PREDLOG SMANJENJA DOZVOLJENOG SEIZMIČKOG OŠTEĆENJA NA NEPOKRETNIM KULTURNIM DOBRIMA VISOKOGRADNJE

PROPOSAL OF REDUCING PERMITTED SEISMIC DAMAGES ON IMMOVABLE CULTURAL PROPERTIES (BUILDING STRUCTURES)

Nedeljko STOJNIC
Duško KUZOVIC

PRETHODNO SAOPŠTENJE
PRELIMINARY REPORT
UDK: 699.841:550.344
doi:10.5937/grmk1604031S

1 UVOD

Pored Pravilnika br.52/85 [10], postojeća zakonska regulativa za odredjivanje projektnih parametara seizmičnosti, koja se kod nas koristi, definisana je „Pravilnikom o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima“, (Pravilnik br. 21/88 i 52/90), [11], [12]. U praksi se još koriste i preporuke „Evrokoda 8“ (EC8), [8]. U okviru navedenih pravilnika GOV su svrstani u odgovarajuće kategorije za koje je predviđen dozvoljeni seizmički rizik u okviru njihovog veka eksploatacije.

Međutim, oko nas postoji mnoštvo istorijskih građevinskih objekata od velikog kulturno-istorijskog značaja čije bi delimično ili potpuno rušenje bilo nenadoknadiv gubitak za najširu društvenu zajednicu. Prema ZKD br. 71/94 [13] ovi objekti su svrstani u kulturna dobra koja su u zavisnosti od svog značaja razvrstana u tri kategorije: kulturna dobra od izuzetnog značaja, kulturna dobra od velikog značaja i kulturna dobra. Kulturna dobra mogu biti pokretna i nepokretna. U nepokretna kulturna dobra spadaju objekti visokogradnje (NKDVG).

1 INTRODUCTION

In addition to the Code no.52/85 [10], the existing regulations for determining the design parameters of seismicity used in our country are defined by the “Code on technical standards for construction of building structures in seismic areas”- (Code no. 21/88 and 52/90) [11], [12]. In practice, recommendations of “Eurocode 8” (EC8), [8] are also used. Within the mentioned codes the BS are ranked within corresponding categories for which the permissible seismic risk in their service life has been determined.

However, there are many historical building structures from near and distant past, having high cultural-historical importance, whose partial or total collapse would represent the irreplaceable loss for the wide social community. According to LCP no. 71/94 [13] these buildings are categorized, in terms of their importance, as cultural property, classified in three categories: cultural property of outstanding importance, cultural property of high importance and cultural property. Cultural property can be movable and immovable. Building structures belong to immovable cultural property (ICPBS).

Dr Nedeljko Stojnić, dipl.ing.geol., Beograd, Institut Jaroslav Černi, Srbija, stojnic.nedeljko@gmail.com
Dr Duško Kuzović, dipl.ing.arch., Faculty of Architecture, Design and Fine Arts, Girne American University, Cyprus, dkuzovic@gmail.com

Ph D Nedeljko Stojnic, grad.eng.geol., Belgrade, The Jaroslav Cerni Institute, Serbia, stojnic.nedeljko@gmail.com
Ph D Dusko Kuzovic, grad.eng.arch., Faculty of Architecture, Design and Fine Arts, Girne American University, Cyprus, dkuzovic@gmail.com

Osnovni zahtev, da ne sme da dođe do kolapsa OVG tokom dešavanja najjačeg očekivanog zemljotresa već samo sa dozvoljenim konstruktivnim oštećenjima više nije dovoljan kod NKDVG. Da bi sačuvali svoju autentičnost i što manje izgubili od svoje prave vrednosti kod NKDVG ne sme da dodje do konstruktivnih oštećenja kao ni oštećenja onih razmera koje bi ugrozile njegov sastavni umetnički sadržaj (oslikani zidovi, plastika, skulpture i sl.). U nedavno objavljenom radu koji se odnosi na redukciju seizmičkog rizika za NKDVG [5] u opštijem smislu su naglašena uputstva o aktivnostima koje treba preduzeti da bi se smanjio seizmički rizik kod NKDVG kao i nivou dozvoljenih šteta na njima. Otuda je data podela NKDVG u dve kategorije: NKDVG I i NKDVG II kategorije osetljivosti na seizmička opterećenja koja pokrivaju NKDVG od izuzetnog kulturnog značaja i NKDVG od velikog kulturnog značaja, respektivno. Međutim, u ovom radu pridodata je još jedna kategorija, NKDVG od izuzetnog kulturnog značaja pod zaštitom UNESCO-a. Pored toga u svakoj od izdvojenih kategorija izdvojeni su faktori: a) upotrebnosti objekta što podrazumeva i izloženost životnoj opasnosti službenika i posetioca (BU) koji su u objektu; b) arhitektonski (BAch); c) umetnički bez oslikanih površina (BA) i d) umetnički sa oslikanim površinama (BAP). Faktor upotrebnosti ukazuje na tekuće aktivnosti u okviru NKDVG u smislu osoblja koje radi u njemu i zainteresovanih posetilaca. Arhitektonski faktor se odnosi na samo NKDVG sa svim arhitektonskim karakteristikama i njihovim vrednostima. Umetnički faktor bez oslikanih zidnih površina obuhvata izdvojene dekorativne elemente koji su jednim delom pričvršćeni za objekat. Ovo podrazumeva sastavne skulptorske predmete i sl. I na kraju umetnički faktor sa oslikanim zidnim površinama, što podrazumeva oslikane površine nosećih i pregradnih zidova. Prema tome u ovom radu data je detaljnija kategorizacija i faktori NKDVG kao osnova novih građevinskih kategorija i predstavljena je mogućnost analitičkog utvrđivanja seizmičkog opterećenja koje mogu da izdrže u granicama dozvoljenih oštećenja.

Da bi se što efikasnije sprovodio postupak ojačanja i sanacije NKDVG u seizmičkim područjima, čija se kulturno istorijska vrednost utvrđuje u skladu sa ZKD br. 71/94 [13] dat je predlog izdvajanje NKDVG u posebne građevinske kategorije. Zbog toga je predloženo da izdvojene kategorije NKDVG sa pomenutim faktorima budu osnov novog "Pravilnika za ojačanje i sanaciju NKDVG u seizmičkim područjima", ili da budu pridodate postojećem Pravilniku br. 52/85, [10].

2 KRITERIJUMI ZA KATEGORIZACIJU NKDVG U SEIZMICKIM PODRUČJIMA

2.1 Zakon o kulturnim dobrima

Značajan broj starih objekata koji postoje u našem okruženju su svojom formom (arhitektonskim rešenjem, umetničkim sadržajem, građevinskim rešenjima itd.), zatim društveno-istorijskim značajem dobili u sadašnjem vremenu posebnu vrednost i značaj kao deo nacionalnog kulturnog nasleđa [7]. Ovakvi objekti su proglašeni kulturnim dobrima i kategorisani su u ZKD br. 71/94 [13]. U čl.1. Osnovnih odredbi ovog Zakona uređuje se sistem zaštite i korišćenja kulturnih dobara i utvrđuju

The fundamental no collapse requirement, with permissible structural damage for HRS in the event of the most intensive expected earthquake is no longer satisfactory for ICPBS. ICPBS must not sustain structural damage in order to prevent loss of their true value and authenticity nor must its integral artistic content (painted walls, plastics, sculptures, etc.) be damaged.

In the recently published paper related to the reduction of seismic risk for ICPBS [5], there was a general emphasis on the instruction about the activities which should be undertaken so as to reduce the seismic risk for ICPBS and the level of permissible damage for them. Thence, ICPBS are categorized in two categories ICPBS I and ICPBS II categories of vulnerability to seismic action, which cover ICPBS of outstanding cultural importance of ICPBS of high cultural importance, respectively. However, another category is added in this paper, and that is ICPBS of outstanding cultural importance listed by UNESCO. In addition, within any of the mentioned categories, the following factors were singled out: a) serviceability of the structure, which comprises life hazard of employees and visitors (BU) in the building; b) architectonic factor (Bach); c) artistic factor without painted surfaces (BA) and d) artistic with painted surfaces (BAP). The serviceability factor indicates running activities in ICPBS, regarding the personnel employed in it and interested visitors. The architectonic factor relates only to ICPBS with all architectonic characteristics and their values. The artistic factor without painted wall surfaces includes single decorative elements which are in part attached to the structure. This comprises integral sculptures etc. Eventually, there is the artistic factor with painted wall surfaces, which comprises painted surfaces of bearing and partition walls. Therefore, this paper comprises a more detailed categorization as well as the factors of ICPBS as a basis for new construction categories, the possibility for analytical determination of seismic load they are able to sustain within the permissible damage limits.

