

MUZEJI I POTRESI: UBLAŽAVANJE ŠTETE I GUBITAKA OD POTRESA

MR. ART. JERRY PODANY

jerrypodany@gmail.com

UVOD

Naše današnje razumijevanje potresa potječe iz velikog broja geofizičkih istraživanja i empirijskih promatranja. Utvrđivanje reakcija mjesta i građevina na iznenadno pucanje geoloških rasjeda dovelo je do velikog napretka u području seizmičkog inženjerstva. Pokretačke sile ovog napretka u prvom su redu bile briga za životnu sigurnost, financijski gubitci i nužna otpornost usluga kao što su bolnice i osnovne komunalne i sigurnosne službe koje moraju funkcionirati unatoč razornim učincima potresa.

Manji dio istraživanja (iako u porastu) usredotočio se na reakciju nestrukturnih elemenata i sadržaja na pomicanje tla i reakciju građevine.¹

Nestrukturni elementi općenito se opisuju kao one sastavnice koje nisu dio strukturne cjelovitosti zgrade (na primjer pročelja, arhitektonski elementi, nestrukturni zidovi, spuštene stropovi, vodovodni sustavi, HVAC sustavi, strojevi i druga samostojeća oprema, kao i sadržaj zgrade). U većini slučajeva smanjenje štete na takvim nestrukturnim elementima ekonomski je važno pitanje, iako pitanja životne sigurnosti i nastavak rada osnovnih službi također imaju ulogu.

Još manji i, nažalost, nedostatan skup istraživanja bavio se učincima snažnog

pomicanja tla na zbirke kulturne baštine u muzejima, uključujući muzeje likovne umjetnosti, antropološke zbirke, zbirke znanosti i tehnologije, povijesne muzeje, arhive i čuvaonice.² Za potrebe ovog rada takve se zbirke mogu smatrati „sadržajem“.

Ovaj nedostatak informacija i spor razvoj rješenja za ublažavanje posljedica povezanih s baštinskim zbirkama i dalje postoji, unatoč (i novčanoj i kulturnoj) vrijednosti tih fondova i, u nekim slučajevima, unatoč jasnoj mogućnosti da dijelovi tih zbirki ugroze životnu sigurnost tijekom seizmičkih događaja (na primjer prijetnje od prevrtanja monumentalne skulpture, rušenja arhivskih ili knjižničnih „snopova“, mogućeg pada predmeta postavljenih na zid ili strop ili izlivanja kemikalija u prirodoslovnim/znanstvenim muzejima). Zbirke kulturne baštine obično nisu bile uključene u studije ublažavanja posljedica potresa, za razliku od povijesnih građevina, iako u relativno ograničenoj mjeri. Povijesne građevine privukle su pozornost jer se izravno odnose na glavno središte zanimanja većine studija seizmičkog inženjerstva i relativno su jedinstveni inženjerski i arhitektonski izazovi.

Moglo bi se također reći da, kada dođe do oštećenja povijesnih građevina, ona su očitija nego oštećenja na zbirkama. Oštećenja na zbirkama često se ne pripisavaju i u svakom su slučaju manje dostupna i vidljiva široj javnosti.

Iako se proučavanje reakcija zbirki na sile izazvane potresom izravno odnosi na istraživanje nestrukturnih elemenata, kao što su bolnička ili računalna oprema, umjetnička djela i povijesni artefakti predstavljaju znatno veće izazove za napore ublažavanja posljedica potresa zbog svoje relativno male mase, krhkosti,

nepoznatih materijalnih značajki i složene povijesti. Ovi nepoznati čimbenici brzo se umnažaju i posljedica im je velik broj sustavnih nesigurnosti. Više dokumentacije o oštećenjima zbirki u potresima i široka distribucija te dokumentacije uvelike bi nam pomogli bolje razumjeti kako su i zašto predmeti oštećeni ili uništeni.

Osim toga, ublažavanje posljedica potresa u zbirka uređeno je nizom etičkih načela očuvanja i estetskih razmatranja koja ne moraju nužno biti važna u industrijskim i komercijalnim situacijama. Suvremene smjernice očuvanja baštine, koje odražavaju brigu za autentičnost i želju za materijalnim očuvanjem, nalažu da, koliko god je to moguće, umjetničko djelo ili povijesni artefakt ostanu nepromijenjeni ublažavanjem posljedica, te da bilo kakva intervencija treba biti nenametljiva prema samom predmetu i posve reverzibilna. Iako se to ne može uvijek postići, tomu se uvijek teži. Estetika ima jednako važnu ulogu, posebice u muzejima. Napori ublažavanja posljedica ne smiju umanjiti vizualnu prezentaciju predmeta.

Predmeti kulturne baštine općenito su jedinstveni i veliki izazovi za inženjere, konzervatore-restauratore i stručnjake za izradu protupotresnih držača. Neizbježno dolazi do sukoba između smanjenja rizika i estetskog prikaza, koji se mora riješiti zbog dugotrajnog očuvanja, katkad i kompromisom.

Unatoč gore navedenim izazovima, još uvijek se mogu razviti i primijeniti osnovne zaštitne mjere, a ti napori često dovode do znatnog smanjenja štete i gubitaka zbog potresa.

Proces rješavanja ovih izazova i razvoja tehnika za zaštitu zbirki od oštećenja u potresu odvija se jasno utvrđenim redom:

- prepoznavanje i utvrđivanje rizika (analiza seizmičkog rizika)

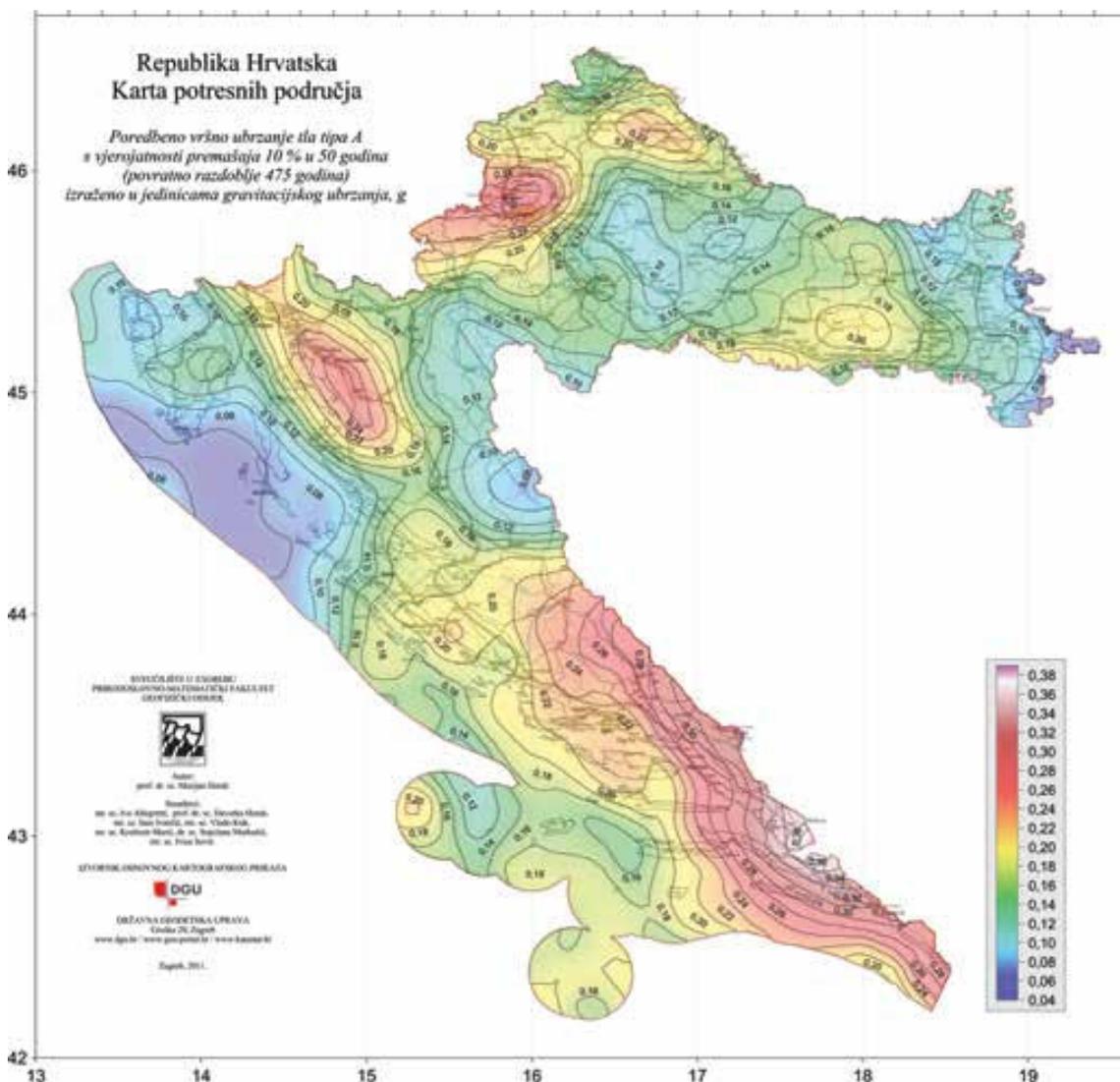
- procjena izgledne reakcije građevine u kojoj se nalazi zbirka na očekivano pomicanje tla
- općenito utvrđivanje reakcije predmeta, uzimajući u obzir raznolikost njihovih oblika, raspodjelu mase, značajke materijala, položaj u zgradi i uvjete izlaganja/pohrane
- određivanje stupnja prihvatljivog rizika za zbirku (procjena rizika)
- razvoj i opće testiranje metoda za upravljanje rizikom, smanjenje rizika i smanjenje štete
- provedba, redovit pregled i posuvremenjivanje tih metoda.

