежа је трослојна неуронска мрежа (Слика 107) која се састоји од улазног слоја (који прима сигнале из окружења и прослеђује их следећем, скривеном, слоју), скривеног слоја (који обрађује податке добијене од улазног слоја, издваја особине и препознаје понашања примљених сигнала, те битне резултујуће податке упућује ка следећем слоју) и излазни слој (који приказује коначне резултате обраде података).

Основна карактеристика вештачких неуронских мрежа, и оно што је разликује од других предикционих модела, је учење, обучавање тј. тренирање. Учење представља поступак кроз који се подешавају јачине веза између слојева, односно тежински коефицијенти, према неком унапред одређеном правилу обучавања, са циљем да излазни резултати постигну тражену тачност. Учење мреже може бити надгледано, уколико су познати улазни и очекивани излазни подаци. Ако нису познати излазни резултати учење мреже је ненадгледано, тј. мрежи се може дати оцена претходног рада са циљем корекције поступка, или је препустити самоорганизовању.

Највише коришћени начин учења је надгледано учење. Мрежи се задају познати улазни подаци и неуронска мрежа рачуна одговарајуће излазне податке. На основу разлике између срачунатих и познатих излазних података, кроз алгоритам са повратном везом мрежа врши корекцију тежинских веза између неурона према претходно утврђеном правилу, са циљем да се ова разлика смањи испод тражене тачности. Најчешћи вид повратне везе је алгоритам са повратним простирањем (backpropagation – простирањем уназад). Код овог алгоритма се срачуната грешка у излазној вредности шаље уназад кроз мрежу ради пропорционалних промена тежинских коефицијената у неуронима. Кад се овим поступком добију нове вредности тежинских коефицијената, нова вредност улазног податка се обрађује у мрежи истим поступком. Циљ овог поступка је да се већим бројем улазних података који се користе за тренирање мреже добије што тачнији предиктивни модел неуронске мреже који може дати поуздане резултате (вредности излазних података) и за вредности улазних података за које нису познате вредности излазних података.

Да би се спровео поступак надгледаног учења потребно је расположиве улазне и излазне податке поделити на три дела: део за учење (обучавање,

тренирање), део за валидацију и део за тестирање мреже. Подаци из дела за учење користи се за подешавање тежинских коефицијената неурона у мрежи, како би разлика између срачунатих и познатих излазних података била што мања. Део за валидацију се користи за проверу да ли је поступак подешавања тежинских коефицијената допринео стварном обучавању мреже, или је мрежа „преучила“ (претренирана, енг. *overlearning*). Уколико се догоди да се грешка у предвиђању смањује при коришћењу података за теренинг, а повећава за при коришћењу података за валидацију, то је знак да мрежа није добро обучена већ се само прилагодила улазним и излазним подацима, таква мрежа није поуздана за предвиђање и не може се користити. До оваквих ситуација најчешће долази кад је скуп података за тренирање мали.

Уколико мрежа даје резултате предвиђања тражене тачности и са подацима из дела за валидацију, тј. ако оцена грешке током валидације достигне захтевани минимум, учење (тренирање) мреже је завршено. Део података за тестирање служи за коначну проверу тачности предвиђања неуронске мреже на скупу улазних података који су јој непознати, јер раније нису коришћени. Овако истренирана и проверена неуронска мрежа може се користити за предвиђање непознатих излазних резултата на основу познатих улазних података.

ПРИЛОГ 1: УЛАЗНИ ПОДАЦИ ЗА МОДЕЛОВАЊЕ И ПРОРАЧУН ТИПСКИХ АРХИТЕКТОНСКИХ ОБЈЕКТА

Улазни подаци – Зидане конструкције

Табела материјала

No	Назив материјала	E[kN/m ²]	μ	γ [kN/m ³]	α [1/C]	E _m [kN/m ²]	μ
1	Beton MB 30	3.150e+7	0.20	25.00	1.000e-5	3.150e+7	0.20
2	Опека - dobro stanje	7.580e+4	0.20	25.00	1.000e-5	3.410e+6	0.20
3	Beton MB 20	2.850e+7	0.20	25.00	1.000e-5	2.850e+7	0.20

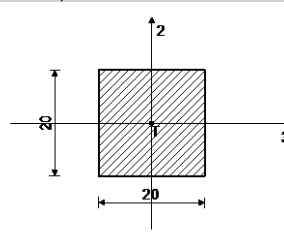
Сетови плоча

No	d[m]	e[m]	Материјал	Тип прорачуна	Ортотропија	E ₂ [kN/m ²]	G[kN/m ²]	α
<1>	0.150	0.075	1	Танка плоча	Анизотропна	0.000e+0	0.000e+0	0.00
<2>	0.200	0.100	2	Опека/Блокови	Изотропна			

Сетови греда

Сет: 1 Пресек: b/d=20/20, Фиктивна ексцентричност

Мат.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
3 - Beton MB 20	4.000e-2	3.333e-2	3.333e-2	2.253e-4	1.333e-4	1.333e-4



