

Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet
Fra Andrije Kačića Miošića 26, Zagreb



CENTAR
GRAĐEVINSKOG
FAKULTETA

Zagreb, 15. rujna 2023.

PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

Naručitelj: **GRAD ZAGREB**
Trg Stjepana Radića 1, Zagreb; OIB: 61817894937

Ugovor: **PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB**
(Registar ugovora 480/2021)

Ugovaratelji: **SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GRAĐEVINSKI FAKULTET**
Zagreb, Fra Andrije Kačića Miošića 26; OIB: 62924153420
CENTAR GRAĐEVINSKOG FAKULTETA d.o.o.
Sveti Duh 129, Zagreb; OIB: 51108551424

Predmet: **AKTIVNOST 2 Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba**
Elaborat građevinarstvo - inženjerske građevine - podaci o konstrukcijskim sustavima mostova (raspona većeg od 10 metara) i hidrotehničkih građevina
Mapa 2: Hidrotehničke građevine

Voditelj studije: izv. prof. dr.sc. Dalibor Carević, dipl. ing. građ.

Suradnici: doc.dr.sc. Damjan Bujak, dipl. ing. građ.
izv. prof. dr.sc. Ivan Halkijević, dipl. ing. građ.
izv. prof. dr.sc. Dražen Vouk, dipl. ing. građ.
izv. prof. dr.sc. Mario Bačić, dipl. ing. građ.
Hanna Miličević, mag.ing.aedif.

Projekt sufinancira Europska unija iz Europskog fonda za regionalni razvoj, a prijavljen je u sklopu projekta „Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske“ (dio b. Potresni rizik na području Grada Zagreba) za potrebe procjene smanjenja rizika od katastrofa“ pod prioritetnom osi 5 Operativnog programa Konkurentnost i koheziju naziva „Klimatske promjene i upravljanje rizicima“ i to u sklopu investicijskog prioriteta (IP) „5B Poticanje ulaganja koja se odnose na posebne rizike, osiguranje otpornosti na katastrofe i razvoj sustava za upravljanje katastrofama“.





SADRŽAJ

1.	Uvodno o hidrotehničkim građevinama na području Grada Zagreba	5
2.	Parametri seizmičke pobude tla	6
2.1	Opis sustava	10
2.2	Popis objekata	11
2.2.1	Vodocrpilišta	11
2.2.2	Uređaji za obradu vode	11
2.2.3	Crpne stanice	12
2.2.4	Cjevovodi	12
2.2.5	Vodosprema	13
2.2.6	Ostali objekti sustava vodoopskrbe	15
2.3	Opis mehanizama oštećenja i modova sloma	16
2.4	Krivulje osjetljivosti („fragility curves“)	17
2.4.1	Vodocrpilište	18
2.4.2	Uređaji za obradu vode	19
2.4.3	Crpne stanice	21
2.4.4	Cjevovodi	22
2.4.5	Vodospreme	23
2.5	Procjena oštećenja građevina	24
2.5.1	Vodocrpilišta	25
2.5.2	Uređaji za obradu vode	27
2.5.3	Crpne stanice	29
2.5.4	Cjevovodi	31
2.5.5	Vodospreme	38
2.6	Zaključak	39
3.	Sustav odvodnje otpadnih voda grada Zagreba	42
3.1	Opis sustava	42
3.1.1	Uređaj za pročišćavanje	44
3.1.2	Crpne stanice	45
3.1.3	Cjevovodi	50
3.1.4	Ostali objekti sustava odvodnje otpadnih voda	51
3.2	Opis mehanizama oštećenja i modova sloma	51
3.3	Krivulje osjetljivosti („fragility curves“)	52
3.3.1	Uređaji za pročišćavanje otpadnih voda	52



3.3.2	Crpne stanice.....	53
3.3.3	Cjevovodi.....	55
3.4	Procjena oštećenja građevina.....	55
3.4.1	Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda	56
3.4.2	Crpne stanice.....	58
3.4.3	Cjevovodi.....	60
3.5	Zaključak	66
4.	Sustav zaštite od poplava Grada Zagreba.....	68
4.1	Opis sustava.....	68
4.1.1	Obrana od poplava od brdskih potoka Medvednice (retencije).....	69
4.1.2	Obrana od poplava od rijeke Save	73
4.2	Popis objekata.....	76
4.2.1	Nasipi	76
4.2.2	Retencije	76
4.2.3	Ostali objekti sustava obrane od poplava.....	76
4.3	Opis mehanizama oštećenja i modova sloma.....	77
4.3.1	Nasipi.....	77
4.3.2	Retencije	80
4.4	Krivulje osjetljivosti	80
4.4.1	Nasipi	80
4.4.2	Retencije	81
4.5	Procjena oštećenja građevina.....	81
4.5.1	Nasipi	81
4.5.2	Retencije	83
4.6	Zaključak	83
5.	Luke i marine.....	85
6.	Zaključak	85
6.1	Vodoopskrbni sustav Grada Zagreba	85
6.2	Sustav odvodnje otpadnih voda Grada Zagreba.....	89
6.3	Sustav zaštite od poplava Grada Zagreba.....	92
7.	Prilozi.....	93
7.1	Popis objekata.....	93



PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB
Elaborat građevinarstvo - inženjerske građevine - podaci o konstrukcijskim
sustavima mostova i hidrotehničkih građevina: Mapa 2
Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

7.1.1	Izvorišta/Vodocrpilišta.....	93
7.1.2	Crpne stanice.....	100
8.	Reference	106
9.	Popis slika.....	108
10.	Popis Tablica.....	109



1. Uvodno o hidrotehničkim građevinama na području Grada Zagreba

Hidrotehničke građevine grada Zagreba obuhvaćaju sve one objekte koji s određenom svrhom djeluju na vode. Postoje različite svrhe izgradnje hidrotehničkih građevina, a svrstavaju se u tri osnovne kategorije:

- zaštita od štetnog djelovanja voda (nasipi, retencije, brane, itd.)
- vodnogospodarsko korištenje voda (vodocrpilišta, vodospreme, uređaji za obradu vode, crpne stanice, cjevovodi, itd.)
- zaštita voda (uređaji za pročišćavanje voda, crpne stanice, cjevovodi itd.)

Osnovni cilj metodologije predložene u ovoj studiji je utvrđivanje potresnog hazarda vitalnih hidrotehničkih građevina na području grada Zagreba. Pod potresnim hazardom podrazumijeva se iskaz potencijalnih troškova i broja oštećenih građevina (prikazano u pogl. 7.) u slučaju sintetičkog (hipotetskog) potresa povratnog perioda 475g. Intenzitet hipotetskog potresa se procjenjuje na $PGA=0,29g$ prema Karti potresnih područja Republike Hrvatske. Za potrebu kalibracije predloženog proračunskog modela korišteni su podaci za prvi i drugi zagrebački potres koji su se dogodili 22. ožujka 2020. (Tabl. 3.).

Studija obrađuje tri osnovna sustava koja obuhvaćaju hidrotehničke građevine: vodoopskrbni sustav (pogl. 3.), sustav odvodnje otpadne (i oborinske) vode (pogl. 4.) i sustav zaštite od poplava (pogl. 5.). Iz navedenih sustava odabrane su samo one hidrotehničke građevine koje imaju značajan utjecaj na potresni rizik Grada Zagreba.

Osiguranje adekvatnog gospodarenja vodama jedan je od temeljnih preduvjeta razvoja svakog područja. Pritom se opskrba stanovništva pitkom vodom smatra osnovnim preduvjetom osiguranja zadovoljavajuće kvalitete i standarda življenja. Isto tako, u današnje vrijeme sve je veća potreba za zaštitom okoliša, očuvanjem i poboljšanjem prirodnih bioraznolikosti kao i zaštite ljudskog zdravlja. Stoga se uz opskrbu stanovništva pitkom vodom, adekvatno zbrinjavanje otpadnih voda svrstava u prioritetne aktivnosti adekvatnog gospodarenja vodama i kao takvo zauzima posebno mjesto u cjelokupnoj problematici vodnoga gospodarstva u Hrvatskoj.

Urbano područje grada Zagreba se proteže od brdskih predjela Medvednice na sjeveru do posavske ravnice na jugu. Grad Zagreb obiluje površinskim vodama. Najveći vodotok je rijeka Sava, koja je duljine 18,5 km u dijelu toka kroz Zagreb, i ima vodni režim bujičnog karaktera sa sezonskim oscilacijama. U brdskom dijelu grada Zagreba, na obroncima Medvednice, formira se niz potoka, od kojih se neki ulijevaju u rijeku Savu. Glavni vodotoci na kojima se provode mjere obrane od poplava na području su rijeka Sava (18,5 km), bujični potoci Medvednice (162,52 km) te oteretni kanal Odra (11,80 km).

Predmet ovog stručnog elaborata je sustav zaštite od poplava pod upravom Hrvatskih voda i mreža vodoopskrbe i odvodnje na zagrebačkom području kojom upravlja Vodoopskrba i odvodnja d.o.o., Zagreb (ViO d.o.o. Zagreb).

ViO d.o.o. Zagreb nadilazi granice grada Zagreba jer je dio većeg integriranog sustava i pruža uslugu javne vodoopskrbe i odvodnje za područje Grada Zagreba, Grada Svete Nedelje i Općine Stupnik, te samoborskih naselja Molvice i Rakov Potok koji gravitiraju zagrebačkom sustavu odvodnje, dok za područje Grada Samobora ViO d.o.o. Zagreb pruža samo uslugu vodoopskrbe. Također se vrši isporuka vode u susjedna vodoopskrbna područja – Dugo Selo, Ivanić-Grad, Vrbovec i Sveti Ivan Zelina, koja su u nadležnosti trgovačkog društva Vodoopskrba i odvodnja Zagrebačke županije.

Zbog nedostatka pouzdanih podataka u vezi nasutih brana na zagrebačkim retencijama nisu obavljene procjene hazarda.