Ovi različiti koraci nužno zahtijevaju širi, višedisciplinski trud koji uključuje seizmologe, seizmičare, geologe, građevinske inženjere, stručnjake za izradu držača, tehničare i konzervatore-restauratore, kao i dizajnere i kustose, uz podršku ravnatelja, uprave, vladina ministarstva ili agencije kako bi se pronašli najbolji i najodrživiji načini zaštite zbirki. To nije lak zadatak jer različiti stručnjaci pristupaju poslu s različitim pozadinama, drukčijom razinom razumijevanja i raznolikim nizom briga. Moglo bi se čak reći da „govore različitim stručnim jezicima“. Baštinski stručnjaci (kustosi, dokumentaristi, konzervatori-restauratori, stručnjaci za izradu držača, voditelji zbirki itd.) vjerojatno nemaju pozadinu za lako i potpuno razumijevanje koncepta na kojima počiva komunikacija s inženjerima. Također nije vjerojatno ni da će inženjeri posve razumjeti pitanja i pristupe baštinskih stručnjaka u vezi s očuvanjem i izlaganjem zbirki. Često je zadatak konzervatora-restauratora ili stručnjaka zaduženog za zaštitu zbirke posredovanje između ovih dviju skupina.

ANALIZA RIZIKA

Prvi je korak u zaštiti zbirke od seizmičkih oštećenja što iscrpnije odrediti *seizmički rizik* za određeno mjesto. Potresi se ne mogu točno i konkretno predvidjeti, osim što se može ustvrditi da će se oni neizbježno dogoditi na umjereno do visoko seizmički aktivnim područjima, kao što su dijelovi Hrvatske³ prikazani na karti seizmičkog rizika (sl. 1).

Seizmolozi se stoga koriste statističkim metodama određivanja vjerojatnosti potresa (različite jakosti) tijekom određenog razdoblja (*povratnog razdoblja*). Razdoblje može biti 72, 150, 225, 475, 975, 2475 i 5000 godina. Što je veća briga za smanjenje rizika (kao u slučaju nuklearnih objekata, brana ili bolnica), to se uzima u obzir duže povratno razdoblje, jer kada se procjenjuje pojava potresa tijekom dužih

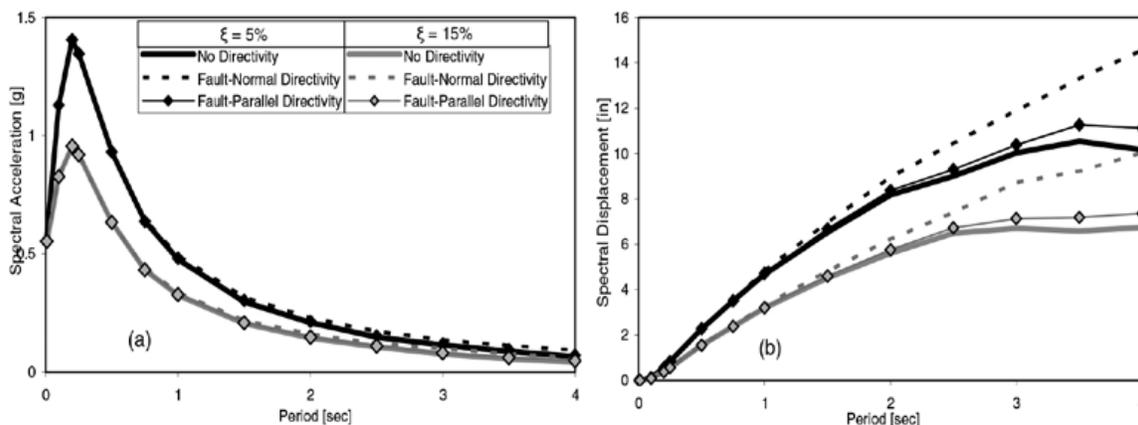


Slika 1. Karta seizmičkog rizika Hrvatske (Nacionalni dodatak Eurokodu 8). Crvena su područja najvećeg rizika. Izvor: Marijan Herak i sur., Republika Hrvatska: Karta potresnih područja (Zagreb: Geofizički odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, 2011), <http://seizkarta.gfz.hr/hazmap/karta.php> (pristupljeno 30. studenoga 2021.).

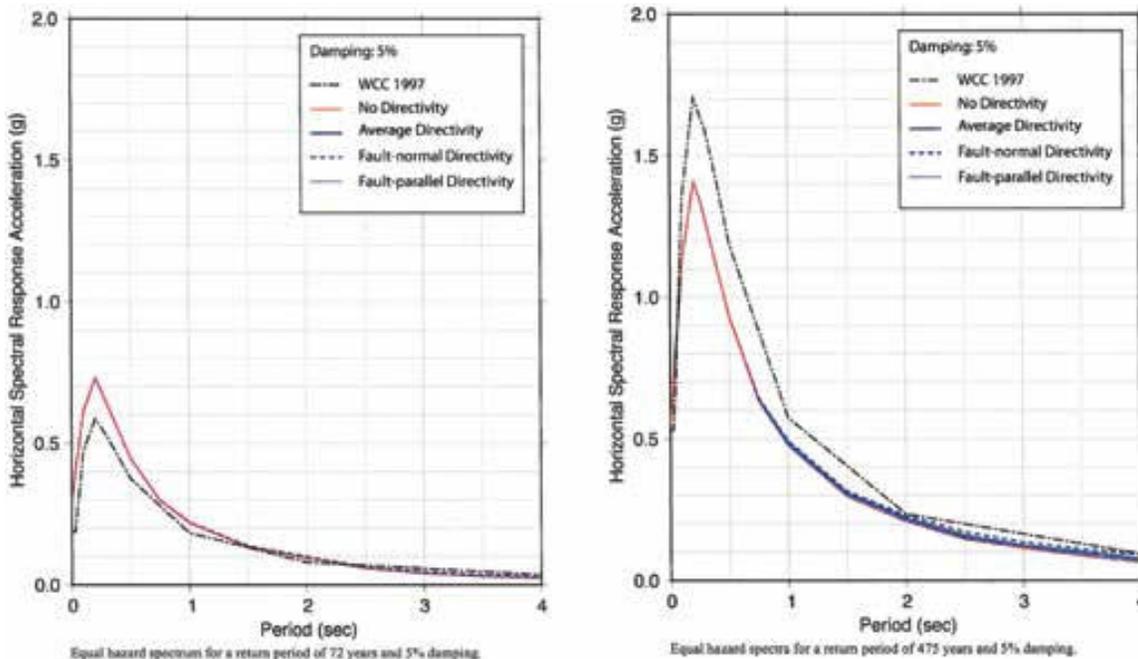
razdoblja, vjerojatnost se većih i važnijih potresa povećava.

Uključivanjem povijesnih podataka, geoseizmičkih i geoloških informacija o određenome mjestu, kao i broja rasjeda, njihove sklonosti pucanju (povijesne „aktivnosti“) i udaljenosti bilo kojega od tih velikih rasjeda od promatranog mjesta, može se razviti vjerojatnosna procjena opasnosti od potresa za to mjesto.

Iz toga se može razviti procjena jakog pomicanja tla na tome mjestu. Vršno ubrzanje tla, brzina i pomak mogu se statistički procijeniti, kao i početni periodi podrhtavanja tla do određenog stupnja, za niz povratnih razdoblja. Ove informacije obično se prikazuju spektralnim dijagramima kao na slikama 2 i 3.



Slika 2. Spektri odgovora na potres prikazuju vršno ubrzanje i pomak za raspon frekvencija ili perioda titranja. Najveća se ubrzanja događaju u rasponu perioda od 0,3 do 0,5 sekundi. Stoga se najveći pomaci događaju u dužem rasponu perioda od tri do osam sekundi.