In order to conduct the procedure of remediation and strengthening of ICPBS in seismic areas whose cultural historical value is determined in accordance with LCP no. 71/94 [13], the paper proposes categorization of ICPBS into special structural categories. Therefore, it is proposed that the separate categories of ICPBS with the abovementioned factors are the basis of the new "Code for remediation and strengthening of ICPBS in seismic areas", or to be appended to the existing Code no. 52/85, [10].

2 CRITERIA FOR CATEGORIZATION OF ICPBS IN THE SEISMIC AREAS

2.1 Law on cultural property

Lots of old buildings in our environment, by their form (architectonic design, artistic content, structural design, etc), social-historical importance, have obtained nowadays a special value and significance being a part of national cultural heritage [7]. Such buildings were declared cultural properties and categorized in LCP no. 71/94 [13]. The article 1 of the law Basic provisions regulates the cultural property protection and usage system and determines the conditions for their

uslovi za obavljanje delatnosti njihove zaštite, koja podrazumeva i zaštitu od zemljotresa. Sama kulturna dobra prema čl. 2. ovog Zakona predstavlja stvari i tvorevine materijalne i duhovne kulture od opšteg interesa i kao takva uživaju posebnu zaštitu, takođe, predviđenu ZKD br. 71/94 [13].

Prema istom članu, kulturna dobra u zavisnosti od fizičkih, umetničkih, kulturnih i istorijskih svojsatva, dele se na nepokretna kulturna dobra: spomenike kulture (gde pripadaju NKDVG), prostorne kulturno-istorijske celine, arheološka nalazišta i znamenita mesta, i pokretna kulturna dobra: umetničko-istorijska dela, arhivsku građu i sl. Svaka od ovih grupacija se u zavisnosti od svog značaja razvrstava u III kategorije: I - kulturna dobra od izuzetnog značaja, II - kulturna dobra od velikog značaja i III - kulturna dobra.

U ovom radu u posebnu grupu izdvojena su kulturna dobra koja su pod zaštitom UNESCO-a, ukupno 9, i koji predstavljaju objekte od međunarodnog značaja.

Prema evidenciji Zavoda za zaštitu spomenika Republike Srbije na teritoriji Srbije utvrđeno je 222 NKD od izuzetnog i 622 NKD od velikog kulturnog značaja. Uglavnom svi navedeni objekti pripadaju NKDVG.

Po vremenu nastajanja, najveći broj NKDVG datira od pre XX veka, dok jedan manji broj pripada prvoj polovini XX veka.

NKDVG predstavljaju odraz društveno-sociološkog, tehnološkog i umetničkog razvoja društva u vremenu u kome su nastali, daju sa jedne strane nezamenljiv doprinos diverzitetu prostora u kome se nalaze. Pored toga daju značaj istorijskog kontinuiteta razvoja društvenih zajednica prostoru na kome se nalaze. Na ovaj način NKDVG imaju poseban kulturno-istorijski značaj u životu društvene zajednice a time i društvenu ulogu. Mada ZKD br. 71/94 [13] predviđa zaštitu ovakvih objekata, i od zemljotresa, ona se još uvek ne sprovodi tako efikasno da bi se NKDVG smatrala dovoljno zaštićenim.

2.2 Postojeća građevinska regulativa za gradnju i sanaciju objekata visokogradnje u seizmickim područjima

Tehnički standardi za izgradnju OVG u seizmickim područjima VII, VIII i IX stepena makroseizmičke skale MKS-64 su propisani u opštim odredbama Zakona br. 21/88, [4], [11]. Svi OVG u Republici Srbiji i bivšoj SFRJ se nalaze u određenim seizmickim područjima prema seizmološkoj mapi SFRJ [3] koja je urađena za povratne periode zemljotresa od 50, 100, 200, 500, 1000 i 10 000 godina i koji su sastavni deo Zakona br. 21/88, [4], [11].

Prema postojećem Zakonu br. 21/88, [4], [11] objekti u seizmickim područjima su dizajnirani tako da zemljotres najačeg intenziteta može da dovede do oštećenja noseće konstrukcije ali da ne izazove rušenja objekta.

Saglasno odredbama vazećeg Pravilnika br. 21/88, [4], [11] objekti se u seizmickim područjima projektuju tako da zemljotres najjačeg intenziteta može da prouzrokuje oštećenja nosivih konstrukcija, ali ne sme doći do rušenja objekata.

Zavisno od svoje funkcije, objekti su svrstani u V kategorija koje su kvantifikovane koeficijentom kategorije, Ko. Objekti visoke gradnje od najvećeg interesa za zajednicu svrstani su u grupu objekata van kategorije (nuklearne elektrane; objekti za transport i

protection, including protection from earthquake. Cultural properties according to the article 2 of this Law are the objects and products of material and spiritual culture of general interest, as such enjoying special protections, also determined by LCP no. 71/94 [13].

According to the same article, the cultural property, depending on the physical, artistic, cultural and historical properties, are divided into immovable cultural property: cultural monuments (including ICPBS), spatial cultural-historical entities, archaeology sites and famous locations, and movable cultural property, works of art and history, archive materials, films and old and rare books. Each of these groups depending on their significance is ranked into three categories: I – cultural property of outstanding importance, II – cultural property of high importance and III - cultural property.

The Institute of monument protection of the Republic of Serbia records 222 ICPs of outstanding and 622 ICPs of high cultural importance on the territory of Serbia. Table 1, provides 10 buildings of ICPBS belonging to these categories.

Most of ICPBS date back to the period before 20th century, while few belong to the first half of the 20th century.

ICPBS as artefacts, reflect the social, technological and artistic development level of the society at time of their creation, providing an irreplaceable contribution to the diversity of space where they are located. In addition, they signify the historical continuity to the development of social communities in an area. Thus ICPBS have a special cultural-historical importance in a social community life, serving a social function. Even though LCP no. 71/94 [13] provides for protection of such structures, i.e. earthquakes, it has not been conducted with sufficient efficiency to consider the ICPBS as adequately protected.

2.2 Existing building regulations for building construction in seismic areas

The technical standards for construction of BS in seismic areas of VII, VIII and IX degree according to MKS-64 scale are laid down in the general provisions of the standing Code no. 21/88, [4], [11]. All BS in the Republic of Serbia and former SFRY are located in the seismic areas, according to the SFRY seismology maps [3] made for the earthquake return periods of 50, 100, 200, 500, 1000 and 10 000 years which are an integral part of the Code no. 21/88 [11].

According to the standing Code no. 21/88, [4], [11] the buildings in the seismic areas are designed so that the highest intensity earthquakes can cause damage of supporting structures, but without building collapse.

Depending on their function, the buildings are classified within V categories which are quantified by the category coefficient, Ko. The building structures of the highest interest for the community are ranked in the out-of-category group of buildings (nuclear power stations; structures for transport and storage of inflammable liquids and gases; storage of toxic matter; high-rise building with over 25 stories, etc. This category does not include the buildings which are related to any cultural activity. The I category includes: buildings with rooms

usklađivanje zapaljivih tečnosti i gasa; skladišta toksičnih materijala; značajni objekti veza i telekomunikacija; visoke zgrade sa preko 25 spratova i sl. U ovu kategoriju ne spadaju objekti koji imaju vezu sa bilo kakvom kulturnom delatnošću. U I kategoriju spadaju: zgrade sa prostorijama predviđenim za veće skupove ljudi (pozorišta; bioskopske i sl.), škole, zdravstveni objekti, zgrade koje sadrže predmete izuzetne kulturne i umetničke vrednosti, itd. U II kategoriju spadaju: stambene zgrade; hoteli, restorani; javne i industrijske zgrade itd. U III i IV kategoriju objekata spadaju pomoćno-proizvodne zgrade i privremeni objekti.