[cm]

Улазни подаци – Рамовка конструкција П+2, П+4, П+8

Табела материјала

No	Назив материјала	E[kN/m ²]	μ	γ [kN/m ³]	α [1/C]	E _m [kN/m ²]	μ
1	Beton MB 30	3.150e+7	0.20	25.00	1.000e-5	3.150e+7	0.20
2	Beton MB 40	3.400e+7	0.20	25.00	1.000e-5	3.400e+7	0.20

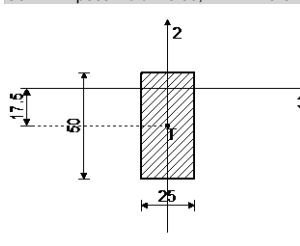
Сетови плоча

No	d[m]	e[m]	Материјал	Тип прорачуна	Ортотропија	E ₂ [kN/m ²]	G[kN/m ²]	α
<1>	0.150	0.075	1	Танка плоча	Изотропна			

Сетови греда

Сет: 1 Пресек: b/d=25/50, Фиктивна ексцентричност

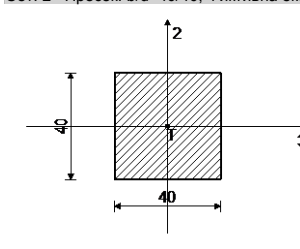
Мат.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - Beton MB 30	1.250e-1	1.042e-1	1.042e-1	1.788e-3	6.510e-4	2.604e-3



[cm]

Сет: 2 Пресек: b/d=40/40, Фиктивна ексцентричност

Мат.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
2 - Beton MB 40	1.600e-1	1.333e-1	1.333e-1	3.605e-3	2.133e-3	2.133e-3



[cm]

Улазни подаци – Рамовска конструкција П+16

Табела материјала

No	Назив материјала	E[kN/m ²]	μ	γ[kN/m ³]	αt[1/°C]	Em[kN/m ²]	μm
1	Beton MB 30	3.150e+7	0.20	25.00	1.000e-5	3.150e+7	0.20
2	Beton MB 40	3.400e+7	0.20	25.00	1.000e-5	3.400e+7	0.20

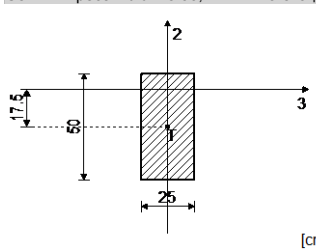
Сетови плоча

No	d[m]	e[m]	Материјал	Тип прорачуна	Ортотропија	E2[kN/m ²]	G[kN/m ²]	α
<1>	0.150	0.075	1	Танка плоча	Изотропна			

Сетови греда

Сет: 1 Пресек: b/d=25/50, Фиктивна ексцентричност

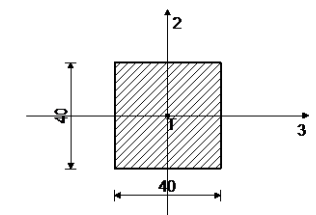
Мат.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - Beton MB 30	1.250e-1	1.042e-1	1.042e-1	1.788e-3	6.510e-4	2.604e-3



[cm]

Сет: 2 Пресек: b/d=40/40, Фиктивна ексцентричност

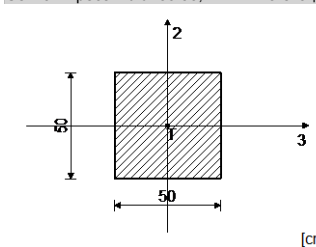
Мат.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
2 - Beton MB 40	1.600e-1	1.333e-1	1.333e-1	3.605e-3	2.133e-3	2.133e-3



[cm]

Сет: 3 Пресек: b/d=50/50, Фиктивна ексцентричност

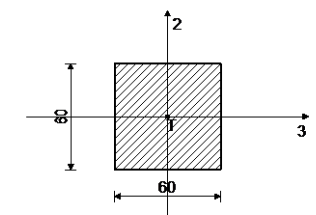
Мат.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
2 - Beton MB 40	2.500e-1	2.083e-1	2.083e-1	8.802e-3	5.208e-3	5.208e-3



[cm]

Сет: 4 Пресек: b/d=60/60, Фиктивна ексцентричност

Мат.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
2 - Beton MB 40	3.600e-1	3.000e-1	3.000e-1	1.825e-2	1.080e-2	1.080e-2



[cm]

Улазни подаци – Рамовска конструкција П+2, П+4, П+8 са језгром и са језгром и зидовима

Табела материјала

No	Назив материјала	E[kN/m ²]	μ	γ[kN/m ³]	αt[1/°C]	E _m [kN/m ²]	μ _m
1	Beton MB 30	3.150e+7	0.20	25.00	1.000e-5	3.150e+7	0.20
2	Beton MB 40	3.400e+7	0.20	25.00	1.000e-5	3.400e+7	0.20