Slika 3. Usporedba vršnog ubrzanja za procijenjeni potres s povratnim razdobljem od 74 godine u odnosu na onaj s povratnim razdobljem od 475 godina

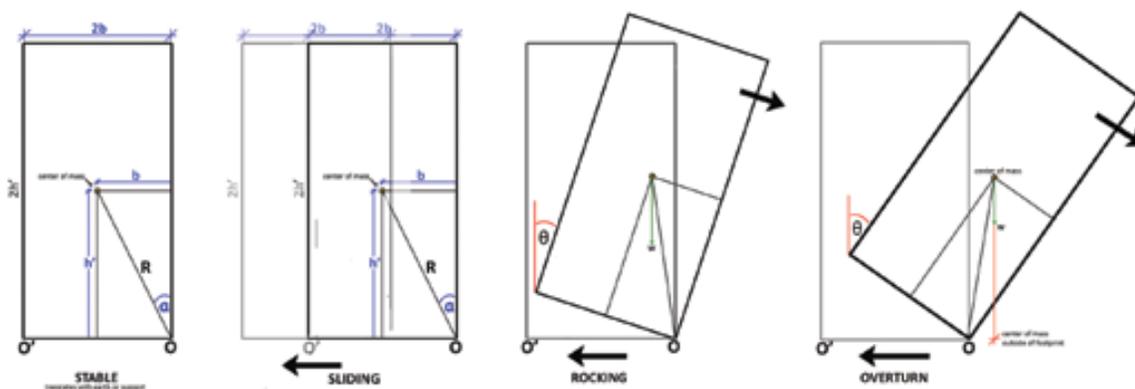
REAKCIJA GRAĐEVINE NA SEIZMIČKO PODRHTAVANJE TLA

Kao rezultat određivanja raspona statistički vjerojatnih potresa može se procijeniti i reakcija građevine u kojoj se nalazi zbirka. Detaljno opisivanje tog procesa izvan je opsega ovog rada, ali dovoljno je reći da je reakcija građevina relativno dobro shvaćena (i čini osnovu građevinskih propisa u većini zemalja). Građevina može, s obzirom na svoju strukturu, materijal, raspored i broj katova, ili pojačati (povećati) ili prigušiti (smanjiti) energiju podrhtavanja tla. Poznavanje načina na koji će zgrada reagirati ključno je za prilagođavanje pretpostavki o informacijama danim u spektralnom dijagramu rizika. Predmeti, uostalom, izravno reagiraju na kretanje zgrade.

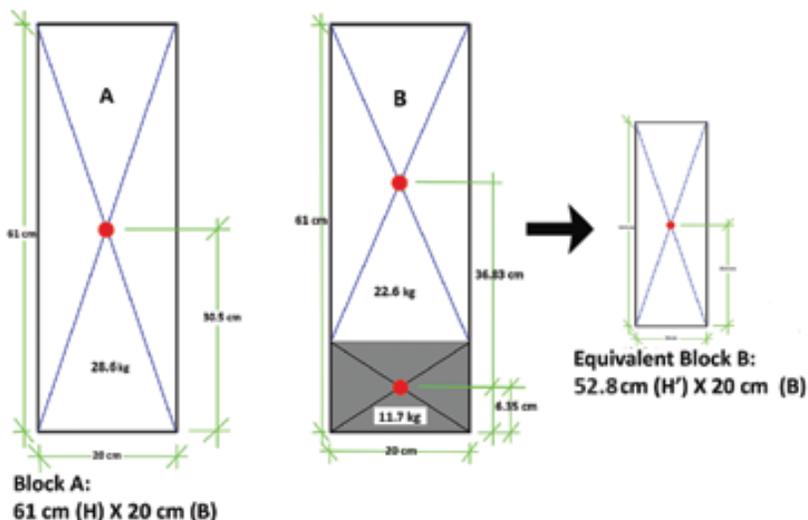
REAKCIJA PREDMETA

Kao što je već spomenuto, predmeti u zbirkama reagirat će na kretanje zgrade koje je uzrokovano podrhtavanjem tla tijekom potresa. Općenito se mogu odrediti četiri osnovna načina reagiranja predmeta za krute mase dosljedne gustoće kada se na središte mase predmeta primijeni statičko opterećenje kao što je prikazano na slici 4:

1. Stabilnost – upućuje na to da će se masa kretati s tlom/zgradom.
 2. Klizanje – događa se kada su sile koje djeluju na težište veće od inercije, a koeficijent trenja između donje strane predmeta i potpornog tla dovoljno je nizak da omogući horizontalno kretanje koje će biti drukčije od (klizanja) tla.
 3. Ljuljanje – kada su sile koje djeluju na središte mase predmeta veće od omjera podnožja i visine bloka istovrijednog predmetu, a koeficijent trenja dovoljno je visok da se odupre klizanju.
 4. Prevrtanje – kada su uvjeti za ljuljanje prekoračeni.
 5. Spoj drugoga, trećeg i četvrtog načina.
- Za svrstavanje nekog predmeta ili sklopa predmeta i namještaja u neku od ove četiri kategorije ili njihove kombinacije primjenjuje se višekomponentni pristup za izračunavanje *istovrijednog bloka*. Na slikama 5a i 5b prikazan je izračun za dva jednostavna oblika s varijacijama u raspodjeli mase za svaki. Treba imati na umu da dodavanje težine na dio modela, dodavanjem gušćeg materijala, snižava središte mase. Središte mase teorijska je točka u kojoj su koncentrirane sve sile koje djeluju na masu (predmet). Što je niže središte mase, to je veća stabilnost predmeta. Isti učinak može se postići



Slika 4. Četiri moguće reakcije krute mase dosljedne gustoće (ne uključujući potpuno podizanje)



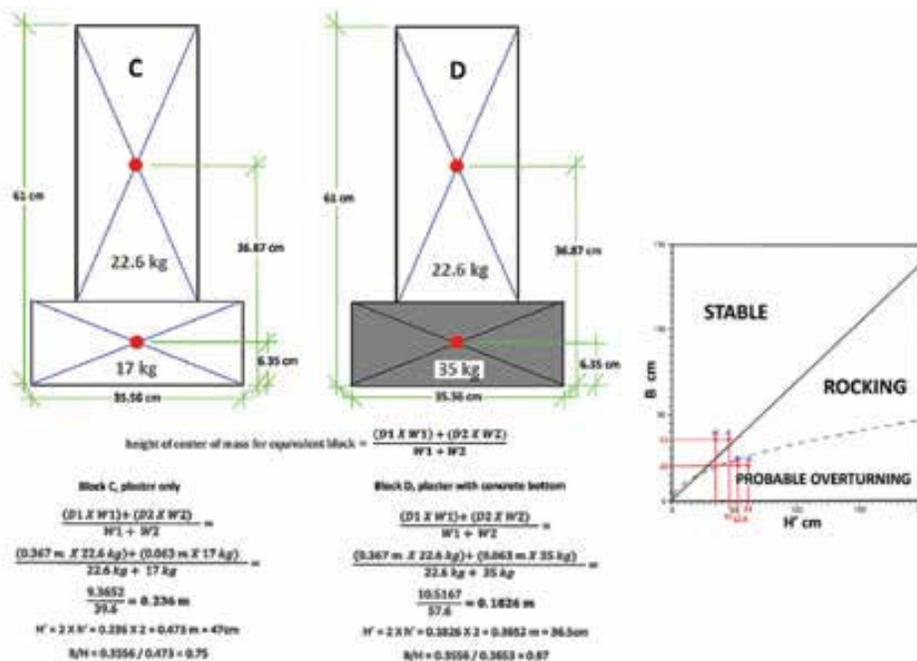
Calculation for BLOCK B "equivalent block"

$$\frac{(D1 \times W1) + (D2 \times W2)}{W1 + W2} =$$

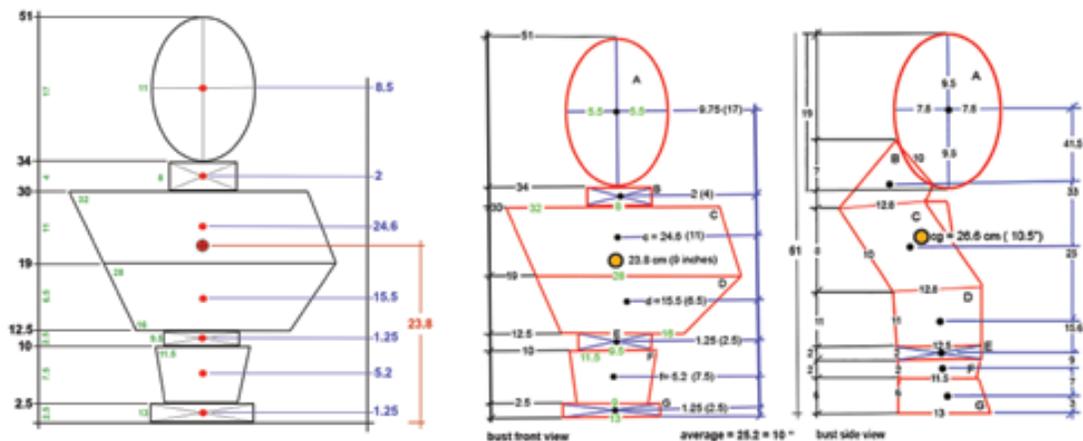
$$\frac{(36.83 \text{ cm} \times 22.6 \text{ kg}) + (6.35 \text{ cm} \times 11.7 \text{ kg})}{22.6 \text{ kg} + 11.7 \text{ kg}} =$$

$$\frac{906.653}{34.3} = 26.4 \text{ cm}$$

Slika 5a. Izračuni istovrijednog bloka za oblik stupa nakon dodavanja težine na dno stupa



Slika 5b. Primjer kako model stupa može biti stabilniji povećanjem i otiska podnožja i težine na C i D, dok je na slici 5a na A i B prikazano samo dodavanje težine.