Prilikom gradnje objekata van I kategorije utvrđuju se projektni i maksimalni zemljotres kojima je objekat izložen. Za utvrđivanje seizmičke opasnosti prilikom projektovanja objekata II i III kategorije koristi se Seizmološka karta SFRJ [3], oleata za povratni period zemljotresa od 500 godina.

I u sadašnjem vremenu se grade objekti koji će kao novo-izgrađeni ujedno biti od kulturno-istorijskog značaja. Primer je hram sv. Save u Beogradu koji je još uvek nedovršen ali će pored ostalog imati i svoju umetničku vrednost (arhitektonska celina, mozaike, ornamentiku i sl.), ili neki drugi objekat koji je izgrađen u periodu nekog od vežećih pravilnika o gradnji u seizmičkim područjima. U tom slučaju preporučuje se da se kod objekata sa perspektivom da budu od kulturno-istorijskog značaja, tj. onih koji su u skladu sa preporukama zaštite istorijskih objekata, koristi strožiji kriterijum za procenu proračuna seizmičkih opterećenja.

Slično je i sa Evrokodom 8 koji je sve više u upotrebi kod nas. Ovde se u okviru osnovnih zahteva zemljotresnog inženjerstva postavljaju dva uslova: Prvi uslov podrazumeva da se OVG pri projektovanom zemljotresnom dejstvu ne sme niti potpuno niti delimično srušiti i da treba da zadrži svoju konstruktivnu celinu i odgovarajuću nosivost. Drugi uslov podrazumeva da GOV treba da izdrži dejstvo zemljotresa čija je verovatnoća dešavanja veća od proračunatog zemljotresnog delovanja, bez pojave oštećenja i disfunkcije u upotrebi čiji bi trošak bio nesrazmerno veliki u odnosu na vrednost same građevine. U Evrokodu 8 važnost objekta tj. njegovu kategoriju propisuje državna vlast. Evrokod 8 takođe posebno ne razmatra NKDVG.

U slučaju oštećenja objekta usled seizmičkog dejstva ili nekih drugih promena na njemu (rekonstrukcije ili dogradnje) primenjuje se Pravilnik br. 52/85 [10]. Po ovom Pravilniku saniraju se, ojačavaju, revitalizaciju i dograđuju oštećeni ili dotrajali OVG.

Značajan broj objekata za stanovanje ili neku drugu namenu građen je pre bilo kakvog zakona za gradnju u seizmičkim područjima što je najčešće slučaj i sa NKDVG. Međutim, sa vekom eksploatacije objekti generalno gube deo seizmootpornosti od one koju su prvobitno imali tako da vremenom opada njihova seizmootpornost. Prema Pravilniku br. 52/85 [10] koji se odnosi na sanaciju i revitalizaciju objekata koji su usled nekog spoljašnjeg dejstva oštećeni ili treba da se ojačaju bez obzira da li su građeni u skladu sa postojećim pravilnikom o visokogradnji, ojačavaju se prema građevinskoj kategoriji koja im po svojim karakteristikama pripada u skladu sa važećim zakonom.

designed for large groups of people (theatres, cinema halls etc.), schools, etc. The II category includes: housing buildings; hotels, restaurants; public and industrial buildings etc. The III and IV categories of buildings include auxiliary-production buildings and temporary buildings.

When the out-of-category and I category buildings are built, the design and maximum earthquake the building is exposed to are calculated. For determination of the seismic risk in designing the II and III category buildings, Seismology map of SFRY is used [3], for the return earthquake period of 500 years.

Nowadays as well, structures of cultural-historical importance are being built. It is for example, the St. Sava Cathedral in Belgrade, which is still unfinished, but besides other things it has its artistic value (architectonic appearance, mosaics, ornaments, etc.), or some other structure built in the period when some of the existing codes of building in seismic areas was valid. In that event, it is recommended to apply more strict criteria for assessment of seismic load design for the structures of prominent cultural-historical importance, i.e. those which are compliant to the recommendations of protection of historical structures. It is a similar situation with Eurocode 8, which is being increasingly used in our country. Here, in the framework of the basic requirements of earthquake engineering, two conditions should be completed: The first condition comprises that during an earthquake design, HRS must not collapse, neither completely nor partially, and it must retain its structural integrity and adequate bearing capacity. The second condition comprises that BS must withstand the effects of an earthquake whose occurrence probability is higher than the design earthquake action, with no damage or dysfunction whose repair cost is non proportionally high in comparison with the value of the structure itself. In Eurocode 8, the importance of structure and its category is prescribed by national authorities. Eurocode 8 does not consider ICPBS separately.

In case of building damage due to seismic action or some changes on them, (reconstruction or extension), Code no. 52/85 [10] is implemented. This code is used for revitalization, strengthening, rehabilitation or expansion of damaged or dilapidated building structures, too.

A considerable number of buildings for housing and other purposes was built prior to enactment of any regulations for construction in seismic areas, which is most often the case with ICPBS. However, with aging, the structures generally lose a portion of seismic resistance they originally had. According to the Code no. 52/85 [10] which refers to rehabilitation and revitalization of structures which are damaged as a result of an external action or should be strengthened irrespective of whether they were built in compliance with the existing code on building structures construction, they are strengthened according to the construction category to which they belong, regarding their characteristics and current regulations.

2.3 Očekivana oštećenja na NKDVG u seizmičkim područjima Srbije

Na osnovu makroseizmičke skale moguće je dati procenu očekivanih oštećenja na objektima ako je poznat tip objekta i intenzitet zemljotresa koji se očekuje na datom prostoru, za određeni povratni period.

Ovde su na osnovu makroseizmičkih skala MKS-64 i EMS-98 data očekivana oštećenja na NKDVG za nivo očekivanih intenziteta od V do IX stepena. Međutim za detaljnija ispitivanja seizmootpornosti NKDVG kao i drugih GOV koriste se različite statičke i dinamičke linearne i nelinearne numeričke analize. U poslednje vreme dosta se koristi tzv. pušover analiza (analiza postupnog horizontalnog opterećenja), koja pripada statičkoj nelinearnoj analizi.

Prema stilu gradnje NKDVG uglavnom pripadaju različitim formama zidanih objekata kao i objektima sa drvenom konsurkijom. Očekivana oštećenja na NKDVG usled dejstva zemljotresa data su prema makroseizmičkim skalama MSK-64 i EMS-98 [3],[9],[15]. Obe skale su podeljene na 12 stepeni koji se među sobom u najvećem delu poklapaju. Prema ovim skalama NKDVG najvećim delom pripadaju tipu B i C (D), dok je tip A manje zastupljen, tabela 2.

2.3 Expected damage of ICPBS in the seismic areas of Serbia

On the basis of the macroseismic scale, it is possible to assess the expected damage on the structures, if the type of structure and intensity of earthquake expected on the given area for a certain return period are known.

Here, on the basis of macroseismic scales MKS-64 and EMS-98, the expected damage on ICPBS for the expected intensities between V and IX degrees is provided. However, for a more detailed tests of seismic resistance of ICPBS and other BS, various static and dynamic linear and nonlinear numerical analyses are used. Lately, pushover analyses have been increasingly used (analysis of increasing horizontal load), which belongs to the static nonlinear analysis.

According to the construction style ICPBS mostly belong to the different forms of masonry buildings, and timber structure buildings. The expected damage of ICPBS due to the earthquake effects can be estimated according to the macro-seismic scales of MSK-64 and EMS-98 [3], [9], [15]. Both scales have the same division of 12 degrees which coincide in most part. According to these scale ICPBS mostly belong to the B and C (D) types, while there is a low presence of type A, table 2.