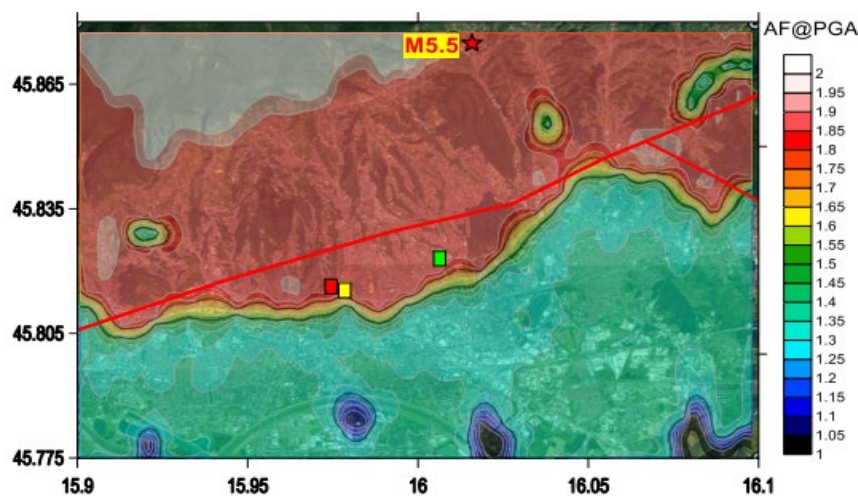
2. Parametri seizmičke pobude tla

Potresna razaranja na području Grada Zagreba od kraja ožujka 2020., odnosno od kraja prosinca 2020. godine do danas, rezultirala su određenim štetama u gradu Zagrebu.

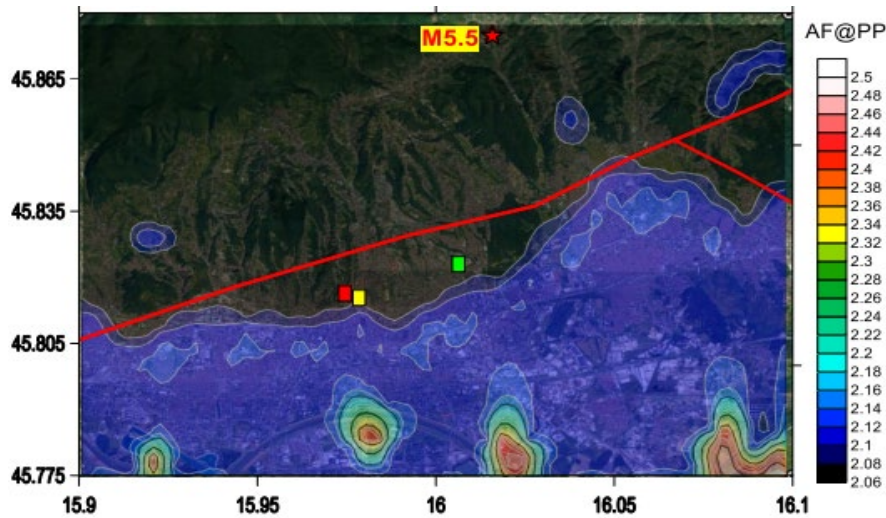
Seizmički događaj 22. ožujka 2020. godine imao je magnitudu 5,5 prema Richteru sa žarištem na dubini od 10 km i epicentrom 7 km sjeverno od centra Zagreba, u blizini mjesta Markuševac i Čučerje. Nakon glavnog potresa uslijedila su još dva jača naknadna potresa magnituda 4,9 i 3,7, a u naredna 24 sata zabilježeno je još 57 potresa magnitude veće od 2 po Richteru. Glavni potres je ocijenjen intenzitetom VII. stupnja MCS ljestvice u epicentralnom području te je izazvao više štete na stambenim objektima nego je očekivano.

U pravilu, potres veće magnitude za posljedicu ima i veći intenzitet. No, na intenzitet znatno utječu lokalni efekti tla (mekano tlo ili čvrsta stijena) kao i način gradnje te vrsta i starost građevine. Također, važnu ulogu ima i dubina potresa: plići potres donijet će više energije na površinu, time i jaču trešnju od potresa s dubljim žarištem. Zato se može dogoditi da potres manje magnitude prouzroči veća oštećenja i time ima veći intenzitet, odnosno, da je potres veće magnitude opisan intenzitetom manjeg stupnja.

Dakle, intenzitet potresa i nastala šteta nije ista za cijelo područje Zagreba. Znatna utjecaj imaju lokalni uvjeti tla i pojava amplifikacije ili de-amplifikacije uslijed promjene značajki upadnog seizmičkog gibanja (amplituda, frekvencija, duljina trajanja) od osnovne stijene do površine tla. Do tih promjena ulaznog vala dolazi zbog lokalnih geoloških specifičnosti, geometrijskih karakteristika naslaga tla i površinske topografije. Općenito, amplifikacija površinskog gibanja ovisi o svojstvima lokalnoga tla - osnovnom periodu tla, smičnoj brzini pojedinačnih slojeva (V_S), prosječnoj brzini V_S u gornjih 30 m profila tla (V_{S30}) te o ulaznom gibanju (PGA_{ROCK} - vršna akceleracija na čvrstoj stijeni). Procjena amplifikacije potresnoga gibanja na zagrebačkom području za seizmički događaj 22. ožujka 2020. godine, magnitude 5,5 i procijenjene vršne akceleracije 0,159 - 0,185 g, prikazane su na Sl.1 i Sl.2.



Sl. 1 Amplifikacija potresnog gibanja na površini (izvor: Markušić, S., Stanko, D., Korbar, T. et al., The Zagreb (Croatia) M5.5 Earthquake on 22 March 2020, Geosciences (2020), 10, 252)



Sl. 2 Amplifikacija potresnog gibanja na rezonantnom periodu (izvor: Markušić, S., Stanko, D., Korbar, T. et al., The Zagreb (Croatia) M5.5 Earthquake on 22 March 2020, Geosciences (2020), 10, 252)

Amplifikacijski faktor potresnoga gibanja na površini u podsljemenskoj zoni iznosi oko 1,6 - 1,8, u centralnom zagrebačkom području otprilike 1,4 - 1,6, a na površini aluvijalnog savskog dijela oko 1,25-1,3 zbog nelinearnog ponašanja pijeska i šljunka na jako upadno potresno gibanje. Amplifikacijski faktor potresnoga gibanja na rezonantnom periodu lokalnog tla prema V_{s30} kategoriji je od 2,1 u podsljemenskoj zoni do 2,2 u centralnom zagrebačkom području, a oko 2,4 u aluvijalnom savskom dijelu. Drugim riječima, prema procjenama amplifikacijskih faktora, na određenim je lokacijama, gdje je utvrđena i najveća šteta, došlo do povećanja pomaka tla za više od 2 puta.

U vrijeme zagrebačkog potresa na području Grada Zagreba su bile aktivne samo dvije seizmografske stanice (oznake QHUS i QARH). Na temelju zapisa akcelerografa izvršena je obrada i analiza akcelerograma glavnog zagrebačkog (magnituda 5,5) i najjačeg naknadnog potresa (magnituda 4,9). Osnovni podaci za ova dva događaja dani su Tabl. 1.

Tabl. 1 Prikaz osnovnih informacija o glavnom i najjačem naknadnom potresu 22.3.2020. godine

Naziv	Datum	Vrijeme (UTC)	Magnituda	Latituda (ϕ)	Longituda (λ)	Dubina žarišta [km]
Prvi zag. potres	22.03.2020.	05:24:03	M = 5,5	45,879	16,028	10,1
Drugi zag. potres	22.03.2020.	06:01:19	M = 4,9	45,880	16,024	9,4

Svi podaci prikupljeni na mjernim stanicama su obrađeni za svaku komponentu te su u konačnici, radi eliminacije šuma u zapisu te pogrešaka u samom bilježenju, izrađeni korigirani zapisi vrijednosti najvećih ubrzanja (PGA_{corr}), brzina (PGV_{corr}) i pomaka (PGD_{corr}) koji su za najjači potres prikazani u Tabl. 2. U nastavku teksta će se ove korigirane vrijednosti kao i do sada navoditi kao PGA , PGV i PGD .

Tabl. 2 Parametri definirani na temelju korigiranih akcelerograma potresa magnitude $M=5,5$ (gore) i potresa magnitude $=4,9$ (dolje)

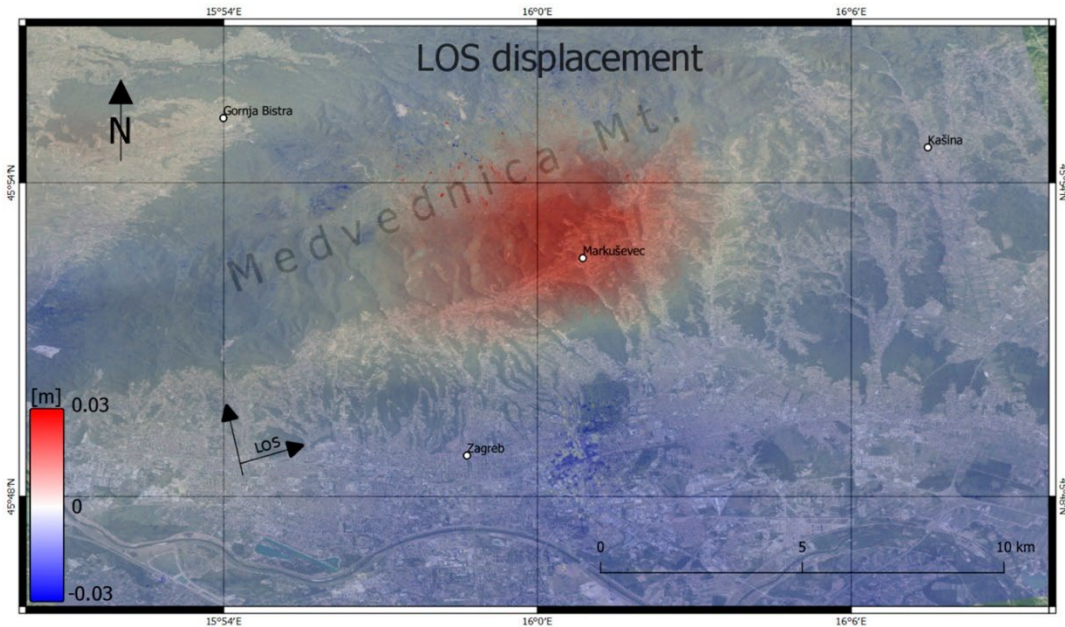
<i>Zagrebački potres $M=5.5$</i>					
Kod postaje	Komponenta zapisa	PGA_{raw} [m/s ²]	PGA_{corr} [m/s ²]	PGV_{corr} [cm/s]	PGD_{corr} [cm]
QARH	Z	-0,79	-0,72	3,21	0,88
	N	-1,48	-1,47	-11,58	-2,46
	E	1,89	1,92	-11,57	-2,25
QUHS	Z	1,38	1,11	4,90	0,98
	N	2,27	2,20	-20,05	-3,15
	E	1,80	-1,77	11,93	1,59

<i>Zagrebački potres $M=4.9$</i>					
Kod postaje	Komponenta zapisa	PGA_{raw} [m/s ²]	PGA_{corr} [m/s ²]	PGV_{corr} [cm/s]	PGD_{corr} [cm]
QARH	Z	-0,23	-0,23	0,72	-0,17
	N	-0,20	-0,21	1,70	-0,31
	E	0,43	0,40	-1,42	0,31
QUHS	Z	-0,59	-0,61	1,26	-0,27
	N	0,58	0,60	-2,59	-0,34
	E	-0,65	-0,66	1,73	-0,37

Važno je napomenuti da se radi o realnim očitanjima akceleracija, odnosno da prikazane vrijednosti nisu akceleracije na osnovnoj stijeni, već na površini tla, čime je uvažena amplifikacija pobude. Iz prikazanih rezultata vidljivo je dominantno gibanje tla u smjeru sjever-jug (N) te smjeru istok-zapad (E), dok je gibanje tla u smjeru „gore-dolje“ (Z) manje izraženo.