Slika 6. Izračun središta mase za složeniji objekt. Mramorno poprsje svedeno je na šest sastavnih geometrijskih masa, nakon čega se izračunava ukupno središte mase.

proširenjem otiska podnožja kao što je prikazano na slici 5b.

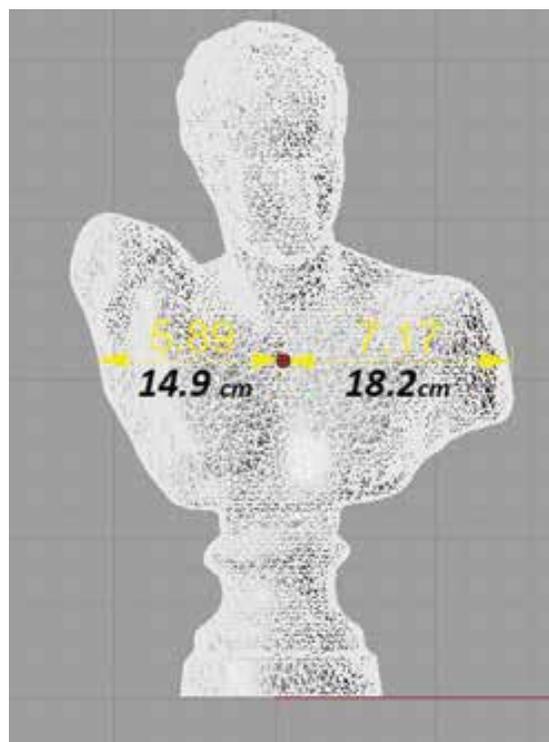
Prikazani primjeri upućuju na to da je povećanje otiska podnožja bilo kojeg predmeta učinkovitije od dodavanja težine.

Ovakvo rješenje može se primijeniti na složenije mase i skulpture. Skulptura (u ovom slučaju figurativno mramorno poprsje) najprije je podijeljena na geometrijske sastavnice kojima su određena pojedinačna središta mase (sl. 6). Potom se izračunava istovrijedni blok i utvrđuje stabilnost ili reakcija predmeta.

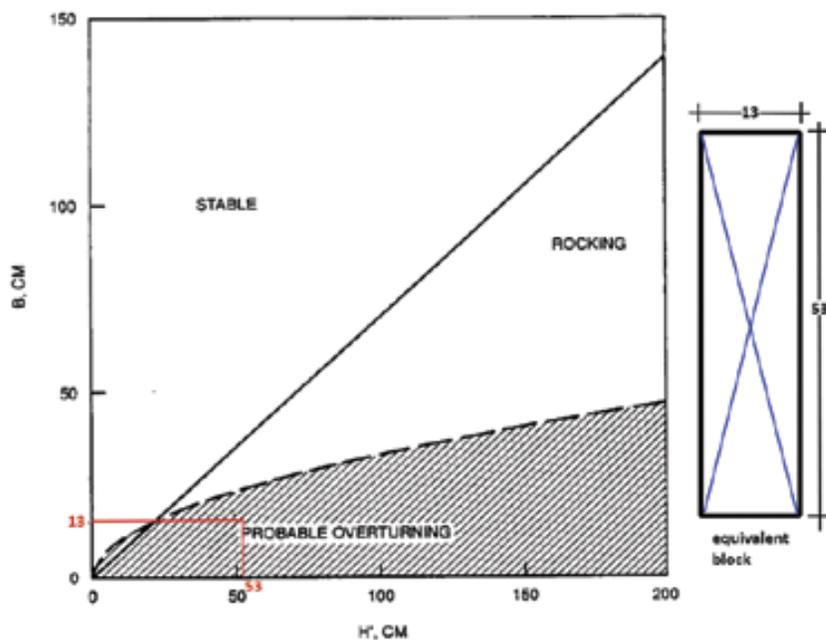
Upotreba digitalnih skenera postaje sve češća u muzejima za točnije modeliranje predmeta, za razliku od općenitih geometrijskih modela. Takvi modeli povećavaju točnost određivanja središta mase i omogućuju veću preciznost ako se modelom koristi za procjenu dijelova predmeta na kojima se naprezanja mogu pojaviti zbog potresnog opterećenja i ako, u nizu scenarija, ta naprezanja mogu premašiti pretpostavljenu materijalnu čvrstoću predmeta (sl. 7).

Druga važna značajka je omjer širine i visine predmeta, odnosno omjer dimenzija njegova podnožja i visine. Jasno je

da će visoki predmet s malim podnožjem biti nestabilniji od nižeg predmeta s mnogo širim podnožjem. Omjerom se može koristiti za svrstavanje predmeta u opće kategorije zasićenosti kada inženjer



Slika 7. Digitalna snimka istog predmeta sa slike 6. Ovdje se središte mase nalazi nešto više – na 26,7 cm (10,45 inča) umjesto na 23,8 cm – zbog veće točnosti raspodjele mase.



Slika 8. Dijagram stabilnosti za muzej Vila Getty koji pokazuje da bi se poprsje na slikama 6 i 7, koje ima omjer stranica 0,24 (13 cm / 53 cm), vjerojatno prevrnuo u slučaju najgora očekivanog potresa.

izrađuje dijagram stabilnosti, koristeći se informacijama kao što su vršno ubrzanje tla, vršna brzina i podatci o pomaku, kao što je prikazano na slici 8. Označivanjem dimenzija podnožja i visine može se procijeniti hoće li predmet biti stabilan, hoće li se ljuljati ili prevrnuti.

Treba napomenuti da su gore opisane opće metode procjene reakcije predmeta na kretanja tijekom potresa. One su općenito statičke primjene. Stvarne su sile tijekom potresa dinamičke (neprestano se mijenjaju) i višesmjerne (uključujući i okomite sile), te su zbog toga složenije. Opisane metode mogu pružiti samo opće smjernice.

UBLAŽAVANJE ŠTETA OD POTRESA

Nakon što se statistički odrede očekivani rizici od potresa, nakon što se procijeni reakcija predmeta u zbirci i nakon što

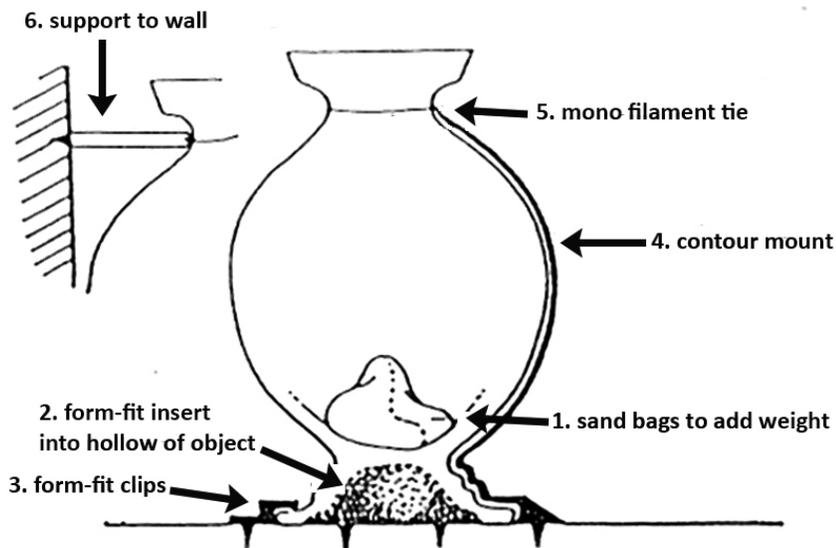
ustanova odluči koju je razinu ili rizik spremna prihvatiti, proces razvoja i provedbe različitih pristupa ublažavanja štete može se učinkovito odvijati. Ublažavanje seizmičke štete općenito pripada dvjema širokim kategorijama: pasivnoj i dinamičkoj. Dinamička kategorija uključuje korištenje kontroliranim kliznim i izolacijskim podnožjima koja će se opisati poslije u ovom radu.

Pasivne metode uključuju promjenu raspodjele mase predmeta dodavanjem težine donjem dijelu predmeta ili pričvršćivanjem predmeta na dodatnu masu. Oba pristupa učinkovito snižavaju središte mase sklopa do te mjere da je predmet stabilniji tijekom potresa. Na slici 9 predstavljena su opća rješenja za jedan predmet.