Tabela 2 Tipovi objekata visokogradnje u skladu sa seizmičkim skalama MSK-64 i EMS-98
Table 2. Type of structures according to MSK-64 and EMS-98 scales

Tip Type	Tipovi objekata (koji nisu aseizmički građeni) - MSK-64 <i>Types of structures (which were not built according to aseismic standards) in MSK-64</i>	Tip Vulnerability class	Tipovi objekata (sve vrste) –EMS-98 <i>Types of structures (all kinds of buildings) EMS-98</i>
	Opis / Description		Opis / Description
A	Kuće od neobrađenog kamena, ruralni objekti, kuće od nepečene cigle i naboja gline <i>Buildings in fieldstone, rural structures, adobe houses, clay houses</i>	A	Kuće od lomljenog kamena, neobrađenog kamen, cigle (urađene od zemlje) <i>Rubble stone, fieldstone, adobe (earth brick)</i>
B	Obične zgrade od cigle, objekti od velikih blokova, poludaščane kuće, kuće od klesanih kamenih blokova <i>Ordinary brick buildings, large block construction, half-timber structures, structures of hewn blocks of stone</i>	B	Običan kamen, obrađen kamen nearmirane <i>Simple stone, unreinforced, with manufactured stone units</i>
C	Zgrade od armiranog betona, čvrsto urađeni drveni objekti <i>Reinforced buildings, well-built wooden structures</i>	C	Masivni kamen. Objekti su nearmirani, sa armiranim međuspratnim pločama, okviri nisu aseizmički dizajnirani, zidovi koji nisu dizajnirani da budu seizmo-otporni <i>Massive stone, unreinforced, with reinforced concrete (RC) floor, frame without earthquake-resistant design (ERD), walls without ERD</i>
		D	Drvene konstrukcije <i>Timber structures</i>

U nastavku su date tabele sa izdvojenim tipovima oštećenja koja mogu da se jave na NKDVG prilikom različitih dejstava zemljotresa, tabele 3, [3], [9], [15]. i kvantifikovanom vrednošću samih oštećenja, tabela 4, [3], [9], [15].

Further are provided tables with singled out types of damage which may occur in ICPBS as a result of various earthquake effects, table 3, [3], [9], [15] and quantified value of damage, Table 4, [3], [9], [15].

Tabela 3. Klasifikacija oštećenja u skladu sa seizmičkim skalama MSK-64 i EMS-98
Table 3. Classification of damage to buildings according to MSK-64 and EMS-98 scales

Stepen Grade	MSK-64	EMS-98
	Kratak opis <i>Short description</i>	Kratak opis / <i>Short description</i>
1	Laka oštećenja <i>Slight damage</i>	Zanemarljiva do laka oštećenja (nema konstruktivnih oštećenja, laka ne-konstruktivna oštećenja – sitne pukotine u malteru opadanje komadića i ljuspica maltera, pukotine kao vlasi kose na nekim zidovima) <i>Negligible to slight damage (no structural damage, slight non-structural damage - fine cracks in plaster; fall of small pieces of plaster, hair-line cracks in very few walls)</i>
2	Umerena oštećenja <i>Moderate damage</i>	Umerena oštećenja: neznatna strukturna oštećenja, umerena ne strukturna oštećenja - manje pukotine u većini zidova, opadanje krupnih komada maltera, mestimično rušenje dimnjaka) <i>Moderate damage (slight structural damage, moderate non-structural damage - small cracks in many walls; fall of fairly large pieces of plaster; partial collapse of chimneys)</i>
3	Teška oštećenja <i>Heavy damage</i>	Znatna do teška oštećenja (umerene strukt urne štete, teška ne strukturna oštećenja) <i>Substantial to heavy damage (moderate structural damage, heavy non-structural damage)</i>
4	Destruktivna oštećenja <i>Destruction</i>	Veoma teška oštećenja (teška strukturna oštećenja, teška ne strukturna oštećenja) <i>Very heavy damage (heavy structural damage, very heavy non-structural damage)</i>
5	Potpuno oštećenje (potpuno rušenje zgrada) <i>Total damage Total collapse</i>	Destrukcija (veoma teška strukturna oštećenja). Potpuna ili skoro potpuna rušenja zgrada <i>Destruction (very heavy structural damage). Total or almost total collapse of buildings</i>

Tabela 4. Kvantifikacija oštećenja MSK-64 i EMS-98
Table 4. Damage quantification for MSK-64 and EMS-98 scales

MSK-64		EMS-98	
Mali broj / <i>Few</i>	oko / <i>about</i> 5 %	Mali broj / <i>Few</i>	0 – 20 %
Mnogo / <i>Many</i>	oko / <i>about</i> 50 %	Mnogo / <i>Many</i>	20 – 60 %
Većina / <i>Most</i>	oko / <i>about</i> 75 %	Većina / <i>Most</i>	60 – 100 %

Za teritoriju repoblike Srbije od interesa su zemljotresi V, VI, VII, VIII i IX, stepena obzirom da su to intenziteti koji mogu da izazovu oštećenja na NKDVG. U tabeli 5, dati su intenziteti mogućih zemljotresa sa efektima koje mogu da izazovu na NKDVG.

For territory of the Republic of Serbia, the earthquakes intensity of V, VI, VII, VIII and IX degrees are expected to occur which can cause damage of ICPBS. In table 5, intensities of potential earthquakes with the potential effects on ICPBS are given.

Tabela 5. Seizmički intenziteti sa štetnim dejstvima na NKDVG
Table 5. Seismic intensities with their effects on ICPBS

Skale seizmičkog intenziteta / Macroseismic Intensity Scale						
Stepen seizmičkog intenziteta <i>Seismic intensity degree</i>	MSK-64			EMS-98		
	Stepen oštećenja zgrada <i>Grade of building (structures) damage</i>	Brojnost <i>Quantity</i>	Tip građevine <i>Type of structure</i>	Stepen oštećenja zgrada <i>Grade of building (structures) damage</i>	Brojnost <i>Quantity</i>	Tip građevine <i>Type of structure</i>
IV	no	no		no	no	
V	1	mali broj <i>a few</i>	A	1	mali broj <i>a few</i>	B
				1	mali broj <i>a few</i>	A
VI	1	mali broj <i>a few</i>	B	1	mali broj <i>a few</i>	C
	2	mali broj <i>a few</i>	A	2	mali broj <i>a few</i>	A, B
	1	mnogo <i>many</i>	A	1	mnogo <i>many</i>	A, B
VII	1	mnogo <i>many</i>	C	1	mali broj <i>a few</i>	D
	2	mnogo <i>many</i>	B	2	mali broj <i>a few</i>	C
	3	mnogo <i>many</i>	A	3	mali broj <i>a few</i>	B
	4	mali broj <i>a few</i>	A	2	mnogo <i>many</i>	B
				4	mali broj <i>a few</i>	A
				3	mnogo <i>many</i>	A
VIII	3	mali broj <i>a few</i>	C	2	mali broj <i>a few</i>	D
	2	mnogo <i>many</i>	C	3	mali broj <i>a few</i>	C
	4	mali broj <i>a few</i>	B	2	mnogo <i>many</i>	C
	3	mnogo <i>many</i>	B	4	mali broj <i>a few</i>	B
	5	mali broj <i>a few</i>	A	3	mnogo <i>many</i>	B
	4	mnogo <i>many</i>	A	5	mali broj <i>a few</i>	A
				4	mnogo	A
IX	4	mali broj <i>a few</i>	C	2	mali broj <i>a few</i>	E
	3	mnogo <i>many</i>	C	3	mali broj <i>a few</i>	D
	4	mnogo <i>many</i>	B	2	mnogo <i>many</i>	D
	5	mali broj <i>a few</i>	B	4	mali broj <i>a few</i>	C
	5	mnogo <i>many</i>	A	3	mnogo <i>many</i>	C
			A	5	mali broj <i>a few</i>	B
				4	mnogo <i>many</i>	B
				5	mnogo <i>many</i>	A

Na osnovu Seizmološke karte Srbije [3] urađena je teritorijalna zastupljenost najjačih očekivanih intenziteta za povratne periode od 100, 200, 500, 1000 i 10 000 god. sa verovatnoćom $I_{max} \geq 0.63$, tabela 6.

On the basis of the Seismological map of Serbia [3] the territorial presence of the strongest expected intensities for the return periods of 100, 200, 500, 1000 and 10 000 years was done, with the probability of $I_{max} \geq 0.63$, Table 6.