U donjem dijelu Tabl. 2 prikazani su parametri pobude tla za naknadni potres magnitude 4,9. Iz rezultata se vidi da se, ovisno o promatranom parametru, radi o potresu koji je 7 do 10 puta „slabiji“. Naime, poznato je da između dviju vrijednosti magnitude potresa postoji logaritamski odnos tako da se sa svakim povećanjem magnitude oslobađaju višestruko veće količine elastične energije potresa.

S obzirom na manjak mjerenih podataka u odnosu na petrinjski potres, teško se mogu procijeniti vrijednosti parametara seizmičke pobude tla direktno na epicentralnom području. Iz tog razloga su od Hrvatske udruge za krizni menadžment i objavljenih znanstvenih radova prikupljeni i analizirani podaci površinskih pomaka tla dobiveni satelitskom radarskom interferometrijom s pomoću satelitskog sustava Sentinel-1, Sl.3.



Sl. 3 Površinski pomaci tla izmjereni satelitskom radarskom interferometrijom nakon potresa 22. 3. 2020. godine (izvor: Markušić, S.; Stanko, D.; Korbar, T.; Belić, N.; Penava, D.; Kordić, B. The Zagreb (Croatia) M5.5 Earthquake on 22 March 2020. Geosciences 2

Sl.3 prikazuje područja Grada Zagreba na kojim su se nakon potresa 22. ožujka 2020. godine dogodili najveći ukupni pomaci tla, odnosno prikazana je razlika u prostornoj udaljenosti između snimanih objekata na tlu i satelita duž linije snimanja (engl. Line of Sight, skr. LOS) koja se može smatrati kombinacijom vertikalnih i horizontalnih pomaka. Vidljivo je da su najveći ukupni pomaci od 3 cm zabilježeni upravo na području epicentra zagrebačkog potresa, tj. na području Markuševca, te južno od epicentralnog područja, u blizini seizmografske stanice QUHS, na kojoj je mjerenjem i potvrđen iznos pomaka.

U okviru ovog elaborata oslanjati ćemo se na seizmičke podatke mjerene na postaji QUHS, te će se podaci s ove postaje primijeniti na procjenu hazarda na cijelom području grada Zagreba. Nadalje, definirati će se dodatni sintetički potres koji bi bio sukladan povratnom razdoblju od 475 godina iz Karte potresnih područja Republike Hrvatske izrađene na PMF-u (Prirodoslovno matematički fakultet – Geofizički odsjek), a koji se uobičajeno koristi za proračune granične nosivosti konstrukcija na potres. Očitano vršno ubrzanje tla će se uvećati za amplifikacijski faktor od 1,25, te će koristiti za procjenu oštećenja na hidrotehničkim građevinama u hipotetskoj potresnoj situaciji. Konačni PGA s kojim će se procjenjivati oštećenja je 0,29 g. Vršna brzina tla (PGV) se procijenila na vrijednost od 30 cm/s shodno odabranom PGA [27]. Dok se PGD sintetičkog potresa odabrao kao 4,5 cm, čime se zadovoljila pretpostavka da će PGD rasti u jednakom omjeru kao i PGV.

Zaključna tablica s referentnim potresnim parametrima koji su korišteni u ovom elaboratu je dana u Tabl. 3.

Tabl. 3 Potresni parametri za dva zagrebačka potresa i sintetički zagrebački potres povratnog perioda od 475 godina

Potresni parametri	PGA	PGV	PGD
	g	cm/s	m
1. Zag. potres	0,22 g	20,05	0,032
2. Zag. potres	0,06 g	2,59	0,0037
Sintetički Zag. potres 475 godišnjeg povratnog perioda	0,29 g	30,00	0,045

3. Vodoopskrbni sustav grada Zagreba

3.1 Opis sustava

Grad Zagreb leži na šljunkovitim aluvijalnim nanosima rijeke Save koje sadržavaju velike količine podzemne vode prirodno profiltrirane. Nakon filtracije koja traje tjednima i mjesecima, voda se u zdencima zahvaća pomoću pumpi, preventivno dezinficira plinovitim klorom i distribuira potrošačima putem vodoopskrbne mreže. Osnova koncepcije vodoopskrbnog sustava je prisilno podizanje vode u vodospremnike, uz distribuciju vode potrošačima. Takav sustav vodoopskrbe u Zagrebu funkcionira od 1878. godine, a crpljenje vode vrši se na 7 vodocrpilišta iz 30 zdenaca. Najznačajnija crpilišta su Mala Mlaka, Petruševac, Sašnak i Strmec. Dužina vodoopskrbne mreže iznosi cc 3.500 kilometara, a dnevno se crpi oko 310.000 kubnih metara vode. Sustav javne vodoopskrbe pokriva oko 800 kvadratnih kilometara, čime je opskrbljeno cca 900.000 tisuća stanovnika vodom. Današnja gradska vodovodna mreža obuhvaća gradsko područje od Samobora na zapadu do Vrbovca na istoku te od padina Sljemena na sjeveru do novih gradskih naselja na južnoj obali Save. Opskrba pitkom vodom neophodna je za piće, pripremu hrane, sanitarne uvjete, navodnjavanje itd. Također, voda (koja može biti i nepitka) je potrebna za hlađenje opreme i gašenje požara.

Ovisno o topografiji i lokalnim uvjetima, voda se može prenositi kroz vodove slobodnog protoka, zatvorene vodove ili kombinacijom oba načina. Stoga, dovod vode vrši se gravitacijskim protokom ili pod pritiskom visokotlačne pumpe. Vodoopskrbni sustavi sastoje se od različitih komponenti, kako je navedeno u nastavku:

- Vodocrpilišta
- Uređaja za obradu vode
- Crpne stanice
- Provodnika (cijevi, kanali)
- Vodospreme
- U budućnosti bi bilo dobro razviti i računalni sustav za nadzor, mjerenje i upravljanje industrijskim sustavima (SCADA)

3.2 Popis objekata

3.2.1 Vodocrpilišta

Osnovni izvori pitke vode grada Zagreba su izvorišta, plitki ili duboki bunari, rijeke, prirodna jezera i akumulacijski rezervoari. U mnogim gradovima bunari se koriste kao primarni i dodatni izvor vode. Za dovod vode na površinu koriste crpku, koja je smještena u zgradi zajedno s pripadajućom elektromehaničkom opremom.

Crpljenje vode vrši se na 7 vodocrpilišta iz 30 zdenaca. Vodocrpilišta su Mala Mlaka, Sašnak, Petruševac, Zapruđe, Žitnjak, Strmec i Velika Gorica (vodocrpilište je u nadležnosti tvrtke VG vodoopskrba d.o.o. Iz grada Velike Gorice, no 3 zdenca se mogu koristiti za potrebe zagrebačkog vodoopskrbnog sustava), te kaptažnom sustavu Slapnica-Lipovec.

Na vodoopskrbnom području postoje i izvorišta koja su van funkcije zbog zagađenja vode (organska otapala, lakotopive soli i mineralna ulja), nemogućnosti osiguranja zona sanitarne zaštite izvorišta, zastarjelosti opreme i lošeg stanja objekta. To su gradska izvorišta: Branimirova, Vrapče, Remetinec, Botanički vrt, Zagorska, Dančićeva, Selska, Vrbik, Zadarska, Držićeva, Horvati, Prečko, Stara loza i Ivanja Reka.

Za potrebe vodoopskrbe grada Zagreba, koriste se izvorišta za koje je tvrtka vodoopskrba i odvodnja d.o.o. stekla pravo zahvaćanja voda u količinama kako slijedi po pojedinim izvorištima:

Tabl. 4 Izdane vodopravne dozvole po pojedinim izvorištima, te izdašnost izvorišta

Izvorište / vodozahvat	Vodopravna dozvola		Instalirana izdašnost izvorišta
	Q (m ³ /god)	Q (l/s)	Q (l/s)
Mala Mlaka	31 100 000	1 000	1 500
Petruševac	43 000 000	1 400	1 000
Sašnak	26 800 000	850	900
Zapruđe	10 090 000	320	700
Žitnjak	1 890 000	60	120
Strmec	20 500 000	650	300
Slapnica i Lipovec	2 520 000	80	83
Bregana	2 210 000	70	
UKUPNO:	138 110 000	4 430	3703

Detaljan popis objekata vodocrpilišta i njezin prostorni prikaz je dan u prilogu ovog dokumenta (poglavlje 8.1.1).

Ekspertnom procjenom ukupna građevinska vrijednost svih vodocrpilišta u gradu Zagrebu iznosi 26,000,000.00 EUR.

3.2.2 Uređaji za obradu vode

Uređaji za pročišćavanje vode su složeni objekti koji se sastoje od nekoliko povezanih fizikalno-kemijskih procesa čija je uloga poboljšati kvalitetu vode. Uobičajene komponente uključuju presedimentacijske bazene, aeratore, spremnike zadržavanja vode, flokulatore, taložnike, spremnike za ispiranje, provodnike i kanale, filtre od ugljenog pijeska ili pijeska, spremnike za miješanje, taložne spremnike, čiste bunare, i spremnike za kemikalije.