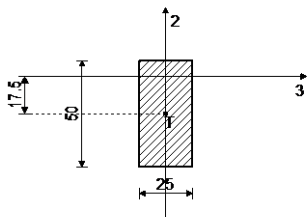
Сетови плоча

No	d[m]	e[m]	Материјал	Тип прорачуна	Ортотропија	E2[kN/m ²]	G[kN/m ²]	α
<1>	0.150	0.075	1	Танка плоча	Изотропна			
<2>	0.160	0.080	2	Танка плоча	Изотропна			

Сетови греда

Сет: 1 Пресек: b/d=25/50, Фиктивна ексцентричност

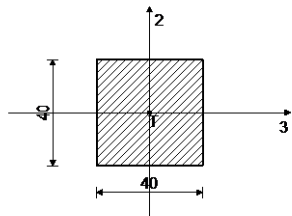
Мат.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - Beton MB 30	1.250e-1	1.042e-1	1.042e-1	1.788e-3	6.510e-4	2.604e-3



[cm]

Сет: 2 Пресек: b/d=40/40, Фиктивна ексцентричност

Мат.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
2 - Beton MB 40	1.600e-1	1.333e-1	1.333e-1	3.605e-3	2.133e-3	2.133e-3



[cm]

Улазни подаци – Рамовска конструкција П+16 са језгром и са језгром и зидовима

Табела материјала

No	Назив материјала	E[kN/m ²]	μ	γ [kN/m ³]	α [1/C]	E _m [kN/m ²]	μ
1	Beton MB 30	3.150e+7	0.20	25.00	1.000e-5	3.150e+7	0.20
2	Beton MB 40	3.400e+7	0.20	25.00	1.000e-5	3.400e+7	0.20

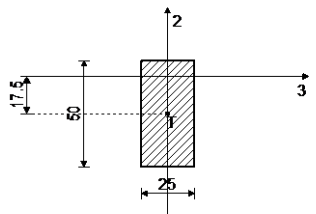
Сетови плоча

No	d[m]	e[m]	Материјал	Тип прорачуна	Ортотропија	E ₂ [kN/m ²]	G[kN/m ²]	α
<1>	0.150	0.075	1	Танка плоча	Изотропна			
<2>	0.160	0.080	2	Танка плоча	Изотропна			

Сетови греда

Сет: 1 Пресек: b/d=25/50, Фиктивна ексцентричност

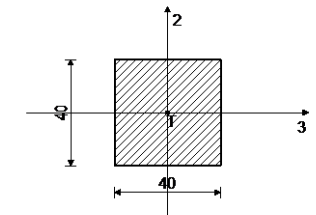
Мат.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - Beton MB 30	1.250e-1	1.042e-1	1.042e-1	1.788e-3	6.510e-4	2.604e-3



[cm]

Сет: 2 Пресек: b/d=40/40, Фиктивна ексцентричност

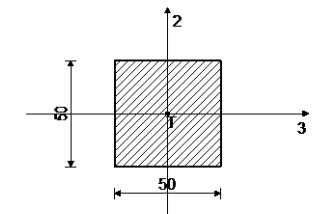
Мат.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
2 - Beton MB 40	1.600e-1	1.333e-1	1.333e-1	3.605e-3	2.133e-3	2.133e-3



[cm]

Сет: 3 Пресек: b/d=50/50, Фиктивна ексцентричност

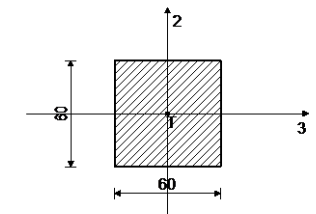
Мат.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
2 - Beton MB 40	2.500e-1	2.083e-1	2.083e-1	8.802e-3	5.208e-3	5.208e-3



[cm]

Сет: 4 Пресек: b/d=60/60, Фиктивна ексцентричност

Мат.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
2 - Beton MB 40	3.600e-1	3.000e-1	3.000e-1	1.825e-2	1.080e-2	1.080e-2



[cm]

Улазни подаци – Конструкција П+2, П+4, П+8, П+16 са носећим зидовима

Табела материјала

No	Назив материјала	E[kN/m ²]	μ	γ [kN/m ³]	α [1/C]	E _m [kN/m ²]	μ
1	Beton MB 30	3.150e+7	0.20	25.00	1.000e-5	3.150e+7	0.20
2	Beton MB 40	3.400e+7	0.20	25.00	1.000e-5	3.400e+7	0.20

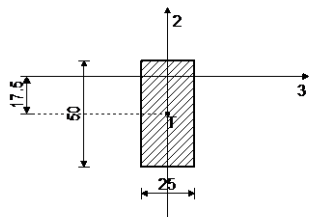
Сетови плоча

No	d[m]	e[m]	Материјал	Тип прорачуна	Ортотропија	E2[kN/m ²]	G[kN/m ²]	α
<1>	0.150	0.075	1	Танка плоча	Изотропна			
<2>	0.160	0.080	2	Танка плоча	Изотропна			