Tabela 6. Teritorijalna zastupljenost seizmičkih intenziteta prema povratnim periodima
Table 6. Territorial presence of seismic intensities according to the return periods

Intenzitet zemljotresa (MSK-64) <i>Earthquake intensity (MSK-64)</i>	Povratni period dogođenog intenziteta izražen u godinama <i>Return period of the occurred intensity expressed in years</i>				
	100	200	500	1000	10 000
	Procentualni deo površine teritorije Srbije zahvaćen odgovarajućim intenzitetom <i>Percentage of the Serbia territory area affected by the corresponding intensity</i>				
VII	0,8381	0,5405	0.0	0.0	0.0
VIII	0,1508	0,4256	0,9333	0,6430	0,4766
IX	0,0111	0,0339	0,0667	0,3570	0,5234

2.4 Nivo dozvoljenih oštećenja kod NKDVG i njihova kategorizacija

Zaštita NKDVG od zemljotresa treba da obezbedi njihovo trajanje u vremenu, i da pri tome ne izgube na svojoj autentičnosti i upotrebljivosti. U radu je razmatrano nekoliko faktora prema kojima se utvrđuje adekvatna zaštita NKDVG: bezbednost ljudi od zemljotresa; arhitektonski; umetnički bez oslikanih površina i umetnički sa oslikanim površinama. S obzirom da su kulturna dobra pored stalno zaposlenih lica posećena od strane posetilaca, prilikom zemljotresa postoji rizik za njihove živote. Ako se razmatra samo bezbednost posetilaca i onih koji rade u objektu, u tom slučaju "minimum intervencije na objektu" se odnosi na dovođenje sigurnosti konstrukcije objekta na "prihvatljiv nivo" gde će životi posetilaca i službenika biti zaštićeni i gde pri slabijim dejstvima zemljotresa neće doći do remećenja radne aktivnosti. Međutim ako se radi o NKDVG koji imaju monumentalnu vrednost gde pored društvenog i istorijskog značenja imaju arhitektonski i umetnički značaj bilo da se radi o oslikanim površinama ili ne, pitanje "prihvatljivog nivoa" sigurnosti objekta postaje otvoreno a samim tim i pitanje "minimalne intervencije na objektu".

Zapravo potrebno je razmatrati svaki aspekt njegove kulturne vrednosti i u skladu sa tim dati procenu prihvatljivog nivoa seizmičke zaštite. Za ovo se koristi skala oštećenja data u tabeli 3 kao i njene kvantifikacione karakteristike u tabeli 4.

Analizirajući tipove oštećenja došlo se do zaključka da je nivo prihvatljivih oštećenja u onom domenu u kome se još uvek može izvršiti njihova restauracija sa minimalnim gubitkom autentičnosti. Na osnovu navedenog za faktore zaštite ljudskih života (BU), zaštite samog NKDVG sa aspekta arhitektonske vrednosti (BAch) i mogućnosti njegove konzervacije kao i umetničkih elemenata na NKDVG bez oslikanih (BA) površina dozvoljava se 3 nivo oštećenja prilikom dejstva najjačeg zemljotresa za izabrani povratni period.

2.4 The level of permissible damage of ICPBS and their categorization

Protection of ICPBS should provide their survival in time, but without it they are losing their authenticity and serviceability. The paper considers several factors used to determine adequate protection of ICPBS: human safety in earthquakes; architectonic; artistic without painted surfaces and artistic with painted surfaces. Regarding that usually there are visitors inside cultural properties as well as employees, their lives are also at risk. If only the safety of visitors and employees of a building is considered, „the minimum intervention on the building“ relates to making the structure of the building „acceptably safe“ which will protect the lives of the visitors and employees, and where the working process during earthquakes of low intensity will not be interrupted. However, in the case when ICPBS have a monumental value, and in addition to their social and historical significance they also have architectonic and artistic significance, with or without painted surfaces, the question of „acceptable safety“ and thus of the „minimum intervention on the building“ remains unresolved.

In fact, it is necessary to consider every aspect of its cultural value, and in accordance with it provide the assessment of acceptable seismic safety level. The damage scale provided in table 3 and its quantification characteristics in table 4 are used for this purpose.

By analyzing the types of damage, it was concluded that the level of acceptable damage is when it is still possible to restore the structures with the minimum loss of their authenticity. Thus, the 3rd level of damage is permissible during the action of the strongest earthquake for the chosen return period for the following factors: human lives protection (BU), protection of ICPBS for the aspect of architectonic value (BAch) and potential of their conservation and for artistic elements on ICPBS without painted (BA) surfaces. Regarding that heavy structural damage is expected at 3rd level of damage, falling of large areas of mortar and collapse of partition

Obzirom da se u 3 nivou oštećenja očekuju teška ne strukturna oštećenja, očekuje se i opadanje velikih komada maltera kao i pojava rušenja pregradnih zidova. Otuda se za oslikane površine (BAP) dozvoljava 2 nivo oštećenja [6], [17].

Nakon ovako utvrđenih dozvoljenih nivoa oštećenja na objektima kulturnog nasleđa potrebno je utvrditi nivo seizmo-otpornosti NKDVG kao i nivo seizmičkog hazarda kome je izložen na datoj lokaciji.

Da bi se pouzdano utvrdio nivo seizmo-otpornosti NKDVG koji se razmatra, preporučuje se primena nelinearne statičke analize postepenog lateralnog opterećenja (pušover analiza). Ova numerička analiza koristi metod konačnih elemenata.

Sa adekvatno prikupljenim podacima o konstruktivnim karakteristikama samog NKDVG i karakteristikama materijala od koga je izgrađen moguće je dobiti kvantitativne iznose deformacija na objektu pri zadatom postepenom lateralnom opterećenju (pušover analizi). Dobijena horizontalna deformacija je data iznosom horizontalnog pomeranja u vrhu NKDVG. Pušover analiza omogućava da se prema ostvarenom horizontalnom pomeranju u vrhu NKDVG, odnosno na pušover krivoj tačno utvrde unapred zadati nivoi dozvoljenog oštećenja na NKDVG. Tako da se ova analiza primenjuje na sve faktore izdvojenih kategorija koje se odnose na NKDVG, očuvanje života posetilaca i radnika u objektu, zatim na arhitektonski i umetnički faktor bez i sa oslikanim površinama. Na ovaj način upotpunjuje se pušover kriva, odnosno kriva seizmo-otpornosti sa novim karakteristikama o povredljivosti ispitivanog NKDVG.

Za isto NKDVG takođe se utvrđuje elastični spektar odgovora koji se daje u formatu ubrzanje-pomeranje (ADRS). Pri tome se ubrzanje tla uzima kao maksimalna vrednost za odgovarajući povratni period dobijen na osnovu PSHA ili DSHA za datu lokaciju.

Analizirajući dobijenu pušover krivu koja predstavlja krivu seizmo-otpornosti NKDVG sa jasnim područjima gde se očekuju različiti nivoi oštećenja izdvojenih faktora i spektralnu krivu koja predstavlja seizmičko opterećenje na lokaciji, moguće je utvrditi kakva se oštećenja očekuju na datom NKDVG, slika 1.

Pušover analiza takođe omogućava analitičko ispitivanje uticaja naknadnih intervencija na NKDVG kako bi se dobilo NKDVG sa povećanom seizmo-otpornošću u odnosu na njegovo prethodno stanje.

Usled sveukupnog značaja NKDVG, a s tim i da se održe u dugom vremenskom periodu u okviru postojećeg seizmičkog hazarda, neophodno je njihovu seizmo-otpornost podići na viši nivo od običnih OVG. U tom smislu seizmo otpornost NKDVG treba sračunati na dejstvo najjačeg zemljotresa sa povratnim periodom koji je duži od povratnog perioda propisanog nacionalnim kodom za obične OVG, kojima bi dato NKDVG pripadalo bez da se radi o NKD.

Dužina povratnih perioda za NKDVG su u zavisnosti od kulturno istorijskih kategorija kojima pripadaju, odnosno dozvoljenog nivoa oštećenja njihovih faktora. U nastavku su radi boljeg pregleda date matrice kategorija GOV i NKDVG u rasponu perioda ponovljivosti najjačih očekivanih zemljotresa koji su izraženi preko različitih verovatnoća nepremašivanja za eksploatacioni period objekta od 50 godina. Tipovi oštećenja za pojedine kategorije GOV i NKDVG dati su u rasponu povratnih

walls is expected. Therefore, only 2nd level of damage is permissible [6], [17] for the painted surfaces (BAP).

After the permissible levels of damage on cultural heritage structures have been specified in this way, it is necessary to determine the level of seismic resistance of ICPBS as well as the level of seismic hazard it is exposed to on a given location.

In order to reliably determine the level of seismic resistance of ICPBS being considered, it is recommended to implement a non-linear static analysis of gradual increasing lateral load (pushover analysis). This numerical analysis employs the finite element method.