Zahvaćena podzemna voda na vodozahvatima grada Zagreba dodatno se obrađuje na vodozahvatu Sašnak i vodozahvatu Petruševac, dok se na svim ostalim vodozahvatima nakon preventivne dezinfekcije izravno isporučuje u vodoopskrbni sustav.

Ekspertnom procjenom ukupna građevinska vrijednost svih uređaja za obradu vode u gradu Zagrebu iznosi 2,300,000.00 EUR.

3.2.3 Crpne stanice

Crpna stanica je objekt koji povećava tlak vode u prijenosnom i distribucijskom sustavu. Obično uključuje zgrade, uvozne strukture, crpke i motorne jedinice, cijevi, ventile te pripadajuću električnu i upravljačku opremu. Glavni tipološki parametri uključuju veličinu, usidrenost podkomponenti, opremu i rezervno napajanje.

Ekspertnom procjenom ukupna građevinska vrijednost svih crpnih stanica u gradu Zagrebu iznosi 15,545,000.00 EUR.

Detaljan popis crpnih stanica je dan u prilogu ovog dokumenta (poglavlje 8.1.2).

3.2.4 Cjevovodi

Vodovodni cjevovodi mogu biti otvoreni ili pod pritiskom. Provodnici slobodnog protoka imaju ograničenu primjenu u vodoopskrbi zbog opasnosti od onečišćenja pročišćene vode. Međutim, koriste se za prijenos „sirove“ vode. Tipologija cijevi uglavnom ovisi o sljedećim karakteristikama: položaju (ukopano, povišeno ili pod vodom), materijalu (vrsta, čvrstoća), geometrija (promjer, debljina stijenke), vrsta spojeva, kontinuitet (segmentirani ili kontinuirani elementi) i korozivnost (starost i uvjeti tla).

Vodoopskrbna mreža vodoopskrbe i odvodnje d.o.o. Zagreb, duga je ukupno 3.177,6 km. U nastavku su date tablice izvedene s podacima o duljini cjevovoda prema materijalu, profilu i starosti.

Tabl. 5 Duljina i udio cjevovoda u vodoopskrbnom sustavu prema vrsti materijala

Materijal (oznaka)	Duljina (km)	Duljina (%)
Azbest-cement (AC)	177,5	5,6%
Čelik (ČE)	138,0	4,3%
Polietilen (PE)	884,8	27,8%
Nodularni lijev (NL)	231,1	7,3%
Lijevano željezo (LJŽ)	1.057,9	33,3%
Polivinil klorid (PVC)	104,8	3,3%
Nepoznat	583,5	18,4%
UKUPNO	3.177,6	100%

Tabl. 6 Duljina i udio cjevovoda u vodoopskrbnom sustavu prema promjeru

Promjer (mm)	Duljina (km)	Duljina (%)
<90	226,4	7,1%
90-150	1.270,7	40,0%
150-300	1.078,9	34,0%
300-500	149,7	4,7%
≥500	195,2	6,1%
NEPOZNATI	256,7	8,1%
UKUPNO	3.177,6	100%

Tabl. 7 Duljina i udio cjevovoda u vodoopskrbnom sustavu prema godini izgradnje

Godina izgradnje	Duljina (km)	Duljina (%)
<1950	105,8	3,3%
1950-1980	453,7	14,3%
1980-2000	705,4	22,2%
2000-2010	847,7	26,7%
2010-2018	169,1	5,3%
NEPOZNATA	895,8	28,2%
UKUPNO	3.177,6	100%

3.2.5 Vodosprema

Vodospreme se mogu nalaziti na početku, duž ili na kraju vodoopskrbnog sustava. Njihova je funkcija skladištiti vodu, osigurati dodatni volumen, te pružiti vrijeme zadržavanja za dezinfekciju i druge svrhe. Glavne tipološke značajke uključuju materijal (beton, čelik, drvo), veličinu, sidrenje, položaj (na razini tla ili povišeno), vrstu krova, seizmički dizajn, vrstu temelja i tehniku izgradnje.

Prema podacima VIO Zagreb, ukupni volumen vodospremičkog prostora koji su u funkciji je 136.630 m³, od čega je na zagrebačkom području 127.850 m³, a na samoborskom području 8.780 m³. Ukupni volumen svih vodosprema iznosi 139.290 m³ od kojih je izvan funkcije volumen od 2.660 m³. U nastavku je dana tablica sa osnovnim podacima o vodospremicima.

Ekspertnom procjenom ukupna građevinska vrijednost svih vodosprema u gradu Zagrebu iznosi 9,939,480.00 EUR.



Tabl. 8 Popis vodosprema s osnovnim podacima

R.br.	Vodosprema	Godina izgradnje	Status	Volumen [m ³]	Broj vodnih komora	Kota dna komore [m n.m.]	Kota preljeva [m n.m.]
1	Adamovec		u funkciji	630	2	183,88	189,28
2	Anindol		nije u funkciji	30	1	203,16	207,64
3	Bukovje	2003	u funkciji	100	1	500,92	504,00
4	Stražnik	1985	u funkciji	60	1	203,00	205,60
5	Trstenik		u funkciji	50	1	296,70	300,00
6	Vrhovec		u funkciji	500	2	260,00	264,50
7	Bizek i		u funkciji	2.000	2	266,83	272,50
8	Goli vrh (Mala Jazbina)		nije u funkciji	1.000	2	269,20	273,00
9	Božeki		u funkciji	-	1	333,94	337,92
10	Konšćica	1996	u funkciji	200	2	316,60	320,00
11	Čudomersćak	1914	nije u funkciji	280	1	259,85	262,85
12	Braslovje - rude	2009	u funkciji	200	2	334,81	338,91
13	Otruševac	1976	U FUNKCIJI	100	1	312,50	315,00
14	Bogdanovićevo	1970	u funkciji	1.000	1	211,50	215,00
15	Trsje		u funkciji	5.000	2	258,76	264,50
16	Cerje Samoborsko	1976	u funkciji	50	1	463,69	467,00
17	Grad mladih (Granešina)	1950	u funkciji	500	2	246,80	250,00
18	Črešnjevac		u funkciji	1.800	2	257,93	263,40
19	Dešćevac		nije u funkciji	20	1	348,6	353,60
20	Falašćak	1972	u funkciji	100	1	284,66	287,18
21	Biškupec Breg II (stara)		u funkciji	250	1	341,00	344,14
22	Jambrešići		nije u funkciji	-	1	-	-
23	Giznik	1984	u funkciji	300	1	243,27	247,42
24	Cerje Zagreb	2014	u funkciji	10.000	2	166,52	172,00
25	Glavnica Gornja		u funkciji	100	2	299,04	302,50
26	Lisičina		u funkciji	16.430	2	177,45	185,50
27	Oporovec		u funkciji	17.500	2	177,76	185,50
28	Sokolovac		u funkciji	10.000	2	180,71	185,50
29	Gradišće		u funkciji	150	2	305,52	309,44
30	Tuškanac	1903	u funkciji	10.000	2	181,70	185,50
31	Horvatica		u funkciji	250	2	229,36	233,00
32	Jačkovina		u funkciji	1.650	2	179,76	185,78
33	Jazbina Podvrh	1981	nije u funkciji	1.000	1	137,06	-
34	Biškupec Breg I (nova)		u funkciji	700	1	340,00	344,14
35	Jelenske Vode		u funkciji	40	1	759,15	761,51
36	Jelensćak	1996	u funkciji	200	2	264,20	268,00
37	Kupinečki Kraljevec		u funkciji	300	2	212,00	214,96
38	Kašina		nije u funkciji	300	2	-	249,02
39	Moravče		u funkciji	200	2	249,32	252,40
40	Konšćica (stara)		nije u funkciji	-	1	294,96	-
41	Jurjevska	1878	u funkciji	1.600	1	181,50	185,50
42	Sveta Nedjelja	1990	u funkciji	4.000	2	179,83	185,50
43	Kralji 2		nije u funkciji	-	1	-	-

R.br.	Vodosprema	Godina izgradnje	Status	Volumen [m ³]	Broj vodnih komora	Kota dna komore [m n.m.]	Kota preljeva [m n.m.]
44	Bizek II		u funkciji	600	2	345,92	350,00
45	Hercegov Gaj		u funkciji	2.000	2	268,50	273,50
46	Kučilovina		u funkciji	100	2	298,20	302,00
47	Goranec		u funkciji	150	2	270,00	273,95
48	Kralji		u funkciji	500	2	219,00	223,36
49	Lukšić		u funkciji	1.000	2	287,81	292,50
50	Mala Rakovica		u funkciji	100	1	268,69	273,00
51	Medvedski Breg		u funkciji	1.000	2	372,93	377,85
52	Bukovac		u funkciji	20.000	4	180,00	184,70
53	Noršić selo	1982	u funkciji	100	1	678,70	681,80
54	Kotari	2003	u funkciji	30	1	567,60	570,00
55	Piramida (nova)		u funkciji	400	2	1.024,00	1.028,25
56	Stojdraga	1931	u funkciji	30	1	522,00	525,00
57	Prekrižje 1		u funkciji	1.000	1	259,18	264,50
58	Prekrižje 2	1903	u funkciji	1.000	2	258,66	264,50
59	Rakov potok		u funkciji	400	2	221,00	225,00
60	Remete 1		u funkciji	2.000	1	258,65	264,25
61	Teškovec		u funkciji	1.000	2	343,35	348,00
62	Slava gora	1996	u funkciji	150	2	414,50	418,00
63	Laščina		u funkciji	10.000	2	169,50	173,50
64	Beder - Javorek	1971	u funkciji	60	1	513,80	517,00
65	Sv. Juraj	1942	nije u funkciji	30	1	302,35	304,40
66	Sv. Juraj (nova)		u funkciji	200	2	313,26	317,26
67	Lončaričev put		u funkciji	1.000	2	261,50	266,50
68	Šestinski vrh		u funkciji	1.500	2	336,71	342,50
69	Bregana	1950	u funkciji	800	2	223,50	226,00
70	Glavnica donja		u funkciji	150	2	269,85	273,95
71	Bidrovec		u funkciji	50	1	320,34	323,49
72	Jarušje	1986	u funkciji	100	1	641,25	644,00
73	Tuškanac 2	1912	u funkciji	5.000	2	181,70	185,50
74	Vila Rebar (Dolje)		u funkciji	30	1	385,00	388,00
75	Vrhovčak		u funkciji	100	1	336,74	339,54
76	Dragonožec		u funkciji	120	2	247,00	250,00
77	Žlebec		nije u funkciji	-	1	-	-

3.2.6 Ostali objekti sustava vodoopskrbe

U okviru sustava vodoopskrbe postoje i drugi objekti bez kojih sustav ne može normalno funkcionirati kao što su prekidne komore, revizijska okna, objekti za smanjenje tlaka itd. U okviru ove studije procijenjeno je da se radi o objektima manje osjetljivim na potresna djelovanja te da ne doprinose značajno potresnom riziku Grada Zagreba. Osim toga, procjenjuje se da je na dotičnim objektima moguće relativno brzo otkloniti kvarove nastale uslijed potresa te sustav staviti u puni pogon.