Сетови греда

Сет: 1 Пресек: b/d=25/50, Фиктивна ексцентричност

Мат.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - Beton MB 30	1.250e-1	1.042e-1	1.042e-1	1.788e-3	6.510e-4	2.604e-3



СПИСАК КОРИШЋЕНЕ ЛИТЕРАТУРЕ И ДОКУМЕНТАЦИЈЕ

1. Afeni T.B., Osasan S.K. (2009) Assessment of noise and ground vibration induced during blasting operations in an open pit mine — A case study on Ewekoro limestone quarry, Nigeria. *Mining Sci Tech (China)* 19: 420–424
2. Ambraseys N.R., Hendron A.J. (1968) Dynamic behavior of rock masses: rock mechanics in engineering practices. In: Stagg K, Zienkiewicz OC (eds) *Rock mechanics in Engineering Practice*. Wiley, London, pp. 34
3. ANZEC (1990) Technical basic for guidelines to minimize annoyance due to blasting overpressure and ground vibration. Australian and New Zealand Environment Council, Canberra, Australia
4. Australian Standard (2006) Explosives - Storage and use, Part 2: Use of Explosives (AS 2187.2-2006 : Part 2). Standards Australia
5. Bayraktar A., Altunisik A. C., Ozcan M. (2012) Safety assessment of structures for near-field blast-induced ground excitations using operational modal analysis, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 39, pp. 23–36.
6. Bayraktar A., Turker T., Altunisik A.C., Sevim B. (2010) Evaluation of blast effects on reinforced concrete buildings considering Operational Modal Analysis results, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 30, pp. 310–319.
7. Battiti R (1992) First- and second-order methods for learning: between steepest descent and Newton's method. *Neural Comput.* 4: 141–166.
8. Bhandari S. (1997) *Engineering rock blasting operations*. Taylor and Francis, United Kingdom
9. Cizer O., Van Balen K., Van Gemert D., (2008) Blended lime-cement mortars for conservation purposes: Microstructure and strength development, *Structural Analysis of Historic Construction – D’Ayala & Fodde (eds)*, Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-46872-5
10. Costigan A., Pavía S. (2009) Compressive, flexural and bond strength of brick/lime mortar masonry, *Proceedings of PROHITEC 09 – Mazzolani editor*, 2009, Taylor and Francis Group, London, 1609-1615.
11. Crandell F.J. (1949) Ground vibration due to blasting, and its effect on structures. *K. Boston Soc Civ Eng* 36: 222-245

12. Ćorić B., Salatić R., (2011), *Dinamika građevinskih konstrukcija*, Građevinska knjiga, Beograd
13. Davies B., Farmer I.W., Attewell P.B. (1964) Ground vibrations from shallow sub-surface blasts. *Engineer-London* 217: 553–559
14. Dennis J.E., Schnabel R.B. (1987) *Numerical Methods for Unconstrained Optimization and Nonlinear Equations*. Society for Industrial and Applied Mathematics.
15. DGMS (Tech) S &T Circular No. 7 (1997) *Damage of the Structures due to blast induced ground vibration in the mining areas, India*
16. Dogan O., Anil O., Akbas S.O., Kantar E., Erdem R.T. (2013) Evaluation of blast-induced ground vibration effects in a new residential zone, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 50, pp. 168–181.
17. Duvall W.I., Fogelson D.E. (1962) Review criteria for estimating damage to residences from blasting vibration. US Bureau of Mines Report of Investigation RI 5968
18. Duvall W.I., Petkof B. (1959) Spherical propagation of explosion of generated strain pulses in rocks. US Bureau of Mines Report of Investigation RI-5483
19. Edwards A.T., Northwood T.D. (1960) Experimental studies of the effects of blasting on structures. *Engineer-London* 210: 538–546
20. Environment Australia (1998) *Noise, Vibration and Airblast Control. Best Practice Environmental Management in Mining*, ISBN 0-642-54510-3
21. Fletcher R. (2000) *Practical methods of optimization*. New York, Wiley
22. General Administration of Quality, Supervision, Inspection and Quarantine (2003) *Safety Regulations for Blasting (GB 6722-2003)*. Chinese National Standard, Standards Press of China
23. German Institute of Standards (1986) *Vibration of building-effects on structures*. DIN 4150 3, 1–5
24. Ghosh A., Daemen J.K. (1983) A simple new blast vibration predictor. In: Mathewson C (ed) *Proceedings of the 24th US symposium on rock mechanics*, College Station, Texas, pp. 151–161
25. Hudaverdi T. (2012) Application of multivariate analysis for prediction of blast-induced ground vibrations. *Soil Dyn Earthq Eng* 43: 300–308