With adequately collected data about the structural characteristics of ICPBS itself and characteristics of material it is made of, it is possible to obtain quantitative amounts of deformations on the structure at the given gradually increasing lateral load (pushover analysis). The obtained horizontal deformation is expressed by the amount of horizontal displacement at the top of ICPBS. The pushover analysis facilitates accurate determination of the preset levels of permissible damage on ICPBS according to the horizontal displacement of the top of ICPBS. Therefore, this analysis is implemented on all the factors of the specified individual categories referring to ICPBS, preserving life of employees and visitors in the building, and to the architectonic and artistic factors with and without the painted surfaces. It completes the pushover curve, i.e. the curve of seismic resistance with new characteristics regarding vulnerability of examined ICPBS.

For the same ICPBS, the elastic response spectrum is also determined and provided in acceleration-displacement format (ADRS). In the process, the ground acceleration is assumed as a maximum value for the appropriate return period obtained on the bases of PSHA or DSHA for the given location.

It is possible to determine what damage is expected on the given ICPBS by analyzing the obtained pushover curve which represents the ICPBS seismic resistance curve with clearly identifiable areas where various levels of damage of the specified individual factors are expected, and by analyzing the spectral curve which represents seismic load on a location, figure 1.

The pushover analysis also facilitates analytical investigation of the impacts of subsequent interventions on ICPBS in order to obtain an ICPBS with the increased seismic resistance in comparison with its previous condition.

For reasons of the overall importance of ICPBS, and also in order to maintain them during a long time period within the existing seismic hazard, it is necessary to increase the level of their seismic resistance above the regular BS level. In this sense the seismic resistance ICBPS should be calculated to the effect of the strongest earthquake with a return period that is longer than the return period laid down by national code for ordinary BS, which belonged to a given ICBPS without an BS.

The length of return periods for ICBPS depends on the cultural-historical categories they belong to, i.e. to the permissible level of damage of their factors. Further in the text, for the purpose of easy access to the reference, the matrices of BS and ICPBS categories are displayed in the range of return periods of the strongest expected earthquakes which are expressed through the

perioda od Osnovnog operativnog do Maksimalnog projektnog zemljotresa, od 60% do 10% i manje verovatnoće neprevazilaženja, respektivno, tabele 7, 8 i 9.

various non-exceedance probabilities for the 50-year service period of structures. The damage types for certain categories of BS and ICPBS are given in the span of return periods from the Basic operative to the Maximum design earthquake, between 60% and 10% and the lower probability of non-exceedance, respectively, tables 7, 8 and 9.

Slika 1. Pozicija faktora koji se odnose na oslikane zidne površine (BAP) i zaštitu ljudskih života (BU) na pušover krivoj pre i posle ojačavanja NKDVG, sa zadatim nivoima oštećenja, 2 i 3, respektivno. Na slici su prikazane spektralne krive seizmičkog opterećenja za povratne periode Tr_1 i Tr_2

Figure 1. Position of the factors relating to the painted wall surfaces (BAP) and human life protection (BU) on the pushover curve prior and after strengthening of ICPBS, with the preset damage levels, 2 and 3, respectively. The figure presents spectral curves of seismic load for the return periods Tr_1 and Tr_2

Prema Zakonu br. 21/88, [4], [11] (za GOV) Osnovni operativni zemljotres nije jasno izdvojen dok maksimalnom projektnom zemljotresu odgovara najjači zemljotres koji se dešava jedanput u Zakonom br. 21/88, predviđenom povratnom periodu za dati tip objekata. U radu su izdvojeni Osnovni operativni i Maksimalni projektni zemljotresi budući da su dosta ušli u praksu u monogim nacionalnim kodovima. Osnovni operativni zemljotres dovodi do oštećenja objekata koja odgovaraju štetama tipa 1. Dok se od Maksimalnog projektnog zemljotresa na objektima očekuju oštećenja tipa 3.

Na osnovu kategorizacije NKDVG prema navedenim matricama utvrđuje se nivo zahtevane seizmootpornosti za dato NKDVG i shodno tome rade se već pomenute analize kako bi se preduzele adekvatne mere za ojačanja i zaštite samog objekta.

Na osnovu gornjih matrica gde su predstavljeni povratni periodi za objekte visokogradnje i matrica za NKDVG mogu se dobiti vrednosti koeficijenta game, a time i vrednosti za pojedine istorijske objekte što se može koristiti u ojačanju.

According to the Law no. 21/88, [4], [11] (for BS) the Basic operative earthquake is unclearly distinguished, while Maximum design earthquake corresponds to the strongest earthquake occurring once in the return period proscribed by the Law no. 21/88 for the given type of the structures. In the paper, the Basic operative and Maximum design earthquakes are clearly distinguished, since they became a part of the practice of many national codes. Basic operative earthquake causes structural damage corresponding to type 1 damage, while the maximum design earthquake is expected to cause type 3 damage on the structures.

Based on the categorization of ICPBS according to the mentioned matrices, the level of required seismic resistance for the given ICPBS is determined, and on that basis the mentioned analyses are performed in order to undertake adequate measures for strengthening and protection of the structure itself.

The values of the range coefficients can be obtained on the basis of the abovementioned matrices where the return periods for building structures and matrix for ICPBS are presented along with the values for individual historical structures which can be used in strengthening.

Tabela 7. Kategorije građevinskih objekata visokogradnje
Table 7. Categories of Building Structures

Povratni period, frekvencija <i>Return period, frequency</i>	Tip oštećenja / <i>Type of damage</i>			
	1	2	3	4
50				
60% u 50 god. <i>60% in 50 years</i>				
100			G-4	
40% u 50 god. <i>40% in 50 years</i>		G-2,3		
200	I-1 G-V,1			
20% u 50 god. <i>20% in 50 years</i>				
500				
10% u 50 god. <i>10% in 50 years</i>				
1000				
5% u 50 god. <i>5% in 50 years</i>				

- I-1 Inženjerski objekti I kategorije Ovde je I-1= G-V,1
Engineering structures of I category Here I-1= G-V,1
- G-V,1 Građevinski objekti visokogradnje van kategorije i I kategorije
Engineering Building Structures out of category and I category
- G-2,3 Građevinski objekti visokogradnje II i III kategorije
Engineering Building Structures of II and III category
- G-4 Građevinski objekti visokogradnje IV kategorije
Engineering Building Structures of IV category

Tabela 8. Kategorija NKDVG bez oslikanih zidnih površina
Table 8. Category of ICPBS without painted wall surfaces

Povratni period zemljotresa <i>Return period of earthquake</i>	Tip oštećenja / <i>Type of damage</i>			
	1	2	3	4
100				
40% u 50 god. <i>40% in 50 years</i>				
200				
20% u 50 god. <i>20% in 50 years</i>		IG-B		
500		IG-A		
10% u 50 god. <i>10% in 50 years</i>	IG-AA			
1000				
5% u 50 god. <i>5% in 50 years</i>				

- IG-AA Kategorija NKDVG od izuzetnog kulturnog značaja pod zaštitom UNESCO-a
Category of ICPBS of outstanding cultural importance listed by UNESCO

- IG-A Kategorija NKDVG od izuzetnog kulturnog značaja
Category of ICPBS of outstanding cultural importance
- IG-B Kategorija NKDVG od velikog kulturnog značaja
Category of ICPBS of high cultural importance

Tabela 9. Kategorija NKDVG sa oslikanim zidnim površinama
Table 9. Category of ICPBS with painted wall surfaces

Povratni period zemljotresa <i>Return period of earthquake</i>	Tip oštećenja / <i>Type of damage</i>			
	1	2	3	4
100				
40% u 50 god. <i>40% in 50 years</i>				
200		IGO-B		
20% u 50 god. <i>20% in 50 years</i>				
500	IGO-A			
10% u 50 god. <i>10% in 50 years</i>				
1000	IGO-AA			
5% u 50 god. <i>5% in 50 years</i>				

- IGO-AA Kategorija NKDVG od izuzetnog kulturnog značaja sa oslikanim površinama pod zaštitom UNESCO-a
Category of ICPBS with painted walls surfaces of outstanding cultural importance listed by UNESCO
- IGO-A Kategorija NKDVG od izuzetnog kulturnog značaja sa oslikanim površinama
Category of ICPBS with painted walls surfaces of outstanding cultural importance
- IGO-B Kategorija NKDVG od velikog kulturnog značaja sa oslikanim površinama
Category of ICPBS with painted walls surfaces of high cultural importance

3 METODOLOŠKI PRAVCI SMANJENJA SEIZMIČKOG DEJSTVA NA NKDVG

Najčešći oblik smanjenja štetnog seizmičkog dejstva na GOV koje se ujedno može primeniti na NKDVG postiže se ojačavanjem njegovih strukturnih elemenata primenom seizmičkih sidrara i veza, ramova za učvršćivanje, horizontalnih strukturnih elemenata, ramova za otporne momente, itd. Pritom treba voditi računa da se ne naruši istorijski izgled i vrednost NKDV koje se obezbeđuje [1].