3.3 Opis mehanizama oštećenja i modova sloma

U dosadašnjim potresima, većina oštećenja kod vodoopskrbnog sustava je primijećena na cijevima, a zatim i na crpnim stanicama, vodospremnima, te uređajima za obradu vode. Oštećenja cjevovoda uglavnom su uzrokovana trajnom deformacijom tla zbog likvefakcije, klizišta i površinske rupture rasjeda. Međutim, oštećenja zbog privremenog gibanja tla također su prilično česta. Krutost cijevi, vrsta spojeva, starost i korozija neki su od čimbenika koji utječu na seizmički odziv elemenata vodoopskrbnog sustava. Razina oštećenja uzrokovana kvarovima vodoopskrbnih sustava usko je povezana s vremenom obnove i brojem korisnika. Važni čimbenici za vrijeme obnove su opseg i raspodjela oštećenja, organizacija vodovodne mreže uključujući dostupnost osoblja i rezervnih dijelova vodovodnih elemenata, kao i interakcije između različitih sustava nakon potresa (npr. cijevi različitih komunalnih sustava koje prolaze kroz istu rovovsku jamu ili koordinacija ljudi za popravke različitih komunalnih mreža). Na primjer, nakon potresa Hyogo-ken Nanbu (Kobe) 1995. godine, obnova je trajala 14 dana i uključivala je 450 ljudi. Popravljen je oko 1.757 oštećenja glavnog vodovodnog sustava, dok u sekundarnoj mreži bilo oko 62.300 popravaka [1, 2]. Vrijeme obnove nakon potresa Northridge 1994. godine iznosilo je otprilike 7 dana [3,4,5], dok je vodoopskrbni sustav bio gotovo odmah funkcionalan nakon potresa Loma Prieta 1989. godine [6]. Općenito, kvarovi vodoopskrbnih sustava mogu uključivati nemogućnost mreže za:

- Osiguranjem dostupne vode i tlaka za gašenje požara na krajnjem čvoru
- Zadovoljenjem potreba korisnika tijekom ljetnih razdoblja s maksimalnom dnevnom potrošnjom
- Osiguranjem vode svim korisnicima neovisno o regiji i nadmorskoj visini

Na temelju empirijskih opažanja i strukturne analize, čini se da su vodospreme čije je ispunjenost veća od 50% osjetljiviji na potrese [7]. Važan faktor za seizmički odgovor spremnika je omjer visine prema radijusu. Prema [8] glavni načini otkazivanja vodosprema su: otkazivanje ovojnice vodospreme, oštećenje krova i ostalih čeličnih komponenata, otkazivanje sidara, otkazivanje temelja, otkazivanje potpornog sustava, otkazivanje uzrokovano hidrodinamičkim pritiskom, otkazivanje spojnih cijevi i otkazivanje inspekcijskih otvora (šahtova).

Glavni načini otkazivanja uređaja za pročišćavanje vode i njegovih elemenata opisani su prema [8] i uključuju oštećenje u građevini za preusmjeravanje, zgradi za kontrolu ulaza vode, zgradi s ugrađenom rešetkom, građevini za uklanjanje pijeska i aeraciju vode, zgradi koja se bavi kemijskim tretmanom, bazenima za miješanje-koagulaciju i taloženje, post-kloriranju, građevini za kontrolu izlazne vode.

Crpne stanice su složeni sustavi s nekoliko komponenti, stoga su oštećenja usko povezana s načinima otkazivanja njihovih podkomponenti.

Izravna oštećenja cjevovoda su pucanje i curenje; za postotak curenja i pucanja bitan je promjer cijevi [9]. Također ovisi i o vrsti opasnosti, brzini širenja i otkazivanju tla. Oštećenje segmentiranih cijevi (npr. lijevane željezne cijevi s utisnutim spojevima) bit će veliko pri prijelazu preko površinskih rasjeda prema [14, 15]. Osim toga, pucanje cijevi događa se zbog relativnih vertikalnih (diferencijalnih) slijezanja na prijelaznim zonama od nasipa prema boljem tlu, i na područjima aluvijalnih tala sklonim lokaliziranoj likvefakciji. Puknuća mogu nastati i tamo gdje cijevi ulaze u spremnike ili zgrade. Klizišta također mogu izazvati lokalizirana i teška oštećenja zakopanih cijevi. Dosadašnjim iskustvom pokazalo se da zavarene cijevi s otklonima, koljenima i lokalnim ekscentričnostima koncentriraju deformacije na tim dijelovima, posebno ako se razvijaju trajne deformacije tla. Segmentirane cijevi s krutim brtvljenjem ne toleriraju velika kretanja prije nego dođe do curenja. Oštećenja cijevi obično se koncentriraju na diskontinuitetima kao što su koljena, spojke, ventili, stabilizacijski blokovi i servisni priključci. Takve značajke stvaraju

točke sidrenja ili čvrste lokacije koje potiču koncentraciju sile/naprezanja. Lokalno visoka naprezanja također mogu nastati na spojevima cijevi sa susjednim konstrukcijama (npr. spremnici, zgrade i mostovi). Starost i korozija će naglasiti oštećenja, posebno kod segmentiranih čeličnih, navojnih čeličnih i lijevanih željeznih cijevi. Učinci starosti mogu biti snažno povezani s učincima korozije. Korozija oslabljuje cijevi smanjenjem debljine materijala i stvaranjem koncentracije naprezanja.

3.4 Krivulje osjetljivosti („fragility curves“)

Postoji niz definicija krivulja (funkcija) osjetljivosti; jedna od njih opisuje krivulje osjetljivosti kao vjerojatnost prekoračenja različitih graničnih stanja (kao što je materijalna šteta) s obzirom na razinu podrhtavanja tla. Dakle, krivulja osjetljivosti daje ovisnost između intenziteta podrhtavanja tla, najčešće vršnog horizontalnog ubrzanja tla ili skr. *PGA*, i vjerojatnosti prekoračenja određenog graničnog stanja. Granična stanja se definiraju prema razini oštećenja kao malo, srednje, veliko i totalno oštećenje.

Krivulje osjetljivosti obično se definiraju na temelju statističke obrade prikupljenih podataka nakon potresa, pri čemu se prikupljaju i obrađuju podaci o tipologiji oštećenih objekata, svojstvima materijala, razini protupotresne otpornosti objekata, starosti, uvjetima temeljenja itd. Svi podaci se grupiraju u specifične kategorije (npr. crpne stanice s usidrenim komponentama i one bez), te se empirijskim metodama utvrđuju krivulje koje najbolje opisuju prikupljene podatke. Uz empirijske metode još se koriste i analitičke metode koje koriste razne matematičke modele za modeliranje interakcije potresa i konstrukcije te metode ekspertne procjene. Nesigurnost, odnosno raspršenje prikupljenih terenskih podataka se mjeri pomoću standardne devijacije (β) koja se daje za svaku krivulju osjetljivosti.

Za cjevovode se koriste krivulje osjetljivosti kojima se pomoću empirijski utvrđenog izraza procjenjuje stupanj oštećenja vodoopskrbne mreže, a u pravilu se iskazuje kao broj oštećenja (puknuća i prekomjernih deformacija koje zahtijevaju sanaciju, tj. popravak) po jedinici duljine cjevovodne mreže ili veličina oštećenja (malo, srednje, veliko ili totalno) za točkaste objekte, odnosno zgrade koje su sastavni dio vodoopskrbe mreže. Krivuljom osjetljivosti se, dakle, uspostavlja funkcijski odnos između broja oštećenja na vodoopskrbnoj mreži i stupnja pobude tla uslijed seizmičkog događaja, najčešće putem vršne horizontalne brzine tla (skr. *PGV*), vršnog horizontalnog ubrzanja tla (skr. *PGA*) i/ili trajnog pomicanja tla (skr. *PGD*).

Empirijski izraz krivulje osjetljivosti obično se definira na temelju statističke obrade podataka nakon potresa, pri čemu se prikupljaju i obrađuju podaci o utvrđenim ili izvršenim sanacijama (popravicima) u funkciji duljine, načina spajanja, starosti te materijala vodoopskrbne mreže, a u ovisnosti o parametrima seizmičke pobude. Međutim, još uvijek ne postoji cjelovita relevantna baza podataka, kao ni odgovarajuće sveobuhvatno istraživanje za sve tehničke parametre vodoopskrbne mreže u odnosu na seizmičke parametre.

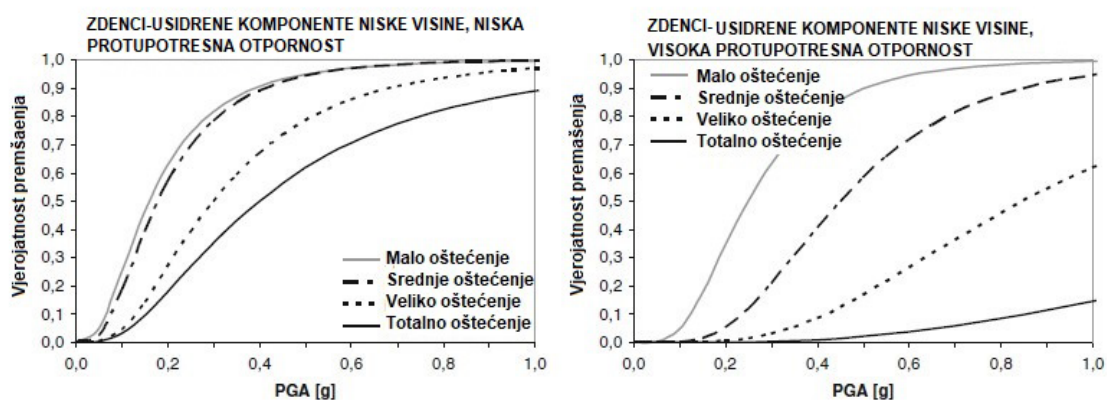
Ovim se krivuljama mogu uvažiti kako oštećenja nastala uslijed širenja seizmičkih valova, tako i oštećenja uslijed deformacija tla koja se najčešće ogledaju kroz pojavu klizišta, rasjeda, slijeganja i likvefakcije tla.