26. Heath D. J., Gad E. F., Wilson J. L. (2005) Establishing Damage Thresholds for Unreinforced Masonry using Off-Axis Prism Tests, Stewart, Mark G (Editor); Dockrill, Brad (Editor). Australian Structural Engineering Conference 2005. Sydney, N.S.W.: Engineers Australia, pp.865-875.
27. Heath D. J., Gad E. F., Wilson J. L. (2008) In-Plane Performance of Masonry Veneer Subjected to Blast Vibrations, Australasian Structural Engineering Conference (ASEC), 26 – 27 June 2008, Melbourne, Australia, Paper No 040, 11p.
28. Heath D. J., Gad E. F., Wilson J. L. (2008) Damage thresholds in unreinforced masonry, Australian Journal of Structural Engineering Vol 8 No 2, pp.145 – 158.
29. Hao H., Ma G.W., Lu Y. (2002) Damage assessment of masonry infilled RC frames subjected to blasting induced ground excitations, Engineering Structures 24, pp. 799–809.
30. Hao H., Wu C. (2005) Numerical study of characteristics of underground blast induced surface ground motion and their effect on above-ground structures. Part II. Effects on structural responses, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 25, pp. 39–53.
31. Jayanthu S., Naveen Ch., Rao G.V., Susheel Kumar B.R.V. (2010). Ground vibration in opencast mine blasts on structures vis-a-vis a local environmental effect and its mitigation through mining technology. International Conference on climate change perspectives and projections - a system approach, Hyderabad.
32. Karadogan A., Kahriman A., Ozer U. (2014) A new damage criteria norm for blast-induced ground vibrations in Turkey, Arab J Geosci, 7, pp. 1617–1626
33. Kaushik H.B., Rai D.C., Jain S.K., (2007) Stress-Strain Characteristics of Clay Brick Masonry under Uniaxial Compression, Journal of Materials in Civil Engineering, (ASCE), Vol.19(9), pp.728-739.
34. Kesimal A., Ercikdi B., Cihangir F. (2008) Environmental impacts of blast-induced acceleration on slope instability at a limestone quarry. Environ Geol 54: 381–389
35. Khandelwal M., Singh T.N. (2005) Prediction of blast induced air overpressure in opencast mine. Noise and Vibration Worldwide 36: 7–16
36. Khandelwal M., Singh T.N. (2009) Prediction of blast-induced ground vibration using artificial neural network. Int. J. Rock Mech. Min. 46: 1214-1222

37. Khandelwal M., Singh T.N. (2010) Prediction of macerals contents of Indian coals from proximate and ultimate analyzes using artificial neural networks. *Fuel* 89: 1101-1109
38. Kim D.S., Lee J.S. (2000) Propagation and attenuation characteristics of various ground vibrations. *Soil Dyn Earthq Eng* 19: 115–126
39. Kostić S., (2014) Matematičko modelovanje pobuđenih i indukovanih potresa u rudarstvu, Zadužbina Andrejević, Beograd, 102 str.
40. Kričak L. (2005): Seizmika miniranja. Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
41. Kuzu C. (2008) The importance of site-specific characters in prediction models for blast-induced ground vibrations, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 28, 405–414.
42. Kuzu C. (2008) The mitigation of the vibration effects caused by tunnel blasts in urban areas: a case study in Istanbul. *Environ Geol* 54: 1075–1080
43. Kuzu C., Ergin H. (2005) An assessment of environmental impacts of quarry-blasting operation: a case study in Istanbul, Turkey. *Environ Geol* 48: 211–217
44. Kuzu C., Fisne A., Ercelebi S.G. (2009) Operational and geological parameters in the assessing blast induced airblast-overpressure in quarries. *Appl Acoust* 70: 404–411
45. Langefors U., Kihlstrom B. (1963) The modern techniques of rock blasting. Wiley, New York
46. Langefors U., Westerberg H., Kihlström B. (1958) Ground vibrations in blasting, Parts 1, 2 and 3, *Water Power*, 9-11
47. Lewis O.L. (1999): The effects of vibrations and environmental forces, International Society of Explosives Engineers, Cleveland, OH, USA
48. Lipmann R.P. (1987) An introduction to computing with neural nets. *IEEE ASSP Mag* 4: 4-22
49. Li B., Rong H.C., Pan T.C. (2007) Drift-controlled design of reinforced concrete frame structures under distant blast conditions—Part II: Implementation and evaluation, *International Journal of Impact Engineering* 34 (4), pp. 755–770.
50. Liu J., Zhang Y., Yun B. (2012) A new method for predicting nonlinear structural vibrations induced by ground impact loading, *Journal of Sound and Vibration* 331, pp. 2129–2140.