Na slici je prikazana šuplja keramička vaza. Prvi pristup pokazuje dodavanje težine predmetu kako bi se spustilo njegovo središte mase. U ovom slučaju to je postignuto platnenom vrećom ispunjenom pijeskom (napomena: kod ovakvog rješenja treba biti oprezan i osigurati da strukturni integritet predmeta može podnijeti dodatnu težinu). U ovom pristupu treba uzeti u obzir mogućnost klizanja i ljuljanja. Također treba imati na umu da će možda biti potrebna pozamašna težina kako bi se središte mase dovoljno spustilo za postizanje potpune stabilnosti.

Drugi pristup prikazuje umetak koji prati oblik predmeta (izrađen je od guste pjene ili tvrdoga sintetičkog materijala prekrivenog zaštitnom tkaninom) i pričvršćen je za izložbeno postolje. Ako predmet ima udubljenje ili šupljinu na donjoj strani, takvi umetci mogu spriječiti klizanje i, ako je šupljina dovoljno duboka, mogu pomoći pri pružanju otpora kod podizanja ili lju-
ljanja. Treće rješenje

koristi se metalnim kopčama koje u ovom slučaju prate oblik podnožja vaze. Kopče bi trebale biti obložene na mjestima kontakta s površinom predmeta i prilagođene obliku predmeta. Za raspodjelu držača i izbjegavanje opterećenja u dodirnim točkama potrebno je upotrijebiti nekoliko kopči. Nužno je primijeniti velik oprez kako bi se osigurala dovoljna materijalna čvrstoća predmeta koja će izdržati koncentraciju naprezanja na mjestima s kopčama tijekom potresa. Kao alternativa kopčama može se upotrijebiti vosak za pričvršćivanje predmeta na izložbenu površinu. Vosak se raspoređuje u malim količinama na određenim mjestima preko donje površine predmeta, a zatim se lagano utiskuje na potpurnu površinu. Treba biti oprezan pri nanošenju voska jer bi se porozne površine mogle zamrljati ili bi vosak mogao prodrijeti u udubljenja iz kojih ga je teško ukloniti. Kako bi se spriječio ovaj problem, površine predmeta na koje



Slika 9. Vrste pasivnih držača na primjeru jednog predmeta – vaze: 1. vreće s pijeskom koje dodaju težinu, 2. umetak koji prati oblik predmeta u šupljini, 3. kopčice koje prate oblik predmeta, 4. držač koji prati oblik predmeta, 5. monofilament (jednokonačna vezica), 6. pričvršćenje za zid.

se nanosi vosak mogu se premazati akrilnom smolom. Uklanjanje također može biti dosta rizično jer posmično opterećenje koje se mora primijeniti (vrtnja, zakretni moment) da bi se raskinuo vosak može biti veliko. Osim toga, čvrstoću takvih površina – voska na predmetu i voska na potpurnoj površini – teško je izračunati i kontrolirati. Ako su predmeti relativno teški i/ili imaju visoko težište, povezivanje voskom najvjerojatnije nije učinkovita metoda pričvršćivanja.

Četvrto rješenje prikazuje upotrebu držača koji prati oblik predmeta (engl. *contour mount*, sl. 10). Najbolje je napraviti takav držač od tvrdog metala poput nehrđajućeg čelika i saviti ga tako da pažljivo prati obris predmeta. Donji dio držača čvrsto je pričvršćen za izložbenu površinu. Predmet je pričvršćen za držač na strateškim točkama s pomoću dovoljno čvrstog monofilamenta. Sintetički filc treba upotrijebiti ondje gdje je držač u

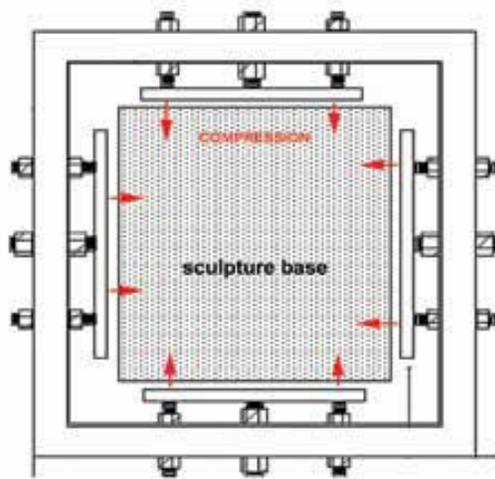


Slika 10. Tri primjera držača koji prate obris predmeta

kontakta s predmetom. Svrha je ovakvog držača ograničiti pomicanje predmeta, a istodobno pružiti dodatnu stabilnost. Treba paziti da se rotacija predmeta također ograniči, što se može postići dodavanjem vodoravnih krakova koji prate obris predmeta, pričvršćenih na okomiti držač, ili spajanjem takvog držača s umetkom.

Peto rješenje predstavlja metodu sprečavanja pomicanja predmeta vezanjem različitih dijelova predmeta za zid ili na stražnju plohu izložbene vitrine. Produžetak sa stražnje strane izložbene vitrine ili iz zida strši i susreće se s odgovarajućim mjestom na vazi na kojemu je vaza pričvršćena za držač monofilamentom. U takvom slučaju dno predmeta također treba osigurati jednom od opisanih metoda. Predmeti nikada ne bi trebali biti vezani monofilamentom u samo jednoj točki.

U većini slučajeva pasivni držači postavljaju se uz pretpostavku da je predmet dovoljno čvrst i da može preživjeti prenesene sile koje nastaju reakcijom zgrade na potres. Pasivni držači ograničavaju kretanje predmeta te mogu povećati stabilnost i snagu sklopa predmeta. Iako oblikovanje i primjena takvih pasivnih držača mogu biti vrlo učinkoviti i isplativi, moramo biti oprezni kako bi se osigurala njihova odgovarajuća upotreba. Moraju se posve odrediti osjetljivost i krhkost predmeta koji se razmatra. Za veće predmete također su vrlo važne učinkovitost i čvrstoća vezanja. Preporučuje se sigurnosni čimbenik tri. Dodatno, posve pričvršćeni predmeti ili sklopovi predmeta i namještaja izrazit će jedinstvene prirodne periode. Treba ih izmjeriti da bi se utvrdilo može li doći do amplifikacije, odnosno povećanja



Slika 11. Na desnoj strani prikazana je shema donjeg dijela kompresijskog držača koji pričvršćuje mramornu skulpturu u prirodnoj veličini. Slijeva se vidi skulptura na držaču, pričvršćena i spremna za postavljanje stranica okvira.

potresnog djelovanja zbog rezonancije tijekom potresa.

Čvrste veze ne moraju nužno biti trajne niti zadirati u sastav predmeta. Na primjer, McKenzie Lowry i B. J. Farrar, izrađivači protupotresnih držača u Muzeju *J. Paul Getty*, oblikovali su i proveli niz genijalnih metoda za pričvršćivanje predmeta na izložbeni namještaj i pritom na najmanju moguću mjeru sveli bilo kakvo zadiranje u sastav samog predmeta. To se najbolje vidi na primjeru dviju mramornih skulptura u prirodnoj veličini koje su posuđene Muzeju *Getty* za posebnu izložbu. Iako su to osnovne mase u obliku stupa, središta mase relativno su im visoka, a podnožja malena i neravna na donjoj strani (predmeti su zapravo bili pomalo nestabilni). Na podnožje predmeta nisu dodane igle ili mehanizmi za pričvršćivanje, niti su bili dopušteni. Ipak, predmeti su morali biti stabilizirani i učvršćeni radi sigurnog izlaganja. Izrađivači držača osmislili su i ugradili sustav kompresijskog učvršćivanja u izložbeno postolje kako bi uhvatili i osigurali predmete na postolju za izlaganje (sl. 11).

Obje stojeće mramorne skulpture imale su podnožje pričvršćeno posebnim pločama sa stezaljkama. Stezaljke su izliveno tako da savršeno prate obris i topografiju stranica podnožja. Ploče su dovoljno stisnute kako bi skulpturu držale čvrsto na mjestu. Testni modeli koji su oponašali površine i raspodjelu mase pokazali su da će skulpture čvrsto stajati na mjestu čak i kada opterećenje dosegne jednu punu gravitacijsku silu.