Općenito, oštećenja vodoopskrbne mreže uslijed seizmičkog događaja mogu se pripisati tzv. „privremenim“ (kratkotrajnim, tj. tranzijentnim) deformacijama tla, te trajnim deformacijama tla, odnosno objema vrsta deformacija. Privremene deformacije nastaju kao rezultat širenja različitih seizmičkih valova, pri čemu nastale štete uvažavaju učinak širenja valova i efekta podrhtavanja tla

(uključujući i amplifikaciju valova). Oštećenje vodoopskrbne mreže zbog efekata privremenih deformacija koreliraju s količinom gibanja tla, tj. mjerenim ili procijenjenim seizmičkim parametrima kao što su modificirani Mercallijev intenzitet, vršno ubrzanje tla (PGA), vršna brzina tla (PGV), vršno pomicanje tla, spektralno ubrzanje, spektralna brzina te spektralni intenzitet. Trajne deformacije tla najčešće se ogledaju kroz pojavu klizišta, rasjeda, slijeganja i likvefakcije tla.

3.4.1 Vodocrpilište

Krivulje osjetljivosti predložene u grčkom projektu [11] mogu se koristiti za procjenu osjetljivosti izvorišta (zdenaca) (Tabl. 9, Sl. 4). Krivulje osjetljivosti prikazane na Sl. 4 odnose se na one zdence čije su elektromehaničke komponente usidrene u konstrukciju te im je na taj način ograničeno gibanje uslijed potresa. Podjela na građevine s visokom i niskom protupotresnom otpornošću odnosi se na materijal izvedbe, konstrukcijske protupotresne elemente i starost građevine. Za potrebe proračuna u pogl. 3.5.1 pretpostavljeno je da sva vodocrpilišta spadaju u kategoriju visoke protupotresne otpornosti.



Sl. 4 Krivulje osjetljivosti za vodocrpilišta (zdenaci) sa usidrenim komponentama, armirano betonski niske građevine sa niskom (lijevo) i visokom (desno) protupotresnom otpornošću

Tabl. 9 Parametri krivulja osjetljivosti za vodocrpilišta (zdence), [11]

Vršno ubrzanje tla (PGA)			
Opis	Stupanj oštećenja	Medijan (g)	β (standarna devijacija)
Usidrene komponente (Armirano betonske niske građevine s niskom protupotresnom otpornošću)	Malo	0.16	0.70
	Srednje	0.18	0.65
	Veliko	0.30	0.65
	Totalno	0.40	0.75
Usidrene komponente (Armirano betonske niske građevine s visokom protupotresnom otpornošću)	Malo	0.25	0.55
	Srednje	0.45	0.5
	Veliko	0.85	0.55
	Totalno	2.10	0.7

Tabl. 10 Opis stupnja oštećenja za vodocrpilišta (zdence), [11]

Stupanj oštećenja	Opis	Trošak popravka (%)	Upotrebljivost	
Malo	Neispravnost pumpe i motora zdenca na kratko vrijeme (manje od 3 dana) zbog nestanka električne energije i pomoćnog napajanja, ukoliko postoje, ili manje oštećenje građevine	10-30	Normalan protok i tlak vode	Operativan nakon ograničenih popravaka
Srednje	Neispravnost pumpe i motora zdenca na oko tjedan dana zbog gubitka električne energije i pomoćnog napajanja, ukoliko postoje, znatna šteta mehaničke i električne opreme, ili umjereno oštećenje građevine	30-50	Smanjen protok i tlak vode	Operativan nakon popravka
Veliko	Velika oštećenja građevine ili velike deformacije pumpe zdenca i vertikalnog okna	50-75	-	Djelomično operativno nakon većih popravaka
Totalno	Srušena građevina	75-100	Bez vode	Ne popravljivo

Alternativno, mogu se koristiti i krivulje osjetljivosti iz HAZUS metodologije [10] za vodocrpilišta (zdence). Definicije stupnja oštećenja su iste kao i u Tabl. 10.

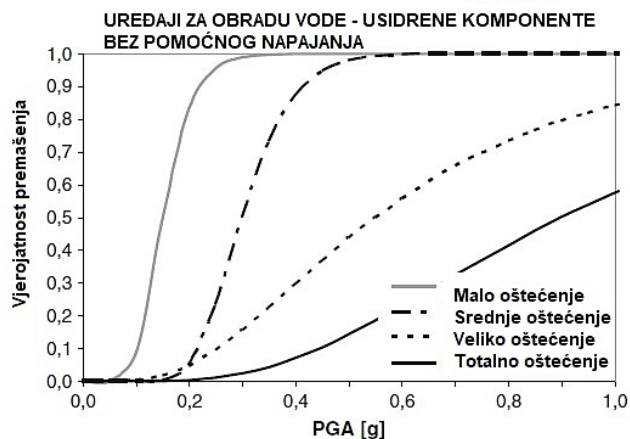
3.4.2 Uređaji za obradu vode

Krivulje osjetljivosti predložene u knjizi [11] mogu se koristiti za procjenu osjetljivosti uređaja za obradu voda. (Tabl. 11, Sl. 5). Krivulje osjetljivosti prikazane na Sl. 5 odnose se na one uređaje čije su

elektromehaničke komponente usidrene u konstrukciju te im je na taj način ograničeno gibanje uslijed potresa.

Tabl. 11 Parametri krivulja osjetljivosti za uređaje za obradu vode, [11]

Vršno ubrzanje tla (PGA)			
Opis	Stupanj oštećenja	Medijan (g)	β (standarna devijacija)
Uređaji za obradu vode s usidrenim komponentama	Malo	0.15	0.30
	Srednje	0.30	2
	Veliko	0.55	0.60
	Totalno	0.9	0.55



Sl. 5 Krivulje osjetljivosti za uređaje za obradu vode (usidrene komponente), [11]

Tabl. 12 Opis stupnja oštećenja uređaja za obradu vode, [11]

Stupanj oštećenja	Opis	Trošak popravka (%)	Upotrebljivost	
Malo	Neispravnost rada postrojenja na kratko vrijeme (manje od 3 dana) zbog nestanka električne energije, značajnog oštećenja različite opreme, manjeg oštećenja taložnih bazena i kloracijskih spremnika, ili manjeg oštećenja kemijskih spremnika. Može doći do gubitka kvalitete vode.	10-30	Normalan protok i tlak vode	Operativan nakon ograničenih popravaka
Srednje	Neispravnost rada postrojenja na oko tjedan dana zbog nestanka električne energije, velikog	30-50	Smanjen protok i tlak vode	Operativan nakon popravka

	oštećenja različite opreme, značajnog oštećenja taložnih bazena i kloracijskih spremnika bez gubitka sadržaja, ili značajnog oštećenja kemijskih spremnika. Gubitak kvalitete vode je neminovan.			
Veliko	Velika oštećenja cijevi koje povezuju različite bazene i kemijske jedinice. Vjerojatno će doći do zaustavljanja rada postrojenja.	50-75	-	Djelomično operativno nakon većih popravaka
Totalno	Potpuni kvar svih cjevovoda ili veliko oštećenje građevine.	75-100	Bez vode	Ne popravljivo

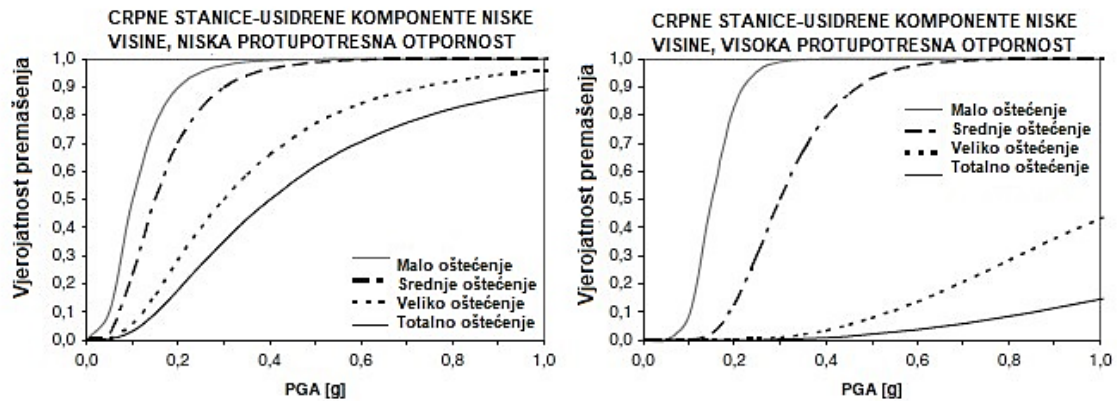
Alternativno, mogu se koristiti i krivulje osjetljivosti iz HAZUS metodologije [10] za uređaje za obradu vode. Definicije stupnja oštećenja su iste kao i u Tabl. 12.

3.4.3 Crpne stanice

Krivulje osjetljivosti predložene u knjizi [11] mogu se koristiti za procjenu osjetljivosti crpnih stanica (Tabl. 13, Sl. 6). Krivulje osjetljivosti prikazane na Sl. 6 odnose se na one crpne stanice čije su elektromehaničke komponente usidrene u konstrukciju te im je na taj način ograničeno gibanje uslijed potresa. Podjela na građevine s visokom i niskom protupotresnom otpornošću odnosi se na materijal izvedbe, konstrukcijske protupotresne elemente i starost građevine. Za potrebe proračuna u pogl. 3.5.3 pretpostavljeno je da sve crpne stanice spadaju u kategoriju visoke protupotresne otpornosti.