51. Looney C.G. (1996) Advances in feed-forward neural networks: demystifying knowledge acquiring black boxes. *IEEE Trans. Knowledge Data Eng.* 8: 211-226
52. Luccioni B.M., Ambrosini R.D., Danesi R.F. (2004) Analysis of building collapse under blast loads, *Engineering Structures*, 26, pp. 63–71.
53. Lu W., Luo Y., Chen M., Shu D. (2012) An introduction to Chinese safety regulations for blasting vibration. *Environ Earth Sci* 67: 1951-1959
54. MATLAB Neural Network Toolbox (2014) www.mathworks.com/products/neural-network
55. McCulloch W., Pitts W. (1943) A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity *Bulletin of Mathematical Biophysics* Volume 5, pp.115 – 133.
56. Mohamadnejad M., Gholami R., Ataei M. (2012) Comparison of intelligence science techniques and empirical methods for prediction of blasting vibrations. *Tunn Undergr Sp Tech* 28: 238-244
57. Mohamed M.T. (2009) Artificial neural network for prediction and control of blasting vibrations in Assiut (Egypt) limestone quarry. *Int J Rock Mech Min* 46: 426–431
58. Mohamed M. T., *Vibration control*, Edited by Mickael Lallart, Sciyo, 2010, p.367
59. Mohanty B. (1998) Physics of explosions hazards. In: Beveridge A (ed) *Forensic investigation of explosions*, Taylor and Francis, London, pp. 22–32.
60. Moller M.F. (1993) A scaled conjugate gradient algorithm for fast supervised learning. *Neural Networks* 6: 525-533.
61. Monjezi M., Singh T.N., Khandelwal M., Sinha S., Singh V., Hosseini I. (2006) Prediction and analysis of blast parameters using artificial neural network. *Noise Vib. Control Worldw.* 37: 8-16.
62. Monjezi M., Hasanipanah M., Khandelwal M. (2013) Evaluation and prediction of blast-induced ground vibration at Shur River Dam, Iran, by artificial neural network. *Neural Comput. Appl.* 22: 1637–1643
63. Monjezi M., Hasanipanah M., Khandelwal M. (2013) Evaluation and prediction of blast-induced ground vibration at Shur River Dam, Iran, by artificial neural network. *Neural Comput Appl* 22: 1637–1643
64. Mukherjee A., Biswas S.N. (1997) Artificial neural networks in prediction of mechanical behavior of concrete at high temperature. *Nucl. Eng. Des.* 178: 1–11

65. Müller B., Hausmann J., Niedzwiedz H. (2007) Comparison of different methods of measuring and calculating blast vibrations in rock masses, Vienna Conference Proceedings, P. Moser et al., European Federation of Explosives Engineers, pp.127-138.
66. Nicholls H. R., Johnson C. F., Duvall W. I. (1971) Blasting Vibrations and Their Effects on Structures, U.S. Department of Interior, Bureau of Mines Bulletin 656.
67. Nelson M., Illingworth W.T. (1990) A practical guide to neural nets. Addison-Wesley, Reading MA.
68. O'Daniel J.L., Krauthammer T. (1997) Assessment of numerical simulation capabilities for medium-structure interaction systems under explosive loads, *Comput Struct*, 63 (5), pp. 875–887.
69. Olofsson S.O. (1990) Applied explosives technology for construction and mining. APPLEEX, Sweden
70. Ozer U. (2008) Environmental impacts of ground vibration induced by blasting at different rock units on the Kadikoy–Kartal metro tunnel, *Engineering Geology* 100, pp. 82–90.
71. Pavía S., Hanley R. (2010) Flexural bond strength of natural hydraulic lime mortar and clay brick. *Mater. Struct.* 43(7), 913-92.
72. Rosenthal F.M., Morlock G.L. (1987) Blasting guidance manual. U.S. Dept. of the Interior, Office of surface mining reclamation and enforcement
73. Rossetto T., Elnashai A.S. (2003) Derivation of vulnerability functions for european type RC structures based on observational data, *Engineering Structures*, 25 (10) (2003), pp. 1241–1263.
74. Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J. (1986) Learning internal representation by error propagation. In: Rumelhart DE, McClelland JL (eds.), *Parallel distribution processing*, pp 318-362
75. Sarkar K., Tiwary A., Singh T.N. (2010) Estimation of strength parameters of rock using artificial neural networks. *B. Eng. Geol. Environ.* 69: 599-606
76. Siskind D. E., Stagg M. S., Kopp J. W. and Dowding C.H. (1980) Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration From Surface Mine