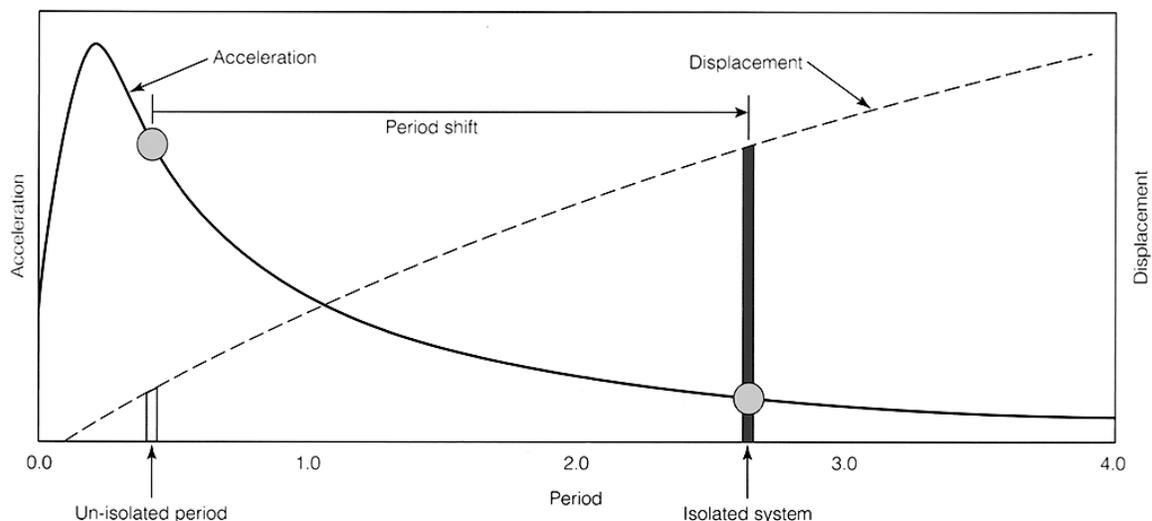
DINAMIČKO UBLAŽAVANJE ŠTETA OD POTRESA

Druga opća kategorija ublažavanja šteta od potresa uključuje neki vid odvajanja

predmeta ili njegova sklopa od poda. To se može postići snižavanjem koeficijenta trenja između donje strane predmeta ili njegova sklopa i poda, čime se omogućuje klizanje. U ograničenom broju slučajeva, osobito kada relativno veliko postolje podržava skupinu predmeta ili jedan monumentalni predmet, a omjer podnožja i visine je visok (središte mase je nisko) i omogućuje stabilnost (u ovom slučaju nema podizanja ili ljuljanja), moguće je dopustiti klizanje ako na okolnom području, uključujući površinu na kojoj se klizanje događa, nema prepreka na putanjama procijenjenih pomaka na podu. Klizanje se može prilagoditi ugradnjom teflonskih jastučića na dno postolja, vitrina ili platformi na koje su predmeti pričvršćeni. Međutim, treba biti oprezan i osigurati gladak pod ili površinu po kojoj sklop klizi, bez ikakvih izbočina, udubljenja ili hrapavih dijelova te bez strukturnih ili nestrukturnih masa s kojima bi se zaštićeni predmet mogao sudariti.

IZOLACIJA PODNOŽJA

Izolacija podnožja dovodi do smanjenja inercijskih sila koje mogu djelovati na konstrukciju, opremu te predmete ili sklopove predmeta i namještaja u zbirnkama. Iako se njima pretežno koristi u zaštiti zgrada, mostova i drugih građevina, izolatori podnožja sve su popularniji u zaštiti nestrukturnih dijelova i sadržaja u zgradama (kao što su medicinska oprema ili računalna postrojenja). U osnovi izolator podnožja snižava frekvenciju ili prirodni period cijelog sustava ili jednog predmeta. Cilj je promijeniti prirodni period „sustava“ (ili sklopa predmeta i izložbenog namještaja) tako da se nađe što dalje od prevladavajućeg raspona perioda s najvećim zahtje-



Slika 12. Izolirani sustav pokazuje pomak od kratkog perioda, za koji spektri odgovora pokazuju veliku amplitudu (veliko vršno ubrzanje), do dužeg perioda kojemu je amplituda mnogo niža, ali je pomak mnogo veći. Izvor: Matthew J. Schoettler i Andreas N. Stavridis, „Finalizing the Design of Seismic Isolators for the Antiquities Collection of the J. Paul Getty Museum“, u: *Advances in the Protection of Museum Collections from Earthquake Damage: Papers from a Symposium Held at the J. Paul Getty Museum at the Villa on May 3-4, 2006*, ur. Jerry Podany (Los Angeles: J. Paul Getty Museum, 2008), 71–83.

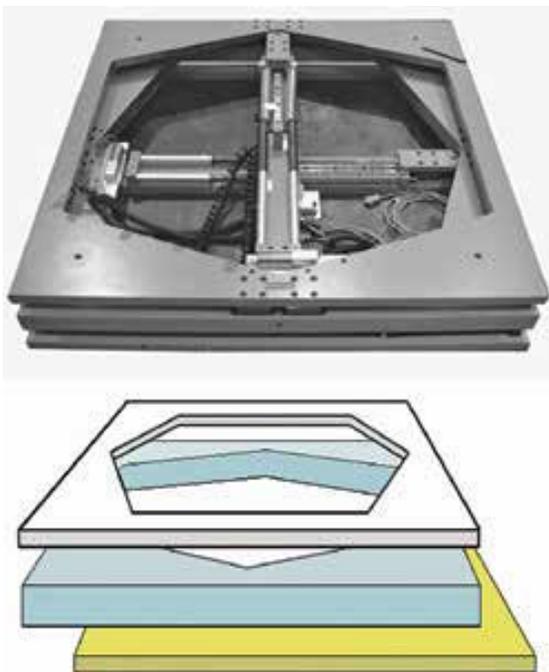
vima za ubrzanjem, kao što je prikazano na spektru odgovora mjesta ili zgrade (sl. 12). U većini slučajeva to znači da će se zahtjevi za pomakom povećati projektiranjem većeg perioda. Izolator podnožja mora prihvatiti te velike pomake.

Kontroliraniji pomaci mogu se postići mehanizmima izolacije podnožja. Postoje različiti načini, uključujući viskoelastične stupove, valjkaste ležajeve i sferne klizne ležajeve obložene teflonom. Čvrsti predmeti, koji se često oštećuju visokim ubrzanjima kojima se odlikuju mnogi potresi, unatoč malim pomacima zaštićeni su od oštećenja izolacijskim mehanizmima koji omogućuju duži period sklopu predmeta i izolatora. Fleksibilni predmeti, međutim, mogu pretrpjeti znatne deformacije ako su izloženi velikim pomacima, stoga izolatori koji su namijenjeni zaštiti fleksibilnih predmeta moraju osigurati dovoljan kapacitet pomaka da prihvate veće perio-

de. Oblikovanje i podešavanje bilo kojeg izolatora mora uzeti u obzir udaljenost od izvora potresa do mjesta, lokalne uvjete i doprinos sustava prigušenju.

Mehanizmi izolacije podnožja osmišljeni i upotrijebljeni u Muzeju Getty (sl. 13) sastoje se od tri metalna okvira naslagana jedan na drugi s mogućnošću pomicanja u nespojenim okomitim smjerovima. Tlačne opruge smještene između dva susjedna okvira stvaraju elastičnu silu.

Opruge se postavljaju paralelno na vodilice na obje razine. Kako se okviri pomiču, tako valjkasti blok putuje duž zakrivljenoga unutrašnjeg ruba okvira na svakoj razini, sabijajući opruge, povećavajući otpor pomicanju i osiguravajući elastičnost. Srednji okvir klizi preko donjeg okvira (koji je čvrsto pričvršćen za pod) duž dvije susjedne vodilice preko zarobljenih nosećih blokova. Gornji okvir klizi preko srednjeg okvira na paralelnim vodilicama



Slika 13. Oblikovanje Gettyjeva izolatora, pogled odozgo i grafički prikaz pomaka dvije gornje razine

i zarobljenim nosećim blokovima. Tako se srednji i gornji okvir pomiču vodoravno, ali cijeli je sustav ograničen od bilo kakvoga okomitog podizanja. Izložbeni namještaj ili predmeti čvrsto su pričvršćeni na gornji okvir. U izložbenom okružju izolator podnožja skriven je ispod obloga ormara, koje padaju kada je potrebno pomicanje.

Reakcija sustava na pomicanje tla prilagođava se (promjenom brzine opruge) na osnovi mase predmeta ili sklopa predmeta i namještaja te raspona reakcija za određeno mjesto ili zgradu.