Tabl. 13 Parametri krivulja osjetljivosti za crpne stanice, [11]

Vršno ubrzanje tla (PGA)			
Opis	Stupanj oštećenja	Medijan (g)	β (standarna devijacija)
Usidrene komponente (Armirano betonski niske građevine s niskom protupotresnom otpornošću)	Malo	0.10	0.55
	Srednje	0.15	0.55
	Veliko	0.30	0.70
	Totalno	0.40	0.75
Usidrene komponente (Armirano betonski niske građevine s visokom protupotresnom otpornošću)	Malo	0.15	0.30
	Srednje	0.30	0.35
	Veliko	1.1	0.55
	Totalno	2.1	0.70



Sl. 6 Krivulje osjetljivosti za crpne stanice sa usidrenim komponentama, armirano betonske niske građevine sa niskom (lijevo) i visokom (desno) protupotresnom otpornošću, [11]

Tabl. 14 Opis stupnja oštećenja crpne stanice, [11]

Stupanj oštećenja	Opis	Trošak popravka (%)	Upotrebljivost	
Malo	Neispravnost rada postrojenja na kratko vrijeme (manje od 3 dana) zbog nestanka električne energije, ili manjeg oštećenja građevine.	10-30	Normalan protok i tlak vode	Operativan nakon ograničenih popravaka
Srednje	Gubitak električne energije na oko tjedan dana, značajno oštećenje mehaničke i električne opreme ili umjereno oštećenje građevine.	30-50	Smanjen protok i tlak vode	Operativan nakon popravka
Veliko	Veliko oštećenje građevine ili veliko, nepopravljivo oštećenje pumpe	50-75	-	Djelomično operativno nakon većih popravaka
Totalno	Srušena građevina	75-100	Bez vode	Ne popravljivo

Alternativno, mogu se koristiti i krivulje osjetljivosti iz HAZUS metodologije [10] za uređaje za obradu vode. Definicije stupnja oštećenja su iste kao i u Tabl. 14.

3.4.4 Cjevovodi

U europskom kontekstu na temelju studija validacije opisanih u [11], smatra se da HAZUS [10] funkcije osjetljivosti za vodovodne cijevi prikladno procjenjuju ukupan broj popravaka, kako uzrokovane propagacijom valova tako i uzrokovane propadanjem tla, posebno u slučaju krhkih cijevi. Stoga, za oštećenja uzrokovana propagacijom valova može se koristiti jedn. 1. Jednadžba je funkcija brzine tla PGV (cm/s), te pruža dobru procjenu broja popravka (parametar RR je broj popravaka po kilometru) [12]:



$$RR = K \cdot (0.0001 \cdot PGV^{2.25}) \quad (1)$$

Za deformaciju tla, odnosno gubitak nosivosti tla koristi se jedn. 2., gdje PGD (m) predstavlja trajnu deformaciju tla u metrima [13]:

$$RR = K \cdot (7.821 \cdot PGD^{0.56}) \quad (2)$$

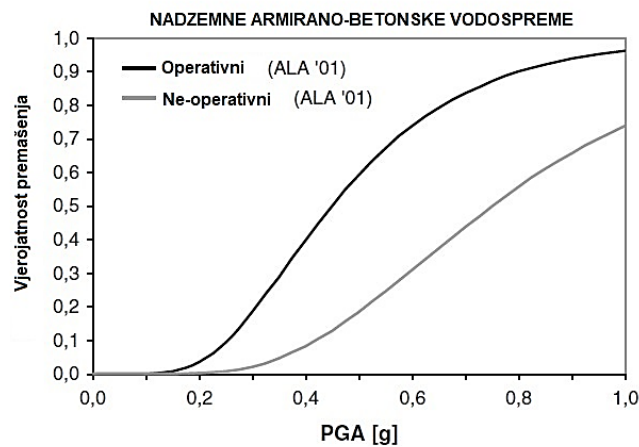
Korekcijski parametar K za obje jednadžbe iznosi 1 za krhke cijevi, te 0.3 za duktilne cijevi.

Relativni odnos ovih deformacija određuje koja će deformacija tla imati prevladavajući utjecaj na odziv cjevovoda. Privremene deformacije općenito uzrokuju mnogo manje razine naprezanja i deformacija cjevovoda, ali budući da obuhvaćaju šire područje, oštećenja na cjevovodima uslijed ovih deformacija mogu biti dominantna (npr. polovica oštećenja na vodoopskrbnoj mreži u San Fernandu, Kalifornija, SAD, u potresu 1971. godine pripisana je privremenim deformacijama). Ovakva oštećenja opažaju se kada postoji pulsacija vršne brzine tla ili gdje karakteristike tla utječu na povećanje pomaka cjevovoda (amplifikacija valova).

Obično se za vodoopskrbne mreže uslijed širenja seizmičkih valova, tj. privremenih deformacija, može očekivati da 15-20% oštećenja predstavljaju nova puknuća, a ostatak druga curenja nastala uslijed diferencijalnih pomaka između vodovodnih cijevi, oblikovnih komada i vodovodnih armatura. Također, uslijed trajnih deformacija, može se očekivati da će 80-85 % oštećenja biti nova puknuća koja dovode do gubitka hidrauličkog, tj. opskrbnog potencijala vodoopskrbne mreže. Međutim, navedeno treba uzeti sa znatnom rezervom budući da pojedine studije navode i drugačije (čak i podjednake) omjere.

3.4.5 Vodospreme

U Europi, najčešći tip vodospreme je armirano-betonski bez sidrenja, te ne postoje posebne studije za procjenu njihove osjetljivosti. Preporučuju se empirijske krivulje osjetljivosti koje su razvijene od strane [14, 15] izložene utjecajima podrhtavanja ili deformacije tla (Tabl. 15, Sl. 7). Funkcije su temeljene na velikom broju empirijskih podataka koji se smatraju najnovijim i najpotpunijim. Prikazane krivulje osjetljivosti koje su korištene za potrebe proračuna u pogl 3.5.5 odnose se samo na betonske vodospreme koje čine veliku većinu tipova vodosprema u Gradu Zagrebu u odnosu na ostale (metalne, drvene itd.).



Sl. 7 Krivulje osjetljivosti za nadzemne armirano-betonske vodospreme izložene propagaciji valova [14, 15]

Tabl. 15 Krivulje osjetljivosti za armirano-betonske vodospreme sa sidrenjem na razini tla (propagacija valova), [14, 15]

Vršno ubrzanje tla (PGA)			
Način otkazivanja	Upotrebljivost	Medijan (g)	β (standarna devijacija)
Podizanje zida-lom betona Puknuće ili smicanje zida vodospreme Klizanje	Ne-operativno	1.30	0.50
		1.60	0.50
		1.10	0.50
Pretjerano naprezanje obruča	Operativno	4.10	0.50

3.5 Procjena oštećenja građevina

U nastavku se daje tablični prikaz procijenjenog broja oštećenja na postojećem vodoopskrbnom sustavu sukladno utvrđenim odgovarajućim krivuljama osjetljivosti i pripadnim utjecajnim parametrima (pogl. 3.4), prema najvećim izmjerenim vrijednostima parametara seizmičke pobude, PGA , PGV i PGD (pogl. 2), na mjernim stanicama na području Grada Zagreba, te sintetičkom potresu povratnog period od 475 godina. U donjoj tablici daje se procijenjena tablica troškova popravka određene kategorije oštećenje koja se procjenjuje iz Tabl. 10, Tabl. 12 i Tabl. 14. Građevinska vrijednost iz tablice određuje se kao trošak zamjene postojećeg objekta.

Tabl. 16 Tablica troškova popravka određene kategorije oštećenja iskazane u postotku ukupne građevinske vrijednosti

	Troškovi obnove u % građevinske vrijednosti za vodocrpilišta, uređaje za obradu voda i vodospreme (u zagradi za crpne stanice)
Malo oštećenje	20.00% (10.00%)
Srednje oštećenje	40.00% (50.00%)
Veliko oštećenje	60.00% (60.00%)
Totalno oštećenje	100.00% (100.00%)

3.5.1 Vodocrpilišta

Prema metodologiji danoj u poglavlju 3.4.1, ovdje su dane procjene kategorija oštećenja te troškova obnove kao okvir potresnog hazarda grada Zagreba.

Tablični iskaz udjela nastalih kategorija oštećenja svih vodocrpilišta u gradu Zagrebu i pripadnog troška obnove po pojedinoj kategoriji kao i ukupnog troška obnove nastalih oštećenja uslijed prvog zagrebačkog potresa ($M = 5,5$) je dan u Tabl. 17. Za drugi zagrebački potres ($M = 4,9$) i sintetički potres povratnog period od 475 godina troškovi obnove su dani u Tabl. 18 i Tabl. 19.

Tabl. 17 Tablica troškova obnove oštećenja na vodocrpilištima grada Zagreba za prvi zagrebački potres ($M=5.5$)

				Protupotresno projektirane građevine	Nisu protupotresno projektirane građevine
	Udio protupotresno projektiranih građevina		%	100.00%	0.00%
Prvi zagrebački potres ($M=5.5$, $PGA=0.22$ g)	Udio građevina koji je zadobio pojedinu kategoriju oštećenja (prema SRM-LIFE)	Nema oštećenje	%	56.00%	-
		Malo oštećenje	%	35.00%	-
		Srednje oštećenje	%	8.00%	-
		Veliko oštećenje	%	1.00%	-
		Totalno oštećenje	%	0.00%	-
	Troškovi obnove (prema SRM-LIFE)	Malo oštećenje	%	7.00%	-
		Srednje oštećenje	%	3.20%	-
		Veliko oštećenje	%	0.60%	-
		Totalno oštećenje	%	0.00%	-
		Ukupno oštećenje prema potresnoj kategoriji	%	10.80%	-
		Ukupno oštećenje	%	10.80%	
		Ukupna vrijednost (pogl. 3.2.1)	EUR	26,000,000.00 €	
		Ukupno oštećenje	EUR	2,808,000.00 €	

Tabl. 18 Tablica troškova obnove oštećenja na vodocrpilištima grada Zagreba za drugi zagrebački potres (M=4.9)