Pored klasičnih metoda primenjuje se seizmička izolacija baze sa ciljem da objekat i podloga više ne budu u klasičnoj čvrstoj vezi gde se seizmička energija iz podloge potpuno prenosi na objekat. Ovo se postiže izgradnjom gornje konstrukcije koja nosi objekat i donje konstrukcije koja je fundirana u tlu. Zona razdvajanja ovih konstrukcija predstavlja najznačajnije područje za implementaciju novih tehničkih i tehnoloških inovacija u

3 METHODOLOGY OF REDUCTION OF SEISMIC EFFECTS ON ICPBS

The most frequent form of reduction of negative seismic effects on BS which can be applied on ICPBS is strengthening of their structural elements by implementing anchored ties, braced frames, bond beams, moment-resisting frames, etc. During the process, the care has been taken to preserve the appearance and value of ICP being protected [1].

In addition to the classical methods, seismic isolation of the base for BS is used with a goal to replace traditional rigid connection between the upper section of buildings and their base. This is achieved by constructing the superstructure supporting the building and lower structure which is founded in the ground. The separation zone between these structures represents the most important zone for implementation of new technical and technological innovations with the aim of reduction of

cilju smanjenja seizmičkog dejstva na objekat. Na slici 2. dat je primer dve vrste laminiranih jakih ležajeva iz zone razdvajanja koji su primenjeni na Apple Towers Sendai (Japan), slika 3, [2]. Prvi od njih slika 1a, napravljen je od naizmeničnih slojeva gume i čeličnih ploča. Pomeranjem levo i desno sistem izoluje zgradu od podrhtavanja koji dolaze iz tla. Sa intenziviranjem podrhtavanja tla, aktivira se klizni seizmički izolator 1b, koji je izgrađen od laminirane gume. Mehanizam klizanja ovog izolatora postiže se uz dodavanje smole koja omogućava fino klizanje preko ležaja što dovodi do apsorpcije jakog podrhtavanja.

a)

b)

Slika 2. laminirani jaki ležajevi (a) i klizni seizmički izolator (b) su ključni strukturni elementi za konstrukciju koja dovodi do seizmičke izolacije (foto: APA Group)

Figure 2. The laminated rubber bearing (a) and sliding seismic isolator (b) are key structural elements for construction which provides seismic isolation (Photo: APA Group)

Slika 3. Šematski prikaz Apple Towers Sendai sa seizmičkom izolacionom konstrukcijom koja se ljuđa polako i umereno dok se zgrada bez izolacione konstrukcije ljuđa brzo i intenzivno. Crne tačke predstavljaju mesta sa pojavom oštećenja

Figure 3. Schematic presentation of Apple Towers Sendai with seismic isolation construction sways slowly and moderately while building without it sways fast and intensely. Black points represent spots with failure occurrence

Ovaj tip seizmičke izolacije generalno smanjuje ljuenje objekta pogotovu njegovih viših delova, smanjuje rizik od prevrtanja stvari u objektu i može se smatrati za pogodan način seizmičke izolacije kod NKDVG.

4 ZAKLJUČAK

Dosadašnji zakonski normativi koji se kod nas koriste, a odnose se na OVG u seizmičkim područjima ne pokrivaju NKDVG kao posebnu građevinsku kategoriju sa svojim zahtevima zaštite od štetnog dejstva zemljotresa.

Krucijalni zahtev da ne sme da dođe do rušenja OVG tokom najjačeg zemljotresa već najviše do oštećenja njihovih nosivih konstrukcija, koji je implementiran u Pravilnike o aseizmičkoj gradnji GOV, njihovoj sanaciji i dogradnji u seizmičkim oblastima, nije primenljiv na NKDVG. Zapravo, kod NKDVG zbog svog kulturnog značaja moraju se tolerisati znatno manja oštećenja od onih koja se odnose na obične OVG.

Potreba očuvanja NKDVG od oštećenja usled seizmičkih dejstava stvorila je potrebu za kategorizacijom NKDVG u posebne građevinske kategorije što bi omogućilo njihovo adekvatno ojačanje, sanaciju i rekonstrukciju u seizmičkim područjima, a to su:

IG-AA Kategorija NKDVG od izuzetnog kulturnog značaja pod zaštitom UNESCO-a;

IG-A Kategorija NKDVG od izuzetnog kulturnog značaja;

IG-B Kategorija NKDVG od velikog kulturnog značaja.

Ovde su posebno kategorisana NKDVG koja sadrže oslikane površine i dati su u tabeli 9. To je urađeno iz razloga što maksimalna oštećenja pri kojima oslikane površine zadržavaju svoju autentičnost ne prevazilaze štete tipa 2. Kod tipa oštećenja većeg od 2 dolazi do uništavanje većeg dela oslikane površine, tako da oslikano delo gubi svoju autentičnost i kulturno istorijsku vrednost i u slučaju uspešne urađene restauracije. Izdvojene su sledeće kategorije NKDVG sa oslikanim zidnim površinama.

IGO-AA Kategorija NKDVG od izuzetnog kulturnog značaja sa oslikanim površinama pod zaštitom UNESCO-a;

IGO-A Kategorija NKDVG od izuzetnog kulturnog značaja sa oslikanim površinama;

IGO-B Kategorija NKDVG od velikog kulturnog značaja sa oslikanim površinama.

Kod ostalih faktora: zaštite ljudskih života (BU); zaštite samog NKDVG sa aspekta arhitektonske vrednosti (BAch) i mogućnosti njegove konzervacije kao i umetničkih elemenata na NKDVG bez oslikanih (BA) površina. dozvoljava se 3 nivo oštećenja prilikom dejstva najjačeg zemljotresa za izabrani povratni period.

Ove kategorije mogu da budu u okviru novog Pravilnika za ojačanje, sanaciju i rekonstrukciju NKDVG u seizmičkim područjima, ili kao izdvojene kategorije da budu pridodate postojećem Pravilniku br.52/85 [10] koje se odnose na NKDVG.

Nakon uvođenja obaveze o zaštiti od dejstva zemljotresa na NKDVG, potrebno je prilikom sprovođenja konkretnih aktivnosti obratiti pažnju na sledeće pojedinosti: da se utvrdi obim zahvata koji bi se u praksi sproveo; da broj zahvaćenih NKDVG odgovara realnim moguć-

This type of seismic isolation in general reduces the swaying of the building, especially of its upper section, reduces the risk of objects in toppling over, and it can be considered as favourable method of seismic isolation for ICPBS

4 CONCLUSION

The standing legal standards used in our country and referring to BS in seismic areas fails to cover ICPBS as a separate building category with its requirements of protection from the negative earthquake effects.

No collapse requirement, which is a crucial requirement implemented in the Codes on aseismic building of BS, their remediation and extension on seismic areas, comprises that during the most intensive earthquakes – they sustain structural damage but will not collapse. It is inapplicable to ICPBS. Actually, only significantly small damage referring to the common BS can be tolerated for ICPBS due to their cultural importance.

The necessity of preserving ICPBS and protecting from damage caused by seismic effects created the need to introduce the new categorization of ICPBS into special construction categories, which would facilitate their adequate strengthening, remediation and reconstruction in seismic areas and they are:

IG-AA Category of ICPBS of outstanding cultural importance listed by UNESCO

IG-A Category of ICPBS of outstanding cultural importance

IG-B Category of ICPBS of high cultural importance.