U slučajevima kada postoji opasnost da kapacitet pomaka izolatora nije dovoljan i da se ne može proširiti, setovi opruga konfiguriraju se u serije. Kada sustav dosegne približno 90 % svojeg kapaciteta pomaka, mekša od dviju opruga u seriji bit će posve stisnuta, a čvršća će uvesti

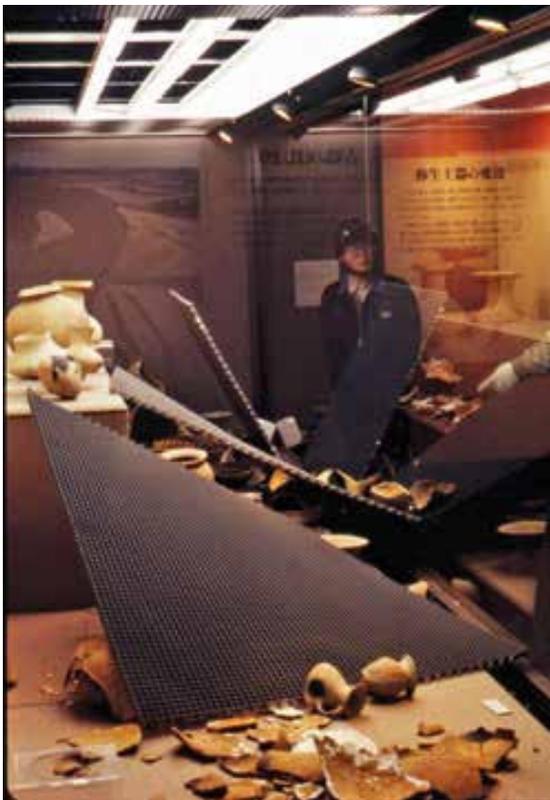
povećanu krutost u sustav, ali će i dalje osigurati određen stupanj pomaka. Ova konfiguracija izbjegava udar ako zahtjevi seizmičkog događaja za pomakom nadmaše kapacitet izolacijskog mehanizma.⁴

NAMJEŠTAJ I OPREMA

Treba imati na umu da, kada su predmeti pričvršćeni za izložbeni namještaj ili se drže na policama ili u ormarima u čuvaonicama, te strukture također moraju izdržati sile koje nameće snažno pomicanje tla tijekom potresa. U većini slučajeva korisno je pričvrstiti izložbena postolja za pod, osim ako njihova težina i omjer podnožja i visine ne osiguravaju stabilnu reakciju. Kod primjene materijala i proizvodnih tehnika treba imati na umu sile koje će djelovati na predmet. Isto tako, vrijedi zapamtiti da pričvršćivanje teškog predmeta na vrh postolja stvara jedan sklop s visokim težištem, osim ako postolje nije veoma opterećeno ili spojeno s podom, u čijem slučaju struktura potpornog namještaja treba biti čvrsta.

NESTRUKTURNI RIZICI

Iako opseg ovog članka ne dopušta razmatranje opasnosti koje predstavljaju nestrukturne sastavnice u muzeju (pregradni zidovi, natpisi, vitrine, rasvjetna tijela ili rešetke, vodovodne instalacije, stropne ploče i staklene izložbene police samo su neki od primjera), ključno je pozabaviti se stabilnošću ovih sastavnica koje se nalaze u većini muzejskih okružja. Sve što može olabaviti, slomiti se, pasti, urušiti, prevrnuti ili pomaknuti se treba popisati i osigurati ili zamijeniti boljim rješenjem protiv potresa. Slika 14 prikazuje izložbeni prostor u Kobeu u Japanu nakon Velikog potresa u Hanshinu 1995. godine. Većina osjetljivih



Slika 14. Oštećenje u izložbenoj vitrini uzrokovano padom rasvjetnih rešetki u vitrini

izložaka u vitrinama možda bi preživjela potres da plastični rasvjetni difuzor nije olabavio i pao s unutrašnjeg vrha vitrine te ošteti većinu predmeta. Teška oštećenja mogu biti uzrokovana padanjem rasvjetnih tijela, prevrtanjem policica ili izobličenjem i konačno lomljenjem staklenih policica (popularnih u modernome muzejskom izložbenom namještaju).

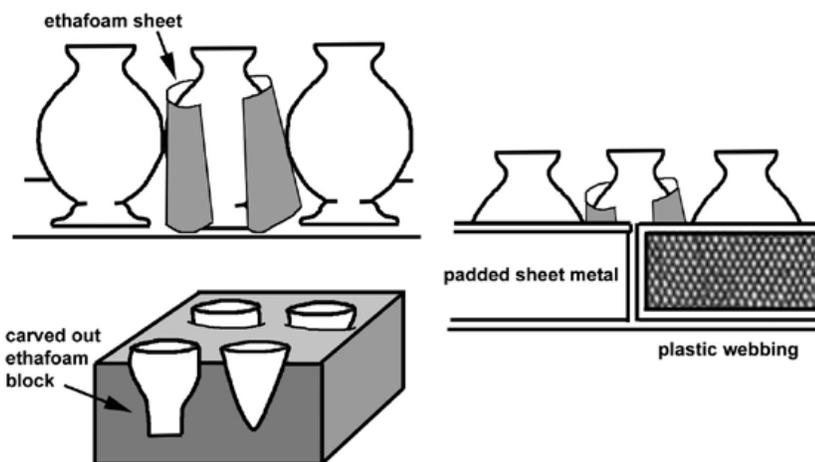
SEKUNDARNI RIZICI

Potresi ne oštećuju zbirke samo podrh-

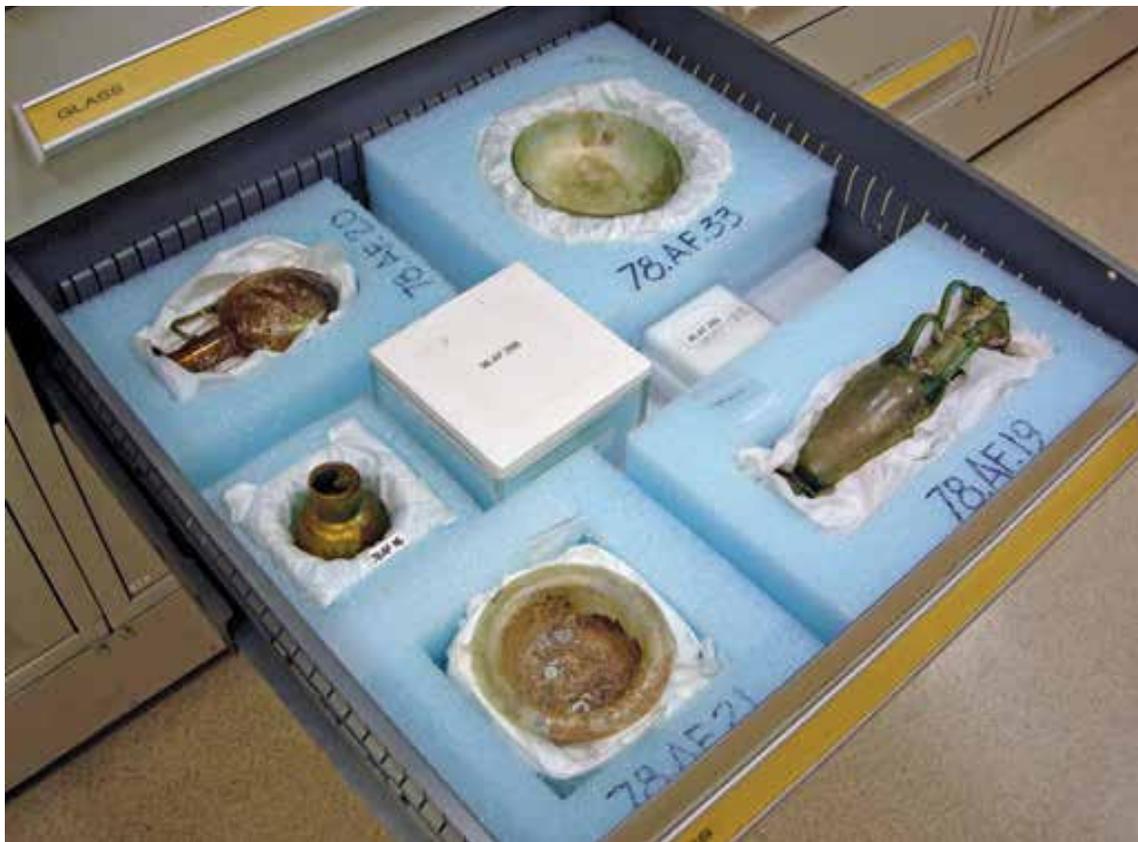
tavanjem tla, već mogu izravno ili neizravno uzrokovati i ubrzati širok raspon sekundarnih opasnosti koje brzo mogu postati prilično ozbiljne. Požari, eksplozije, curenje vode i poplave, dramatične promjene klime zbog gubitka klimatske kontrole, gubitak sigurnosti i ekstremna prašina (katkad opasna) samo su neki od primjera. Ne treba zaboraviti ni rizike povezane s premještanjem zbirke u teškim okolnostima. Reakcija na svaku od ovih opasnosti mora biti planirana i ugrađena u plan zaštite od potresa, a sve moguće mjere za ublažavanje treba poduzeti mnogo prije nego što se potres dogodi.