- Blastig, U.S. Department of Interior, Bureau of Mines Report of Investigation 8507.
77. Svinkin M.R. (2003) Drawbacks of Blast Vibration Regulations, www.researchgate.net.
 78. Song R., Yue-ming B., De-yi J., Yu L.A. (2012) An Extension Evaluation Model for Building Safety under the Influence of Blasting Seismic, International Symposium on Safety Science and Engineering in China, 2012 (ISSSE-2012), Procedia Engineering 43, pp. 168 – 173.
 79. Saleh S.F., Bakhary N., Mohamad E.T., Ahmad B.D. (2012) Investigation of quarry blast-induced vibration to structures [online]. In: Australasian Structural Engineering Conference 2012: The past, present and future of Structural Engineering. Barton, A.C.T.: Engineers Australia, 827 - 834
 80. Singh P.K., Roy M.P. (2010) Damage to surface structures due to blast vibration, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 47, pp. 949–961.
 81. Singh P.K., Vogt W. (1998) Ground vibration: prediction for safe and efficient blasting. Erzmetall 51: 677–684.
 82. Singh R., Vishal V., Singh T.N., Ranjith P.G. (2012) A comparative study of generalized regression neural network approach and adaptive neuro-fuzzy inference systems for prediction of unconfined compressive strength of rocks. Neural Comp. Appl. 23: 499-506
 83. Singh T.N., Kanchan R., Verma A.K., Saigal K. (2005) A comparative study of ANN and Neuro-fuzzy for the prediction of dynamic constant of rockmass. J. Earth Syst. Sci. 114: 75-86
 84. Singh R., Vishal V., Singh T.N. (2012) Soft computing method for assessment of compressional wave velocity. Sci. Iran. 19: 1018–1024
 85. Siskind D.E., Stagg M.S., Kopp J.W., Dowding C.H. (1980) Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting. US Bureau of Mines Report of Investigation RI 8507
 86. Siskind D.E., Stachura V.J., Stagg M.S., Kopp J.W. (1980) Structure Response and Damage Produced by Airblast from Surface Mining. US Bureau of Mines Report of Investigation RI 8485

87. Sonmez H., Gokceoglu C., Nefeslioglu H.A., Kayabasi A. (2006) Estimation of rock modulus: For intact rocks with an artificial neural network and for rock masses with a new empirical equation, *Int. J. Rock Mech. Min.* 43: 224-235
88. Steffens R.J. (1974) *Structural Vibration and Damage*. London, United Kingdom.
89. Pravilnik o tehničkim normativima i rukovanju eksplozivnim sredstvima i miniranju u rudarstvu (1988) *Službeni glasnik RS* 26: str. 743-764.
90. TOWER 7.0 (2015) *Uputstvo za rad sa programom (Build 7520)*, 1048 str.
91. Trajković S., (2009) *Studija seizmičkih i vazdušnih uticaja na okolne građevinske objekte kao posledica izvođenja miniranja na površinskom kopu „Drenovac“ kod Mionice*, Univerzitet u Beogradu Rudarsko-geološki fakultet, Beograd 61 str.
92. Trajković S., Šandor S., Lutovac S. (2005), *Tehnika miniranja i potresi*, Univerzitetski udžbenik, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.
93. Trajković S., Lutovac S., Tokalić R., Stojanović L. (2010) *Osnovi rudarstva*, udžbenik, *Основы рударства, учебник*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.
94. Wu C., Hao H. (2007) Numerical simulation of structural response and damage to simultaneous ground shock and airblast loads, *International Journal of Impact Engineering*, 34 (3) , pp. 556-572.
95. Wu C., Hao H., Lu Y. (2005) Dynamic response and damage Analysis of masonry structures and masonry infilled RC frames to blast ground motion, *Engineering Structures*, 27, pp. 323–333.
96. Yang Y., Zang O. (1997) A hierarchical analysis for rock engineering using artificial neural networks, *Rock Mech. Rock Eng.* 30: 207-222
97. Zeller W. (1931) Determination of the intensity of mechanical vibrations, *Bauing.* 12: 586-590
98. Zeller W. (1933) Proposal for a measure of the strength of vibration, *V.D.I.Z.* 77: 323
99. Zeller W. (1949) Units of measurement for strength and sensitivity of vibrations, *Automob. – tech. Zeit.* 51: 95-97

БИОГРАФИЈА

Мр. Дејан Т. Васовић, дипломирани инжењер архитектуре, рођен је 1966. године у Београду, где је и завршио основну и средњу школу. Архитектонски факултет Универзитета у Београду уписао је 1984. године и 1990. године дипломирао на смеру Архитектонско инжењерство као први у генерацији (са колегом Ненадом Шекуларцем) код проф. др Војислава Кујунџића са просечном оценом 9,03, оцена на дипломском раду 10. Последипломске студије уписао је на Архитектонском факултету Универзитета у Београду 1991. године.

Магистрирао је на Архитектонском факултету код проф. др Михајла Самарџића 1998. године са темом: “Полумонтажни конструктивни систем таванице новог типа “БАРАСЛАБ” и његово вредновање у односу на друге полумонтажне конструктивне системе таваница”. За овај магистарски рад добио је награду Привредне коморе Београда за 1998. годину.