Here the ICPBS which contain painted wall surfaces are separately categorized and presented in table 9. It was done because the maximum damage at which the painted surfaces retain their authenticity do not exceed type 2 damage. At a damage higher than type 2, a larger part of painted surface is destroyed, whereby the painted work of art loses its authenticity and cultural-historical value, even when it undergoes a successful restoration. The following categories of ICPBS with painted wall surfaces are singled out:

IGO-AA Category of ICPBS with painted walls surfaces of outstanding cultural importance listed by UNESCO

IGO-A Category of ICPBS with painted walls surfaces of outstanding cultural importance

IGO-B Category of ICPBS with painted walls surfaces of high cultural importance.

The 3rd level of damage after the action of the strongest expected earthquake in the chosen return period is permitted in the case of other factors: protection of human lives (BU); protection of ICPBS itself, from the aspect of its architectural value (BAch) and potential of its conservations, as well as artistic elements on ICPBS without painted surfaces (BA).

These categories should be contained within a new Code for strengthening, rehabilitation and reconstruction of ICPBS in seismic areas, or as separate categories added to the existing Code no.52/85 [10] which refers to ICPBS.

After introducing obligation of protecting ICPBS from the earthquake effects, on the occasion of performing the concrete activities, it is necessary to pay attention to the following details: the extent of the intervention which

nostima društva, kako finansijskim tako i stručnim; da se propiše procedura za verifikaciju prikupljenih podataka i zahteva koji se odnose NKDVG, procedure moraju da budu jasno definisane i obavezujuće; utvrđivanje seizmičkog hazarda na lokaciji na kojoj se nalazi NKDVG.

Napomena: Faktore su uveli autori pošto omogućavaju da se u okviru samog NKDVG izdvoje više i manje značajni činioci koji čine kulturno dobro i kao takvi da budu prepoznati i da dobiju odgovarajuću zaštitu.

is performed in practice should be determined; the number of included ICPBS should correspond to the actual financial and professional capacity of the society; the procedure for verification of the collected data and requirements relating to ICPBS should be developed, clearly defined and obligatory; the seismic hazard on the location where the ICPBS is situated should be defined.

5 LITERATURA REFERENCE

- [1] Damjanović, T., (2005) Sanacija i seizmičko ojačanje istorijskih objekata, Građevinski materijali i konstrukcije, vol. 48, br. 3, pp. 3-16.
- [2] Japanese earthquake resistance and seismic isolation technologies (2014), (http://www.unep.org/web-japan.org/trends/11_sci-tech/sci110728.html)
- [3] Jorgić, M., Šupić, V., Kuk, V., Hađžijevski, D., Pekeviski, L., Ribarić, V., Vukašinović, M. (1987) Socijalistička Federativna Republika Jugoslavija – Seizmološka karta, Jugoslovenska zajednica za seizmologiju, Beograd.
- [4] Kosorić, S., (1995) Zbirka Jugoslovenskih pravilnika i standarda za građevinske konstrukcije, Dejstva na konstrukcije – Knjiga 1, Građevinski fakultet, Beogradski Univerzitet, Beograd.
- [5] Kuzović, D., Stojnić, D. (2015) Reduction of seismic risk for immovable cultural property, Facta universitatis - series Architecture and Civil Engineering, vol.13, iss. 2, pp. 181–194.
- [6] Lagomarsino, S.(2014) PERPETUATE project: guidelines for the seismic performance-based assessment of cultural heritage assets, (www.iase.org/library2014/santorini/bypaper/MECHANICS/MECHANICS-24.pdf)
- [7] Rodwell, D. (2007) Conservation and Sustainability in Historic Cities, Oxford
- [8] Schott, C., Schwartz, J. (2004) Reliability of Eurocode 8 spectra and the problems of their application to central European earthquake regions: 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B. C., Canada, Paper No 3403.
- [9] Sikošek, B., (1982) Seizmotektonske karakteristike Srbije, X Kongres geologa Jugoslavije, Budva.
- [10] Službeni list SFRJ br. 52/85. (1985) Pravilniku o tehničkim normativima za sanaciju, ojačanje i rekonstrukciju objekata visokogradnje oštećenih zemljotresom i za rekonstrukciju i revitalizaciju objekata visokogradnje, Beograd.
- [11] Službeni list SFRJ br. 21/88 (1988) Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima, Beograd.
- [12] Službeni list SFRJ br. 52/90 (1990) Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima, Beograd.
- [13] Službeni glasnik RS br.71/94 (1994) Zakon o kulturnim dobrima, Beograd.
- [14] Smirnov, V., Eisenberg, J., Vasil'eva, A., (2004) Seismic isolation of buildings and historical monuments. Recent developments in Russia: 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B. C., Canada, Paper No 966.
- [15] The European Macroseismic Scale (EMS-98), Guidelines and background material, (http://www.gfz-potsdam.de/pb1/pg2/ems_new/core/emsa_cor.htm.)
- [16] Valente, M. Milani, M. (2016) Non-linear dynamic and static analyses on eight historical masonry towers in the North-East of Italy, Engineering Structures vol.114, pp. 241–270.

REZIME

PREDLOG SMANJENJA DOZVOLJENOG SEIZMIČKOG OŠTEĆENJA NA NEPOKRETNIM KULTURNIM DOBRIMA VISOKOGRADNJE

Nedeljko STOJNIĆ
Duško KUZOVIĆ

Sve intervencije koje se odnose na sanaciju, ojačanje i rekonstrukciju građevinskih objekata visokogradnje (GOV) u seizmičkim oblastima, kojima pripadaju nepokretna kulturna dobra visokogradnje (NKDVG), se izvode u skladu sa (Pravilnikom br. 52/85), [10].

Ovaj pravilnik dozvoljava konstruktivna oštećenja objekta, ali bez kolapsa prilikom najjačeg zemljotresa. Međutim, ovaj uslov nije prihvatljiv za NKDVG koja imaju status izuzetnog i velikog kulturnog značaja prema Zakonu o kulturnim dobrima, (ZKD br.71/94), [13]. Zbog svoje posebne vrednosti i značaja za kulturnu baštinu NKDVG treba da prežive najjači zemljotres sa znatno redukovanim oštećenjima u odnosu na obične GOV.

Zbog toga je, u radu, predloženo da se NKDVG podele u tri kategorije: 1) NKDVG od izuzetnog kulturnog značaja pod zaštitom UNESCO-a 2) NKDVG od izuzetnog kulturnog značaja i 3) NKDVG od velikog kulturnog značaja. Za sve kategorije utvrđeni su faktori u odnosu na koje se određuje vrednost NKDVG, i prema tome nivo dozvoljenog oštećenja kome može da bude izložen, kao i potencijalnu ugroženost života građana u NKDVG, što može da bude osnova novog "Pravilnika za ojačanje i sanaciju NKDVG u seizmičkim područjima", ili da bude pridodato postojećem Pravilniku br. 52/85, [10].

Ključne reči: Aseizmička regulativa, kulturna baština, dozvoljeno seizmičko oštećenje

SUMMARY

PROPOSAL OF REDUCING PERMITTED SEISMIC DAMAGES ON IMMOVABLE CULTURAL PROPERTIES (BUILDING STRUCTURES)

Nedeljko STOJNIC
Dusko KUZOVIC

All interventions pertaining to remediation, strengthening and reconstruction of building structures (BS) in seismic areas, to which belong the immovable cultural property (ICP) buildings which are ranked as building structures (ICPBS), are constructed according to the (Code no. 52/85), [10]. This code permits structural damage of buildings without collapse in the event of the strongest earthquakes. However, this condition is unacceptable for ICPBS which have a status of high and outstandingly high importance according to the Law on Cultural property (LCP no. 71/94) [13]. Because of their special value and importance for cultural heritage ICPBS should not only survive the most intensive earthquakes, but their damage should be considerably reduced in comparison with ordinary BS. Therefore the paper proposes to divide ICPBS into three categories: ICPBS outstandingly high importance listed by UNESCO 2) ICPBS of outstanding cultural importance and 3) ICPBS of high cultural importance. For all categories, the factors for determination of ICPBS value are introduced, and therefore is determined the level of permissible damage they can be exposed to and potential risk of the loss of life in ICPBS which can be a basis for a new "Code for strengthening and remediation of ICPBS in seismic areas", or can be appended to the existing Code no 52/85, [10].

Key words: Aseismic regulations, cultural heritage, permissible seismic damage