ZBIRKE U ČUVAONICAMA

Treba imati na umu da jednostavne i jeftine tehnike mogu uvelike pomoći u smanjenju seizmičkog rizika u prostorima u kojima se manje bavi estetskom prezentacijom. Mjere opreza uvijek treba provoditi i u čuvaonicama kako bi se smanjili gubitci. Na slici 15 prikazano je nekoliko rješenja za police, a slika 16 prikazuje odvajanje i smještaj predmeta u ladicama za pohranu. Veći predmeti uvijek bi trebali biti



Slika 15. Primjeri zaštite predmeta na policama u čuvaonicama: polietilenska folija, izrezani polietilenski blok, podstavljena limena folija, plastična mrežica.



Slika 16. Pet predmeta u polietilenskim „gnijezdima“ (od Tyveka) s pjenastim potporama koje prate njihov oblik u ladici za pohranu

privremeno pričvršćeni za zgradu, policu ili stabilan stalak za pohranu. Slike treba učvrstiti i na gornjemu i na donjem dijelu, a SVE police i skladišne jedinice moraju biti sigurno pričvršćene za zidove i pod.

ZAKLJUČCI

Ovaj opći pregled prikazuje dio napretka postignutog u ublažavanju seizmičke štete u muzejskim zbirka. Sada je dostupan niz učinkovitih metoda⁵ koje, iako u početnoj fazi razvoja, predstavljaju obećavajući početak u dostizanju cilja zaštite svjetske baštine. Takav cilj ne samo da je u skladu s odgovornostima onih koji se brinu o zbirka već je i na samom vrhu onoga što se naziva preventivnom zaštitom.

No, još puno toga treba učiniti, razviti i razumjeti. I ostaje mnogo razmišljanja koja treba promijeniti i mnogo podrške koju treba dobiti za mjere koje se mogu poduzeti kako bi se smanjili šteta i gubitci u zbirka uzrokovani potresima.

Diljem svijeta mora se podignuti svijest o prijetnji koju potresi predstavljaju zbirka kulturne baštine i potrebna su daljnja istraživanja i razvoj tehnika ublažavanja posljedica. Važno je iscrpno dokumentiranje šteta u zbirka od potresa i dijeljenje tih informacija odgovarajućim profesionalnim mrežama. No, prije svega, otvorena komunikacija među odgovornima za očuvanje kulturne baštine na međunarodnoj razini mora uključivati i temu seizmičkih rizika, bez obzira na duge

vremenske razmake između tih događaja. Znamo da se tlo trese na velikim dijelovima našeg planeta i da time dolazi do oštećenja i gubitka prevelikog broja naših kulturnih i povijesnih dobara diljem svijeta. Dužnost je muzeja, čija misija obrazovanja i doseg također uključuju očuvanje i održavanje, te stručnih organizacija i vladinih agencija udružiti se i razviti mrežu istraživača i znanstvenika, konzervatora-restauratora i stručnjaka za izradu držača, dizajnera i kustosa, ravnatelja i ministara kako bi omogućili taj napredak. Modeli učinkovite organizacije postoje posvuda i u mnogim strukama, posebice u seizmologiji i seizmičkom inženjerstvu, zanimanjima koja su imala koristi od spoznaje da je napredak veći čim se otvoreno dijele trud, opažanja i otkrića u vezi s potresnim rizicima i ublažavanjem seizmičke štete.

BILJEŠKE

¹ Tara C. Hutchinson i dr., „Vibration studies of nonstructural components and systems within a full-scale building“, *Earthquake Spectra* 26, br. 2 (2010): 327–347; Nebil Achour i dr., „Earthquake-induced structural and nonstructural damage in hospitals“, *Earthquake Spectra* 27, br. 3 (2011): 617–634; Jerry Podany, *When galleries shake: earthquake damage mitigation for museum collections* (Los Angeles: J. Paul Getty Museum, 2017).

² Mihran S. Agbabian i dr., „Evaluation of earthquake damage mitigation methods for museum objects“, *Studies in conservation* 36, br. 2 (1991): 111–120; Andreas N. Stavridis i dr., „Design of a Self Centering Seismic Base Isolator for an Antiquity“, u: *Proceedings of the 8th US National Conference on Earthquake Engineering: San Francisco, California, USA, 18-22 April 2006*, sv. 13 (Oakland, CA: Earthquake Engineering Research Institute, 2006), 8058–8067; Jerry Podany, „The Protection of Cultural Heritage in Museum Collections from Earthquake Dam-

age“, u: *The Symposium on the Conservation and Preservation of the Cultural Artifacts*, ur. Cheng Shu-Min (Taipei: Council for Cultural Affairs, 1996), 68–91; Jerry Podany, ur., *Advances in the Protection of Museum Collections from Earthquake Damage: Papers from a Symposium Held at the J. Paul Getty Museum at the Villa on May 3-4, 2006* (Los Angeles: J. Paul Getty Museum, 2008); Podany, *When galleries shake*.

³ Marijan Herak, Davorka Herak i Snježana Markušić, „Revision of the earthquake catalogue and seismicity of Croatia, 1908–1992.“, *Terra Nova* 8, br. 1 (1996): 86–94.

⁴ Daljnje pojedinosti o ovom pristupu mogu se pronaći u: Stavridis i dr., „Design of a Self-Centering Seismic Base Isolator for an Antiquity“, 8058–8067; McKenzie Lowry i dr., „Protecting collections in the J. Paul Getty Museum from earthquake damage“, *WAAC Newsletter* 29, br. 3 (2007): 16–23; Matthew J. Schoettler i Andreas N. Stavridis, „Finalizing the Design of Seismic Isolators for the Antiquities Collection of the J. Paul Getty Museum“, u: Podany (2008), 71–83; Podany, *When galleries shake*.

⁵ Podany, *When galleries shake*.

LITERATURA

Achour, Nebil, Masakatsu Miyajima, Masaru Kitaura i Andrew Price. „Earthquake-induced structural and nonstructural damage in hospitals“. *Earthquake Spectra* 27, br. 3 (2011): 617–634.

Agbabian, Mihran S., William S. Ginell, Sami F. Masri i Robert L. Nigbor. „Evaluation of earthquake damage mitigation methods for museum objects“. *Studies in conservation* 36, br. 2 (1991): 111–120.

Herak, Marijan, Ivo Allegretti, Davorka Herak, Ines Ivančić, Vlado Kuk, Krešimir Marić, Snježana Markušić i Ivica Sović. *Republika Hrvatska: Karta potresnih područja*. Zagreb: Geofizički odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, 2011. <http://seizkarta.gfz.hr/hazmap/karta.php> (pristupljeno 30. studenoga 2021.).

Herak, Marijan, Davorka Herak i Snježana Markušić. „Revision of the earthquake catalogue and seismicity of Croatia, 1908–1992.“ *Terra Nova* 8, br. 1 (1996): 86–94.

Hutchinson, Tara C., Derek Nastase, Falko Kuester i Kai Doerr. „Vibration studies of nonstructural components and systems within a full-scale building“. *Earthquake Spectra* 26, br. 2 (2010): 327–347.

Lowry, McKenzie, B. J. Farrar, David Armendariz i Jerry Podany. „Protecting collections in the J. Paul Getty Museum from earthquake damage“. *WAAC Newsletter* 29, br. 3 (2007): 16–23.

Podany, Jerry, ur. *Advances in the Protection of Museum Collections from Earthquake Damage: Papers from a Symposium Held at the J. Paul Getty Museum at the Villa on May 3-4, 2006*. Los Angeles: J. Paul Getty Museum, 2008.

Podany, Jerry. „The Protection of Cultural Heritage in Museum Collections from Earthquake Damage“. U: *The Symposium on the Conservation and Preservation of the Cultural Artifacts*, ur. Cheng Shu-Min, 68–91. Taipei: Council for Cultural Affairs, 1996.

Podany, Jerry. *When galleries shake: earthquake damage mitigation for museum collections*. Los Angeles: J. Paul Getty Museum, 2017.

Schoettler, Matthew J. i Andreas N. Stavridis. „Finalizing the Design of Seismic Isolators for the Antiquities Collection of the J. Paul Getty Museum“. U: Podany (2008), 71–83.

Stavridis, Andreas N., Matthew J. Schoettler, Paul G. Somerville, Hong Kie Thio i Jerry C. Podany. „Design of a Self Centering Seismic Base Isolator for an Antiquity“. U: *Proceedings of the 8th US National Conference on Earthquake Engineering: San Francisco, California, USA, 18-22 April 2006*, sv. 13, 8058–8067. Oakland, CA: Earthquake Engineering Research Institute, 2006.

MUSEUMS AND EARTHQUAKES: MITIGATING EARTHQUAKE DAMAGE AND LOSS

Small and unfortunately inadequate, body of research exists regarding the effects of strong ground motion on heritage collections in museums including fine art museums, anthropological collections, science and technology collections, history museums, archives and storage facilities. This lack of information, and the slow development of mitigation approaches related to heritage collections, persists despite the value of these holdings. But there is a range of effective methods is now available and, though they are in their nascent stages of development, they form a promising beginning towards reaching the goal of protecting the world's heritage treasures.