Стручни испит је положио 1992. године. Као руководилац пројектанског тима пројектовао је и вршио надзор над већим бројем објеката високоградње, у земљи и иностранству. Објавио је двадесетчетири писана рада на конгресима и у часописима, у земљи и иностранству. Течно говори и пише енглески језик. Бави се областима Пројектовања и прорачуна конструкција архитектонских објеката, Технологије бетона, Применом високовредних бетона у зградама и конструкцијама.

Запослен је од 1990. године на Архитектонском факултету Универзитета у Београду на Катедри за Статику конструкција и Департману за архитектонске технологије. Учествовао је у настави и држао вежбе на предметима: Бетонске конструкције, Дрвене и металне конструкције, Механика и отпорност материјала, Статика конструкција, Конструктивни системи, Принципи конструисања архитектонских објеката, Конструктивне карактеристике примењених материјала, Студио пројект 2.

Члан је Инжењерске коморе Србије, Друштва архитеката Београда, Америчког института за бетон (American Concrete Institute, ACI) и Америчког удружења грађевинских инжењера (American Society of Civil Engineers - ASCE).

Списак радова проистеклих током израде докторске дисертације

M22

100. Vasović D, Kostić S, Ravilić M, Trajković S (2014) Environmental impact of blasting at Drenovac limestone quarry (Serbia), *Environmental Earth Sciences*, p. 1 – 14.

Списак осталих радова

M22

101. Kostić S, Vasović D (2014) Prediction model for compressive strength of basic concrete mixture using artificial neural networks, *Neural Computing and Applications*.

M24

102. Kostić S, Vasović D, Okrajnov-Bajić R. (2014) New fresh concrete chemical admixture for tunnel lining design in the extreme winter conditions. *Mining and Metallurgy Engineering Bor*, Broj 2.

M33

103. D. Vasovic, T. Vasovic, S. Otovic (2008) Repair Of The Reinforced Concrete Structure Damaged In Bombardment, *Structural Faults and Repair*, 12th International Conference, Edinburgh, UK.
104. T. Vasovic, D. Vasovic (2003) Application of Self-Compacting Concrete For Repair of the Reinforced Concrete Structure Damaged in Fire, *Sixth CANMET/ACI International Symposium on Recent Advances in Concrete Technology*, Bucharest, Romania.
105. D. Vasovic, T. Vasovic (2000) Utilization of Concrete with Expanded Polystyrene Granules for Concrete Slab Reconstruction, *International Conference Repair, Rehabilitation and Maintenance of Concrete Structures and Innovations in Design and Construction*, Seoul, Korea.

M51

106. P. Okrajnov-Bajić, D. Vasović (2009) Self-compacting Concrete and Its Application in Contemporary Architectural Practice, SPATIUM No. 20, 28-34.

M52

107. Kostić S, Vasović D (2015) Procena čvrstoće betona pri pritisku, korišćenjem veštačkih neuronskih mreža, Građevinski materijali i konstrukcije, vol. 58, br. 1, str. 3-16.

Прилог 1.

ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Потписани Дејан Т. Васовић

број индекса

Изјављујем

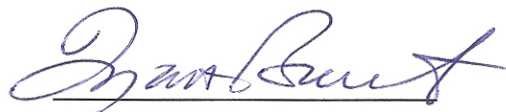
да је докторска дисертација под насловом

МОДЕЛОВАЊЕ ПОНАШАЊА АРХИТЕКТОНСКИХ ОБЈЕКТА УСЛЕД
ПОТРЕСА ОД МИНИРАЊА НА ПОВРШИНСКИМ КОПОВИМА

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, 9.5.2016.



Прилог 2.

**ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ
ВЕРЗИЈЕ ДОКТОРСКОГ РАДА**

Име и презиме аутора Дејан Т. Васовић

Број индекса _____

Студијски програм _____

Наслов рада МОДЕЛОВАЊЕ ПОНАШАЊА АРХИТЕКТОНСКИХ ОБЈЕКТАТА
УСЛЕД ПОТРЕСА ОД МИНИРАЊА НА ПОВРШИНСКИМ КОПОВИМА

Ментор Проф. др Милан Глишић

Потписани Дејан Т. Васовић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанда

У Београду, 9.5.2016.



Прилог 3.

ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

МОДЕЛОВАЊЕ ПОНАШАЊА АРХИТЕКТОНСКИХ ОБЈЕКТА УСЛЕД ПОТРЕСА ОД МИНИРАЊА НА ПОВРШИНСКИМ КОПОВИМА

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио.

1. Ауторство

2. Ауторство - некомерцијално

3. Ауторство – некомерцијално – без прераде

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима

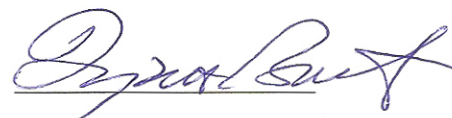
5. Ауторство – без прераде

6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

У Београду, 9.5.2016.



1. Ауторство - Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. Ауторство - некомерцијално – без прераде. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. Ауторство - некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. Ауторство – без прераде. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. Ауторство - делити под истим условима. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.