				Protupotresno projektirane građevine	Nisu protupotresno projektirane građevine
	Udio protupotresno projektiranih građevina		%	100.00%	0.00%
Drugi zagrebački potres (M=4.9, PGA=0.06 g)	Udio građevina koji je zadobio pojedinu kategoriju oštećenja (prema SRM-LIFE)	Nema oštećenje	%	100.00%	-
		Malo oštećenje	%	0.00%	-
		Srednje oštećenje	%	0.00%	-
		Veliko oštećenje	%	0.00%	-
		Totalno oštećenje	%	0.00%	-
	Troškovi obnove (prema SRM-LIFE)	Malo oštećenje	%	0.00%	-
		Srednje oštećenje	%	0.00%	-
		Veliko oštećenje	%	0.00%	-
		Totalno oštećenje	%	0.00%	-
		Ukupno oštećenje prema potresnoj kategoriji	%	0.00%	-
		Ukupno oštećenje	%	0.00%	
		Ukupna vrijednost (pogl. 3.2.1)	EUR	26,000,000.00 €	
	Ukupno oštećenje	EUR	0.00 €		

Tabl. 19 Tablica troškova obnove oštećenja na vodocrpilištima grada Zagreba za sintetički zagrebački potres (PGA=0.29 g)

				Protupotresno projektirane građevine	Nisu protupotresno projektirane građevine
	Udio protupotresno projektiranih građevina		%	100.00%	0.00%
Potres povratnog razdoblja 475 godina (PGA=0.29 g)	Udio građevina koji je zadobio pojedinu kategoriju oštećenja (prema SRM-LIFE)	Nema oštećenje	%	40.00%	-
		Malo oštećenje	%	41.00%	-
		Srednje oštećenje	%	16.00%	-
		Veliko oštećenje	%	3.00%	-
		Totalno oštećenje	%	0.00%	-
	Troškovi obnove (prema SRM-LIFE)	Malo oštećenje	%	8.20%	-
		Srednje oštećenje	%	6.40%	-

	Veliko oštećenje	%	1.80%	-
	Totalno oštećenje	%	0.00%	-
	Ukupno oštećenje prema potresnoj kategoriji	%	16.40%	-
	Ukupno oštećenje	%	16.40%	
	Ukupna vrijednost (pogl. 3.2.1)	EUR	26,000,000.00 €	
	Ukupno oštećenje	EUR	4,264,000.00 €	

3.5.2 Uređaji za obradu vode

Prema metodologiji danj u poglavlju 3.4.2, ovdje su dane procjene kategorija oštećenja te troškova obnove kao okvir potresnog hazarda grada Zagreba.

Tablični iskaz udjela nastalih kategorija oštećenja uređaja za obradu vode u gradu Zagrebu i pripadnog troška obnove po pojedinoj kategoriji kao i ukupnog troška obnove nastalih oštećenja uslijed prvog zagrebačkog potresa ($M = 5,5$) je dan u Tabl. 20. Za drugi zagrebački potres ($M = 4,9$) i sintetički potres povratnog period od 475 godina troškovi obnove su dani u Tabl. 21 i Tabl. 22.

Tabl. 20 Tablica troškova obnove oštećenja uređaja za obradu vode grada Zagreba za prvi zagrebački potres (PGA=0.22 g)

		Udio građevina/oštećenja		
	Ukupno građevina		%	100.00%
Prvi zagrebački potres ($M=5.5$, PGA=0.22 g)	Udio građevina koji je zadobio pojedinu kategoriju oštećenja (prema SRM-LIFE)	Nema oštećenje	%	10.00%
		Malo oštećenje	%	73.00%
		Srednje oštećenje	%	8.00%
		Veliko oštećenje	%	9.00%
		Totalno oštećenje	%	0.00%
	Troškovi obnove (prema SRM-LIFE)	Malo oštećenje	%	14.60%
		Srednje oštećenje	%	3.20%
		Veliko oštećenje	%	5.40%
		Totalno oštećenje	%	0.00%
		Ukupno oštećenje	%	23.20%
		Ukupno oštećenje	%	23.20%
		Ukupna vrijednost (pogl. 3.2.2)	EUR	2,300,000.00 €
	Ukupno oštećenje	EUR	533,600.00 €	

Tabl. 21 Tablica troškova obnove oštećenja uređaja za obradu vode grada Zagreba za drugi zagrebački potres (PGA=0.06 g)

			Udio građevina/oštećenja	
	Ukupno građevina		%	100.00%
Drugi zagrebački potres (M=4.9, PGA=0.06 g)	Udio građevina koji je zadobio pojedinu kategoriju oštećenja (prema SRM-LIFE)	Nema oštećenje	%	100.00%
		Malo oštećenje	%	0.00%
		Srednje oštećenje	%	0.00%
		Veliko oštećenje	%	0.00%
		Totalno oštećenje	%	0.00%
	Troškovi obnove (prema SRM-LIFE)	Malo oštećenje	%	0.00%
		Srednje oštećenje	%	0.00%
		Veliko oštećenje	%	0.00%
		Totalno oštećenje	%	0.00%
		Ukupno oštećenje	%	0.00%
		Ukupno oštećenje	%	0.00%
		Ukupna vrijednost (pogl. 3.2.2)	EUR	2,300,000.00 €
	Ukupno oštećenje	EUR	0.00 €	

Tabl. 22 Tablica troškova obnove oštećenja uređaja za obradu vode grada Zagreba za sintetički zagrebački potres (PGA=0.29 g)

			Udio građevina/oštećenja	
	Ukupno građevina		%	100.00%
Potres povratnog razdoblja 475 godina (PGA=0.29 g)	Udio građevina koji je zadobio pojedinu kategoriju oštećenja (prema SRM-LIFE)	Nema oštećenje	%	2.00%
		Malo oštećenje	%	51.00%
		Srednje oštećenje	%	32.00%
		Veliko oštećenje	%	13.00%
		Totalno oštećenje	%	2.00%
	Troškovi obnove (prema SRM-LIFE)	Malo oštećenje	%	10.20%
		Srednje oštećenje	%	12.80%
		Veliko oštećenje	%	7.80%
		Totalno oštećenje	%	1.80%
		Ukupno oštećenje	%	32.60%
		Ukupno oštećenje	%	32.60%
		Ukupna vrijednost (pogl. 3.2.2)	EUR	2,300,000.00 €
	Ukupno oštećenje	EUR	749,800.00 €	

3.5.3 Crpne stanice

Prema metodologiji danoj u poglavlju 3.4.3, ovdje su dane procjene kategorija oštećenja te troškova obnove kao okvir potresnog hazarda grada Zagreba.

Tablični iskaz udjela nastalih kategorija oštećenja crpnih stanica u gradu Zagrebu i pripadnog troška obnove po pojedinoj kategoriji kao i ukupnog troška obnove nastalih oštećenja uslijed prvog zagrebačkog potresa ($M = 5,5$) je dan u Tabl. 23. Za drugi zagrebački potres ($M = 4,9$) i sintetički potres povratnog perioda od 475 godina troškovi obnove su dani u Tabl. 24 i Tabl. 25.

Tabl. 23 Tablica troškova obnove oštećenja crpnih stanica grada Zagreba za prvi zagrebački potres ($PGA=0.22$ g)

				Protupotresno projektirane građevine	Nisu protupotresno projektirane građevine
	Udio protupotresno projektiranih građevina		%	100.00%	0.00%
Prvi zagrebački potres ($M=5.5$, $PGA=0.22$ g)	Udio građevina koji je zadobio pojedinu kategoriju oštećenja (prema SRM-LIFE)	Nema oštećenje	%	20.00%	-
		Malo oštećenje	%	60.00%	-
		Srednje oštećenje	%	20.00%	-
		Veliko oštećenje	%	0.00%	-
		Totalno oštećenje	%	0.00%	-
	Troškovi obnove (prema SRM-LIFE)	Malo oštećenje	%	6.00%	-
		Srednje oštećenje	%	10.00%	-
		Veliko oštećenje	%	0.00%	-
		Totalno oštećenje	%	0.00%	-
		Ukupno oštećenje prema potresnoj kategoriji	%	16.00%	0.00%
		Ukupno oštećenje	%	16.00%	
		Ukupna vrijednost (pogl. 3.2.3)	EUR	15,545,000.00 €	
	Ukupno oštećenje	EUR	2,487,200.00 €		

Tabl. 24 Tablica troškova obnove oštećenja crpnih stanica grada Zagreba za drugi zagrebački potres (PGA=0.06 g)

				Protupotresno projektirane građevine	Nisu protupotresno projektirane građevine
	Udio protupotresno projektiranih građevina		%	100.00%	0.00%
Drugi zagrebački potres (M=4.9, PGA=0.06 g)	Udio građevina koji je zadobio pojedinu kategoriju oštećenja (prema SRM-LIFE)	Nema oštećenje	%	100.00%	100.00%
		Malo oštećenje	%	0.00%	-
		Srednje oštećenje	%	0.00%	-
		Veliko oštećenje	%	0.00%	-
		Totalno oštećenje	%	0.00%	-
	Troškovi obnove (prema SRM-LIFE)	Malo oštećenje	%	0.00%	-
		Srednje oštećenje	%	0.00%	-
		Veliko oštećenje	%	0.00%	-
		Totalno oštećenje	%	0.00%	-
		Ukupno oštećenje prema potresnoj kategoriji	%	0.00%	-
		Ukupno oštećenje	%	0.00%	
		Ukupna vrijednost (pogl. 3.2.3)	EUR	15,545,000.00 €	
	Ukupno oštećenje	EUR	0.00 €		

Tabl. 25 Tablica troškova obnove oštećenja crpnih stanica grada Zagreba za sintetički zagrebački potres (PGA=0.29 g)

				Protupotresno projektirane građevine	Nisu protupotresno projektirane građevine
	Udio protupotresno projektiranih građevina		%	100.00%	0.00%
Potres povratnog razdoblja 475 godina (PGA=0.29 g)	Udio građevina koji je zadobio pojedinu kategoriju oštećenja (prema SRM-LIFE)	Nema oštećenje	%	0.00%	100.00%
		Malo oštećenje	%	50.00%	-
		Srednje oštećenje	%	50.00%	-
		Veliko oštećenje	%	0.00%	-
		Totalno oštećenje	%	0.00%	-
	Troškovi obnove (prema SRM-LIFE)	Malo oštećenje	%	5.00%	-
		Srednje oštećenje	%	25.00%	-
		Veliko oštećenje	%	0.00%	-
		Totalno oštećenje	%	0.00%	-

		Ukupno oštećenje prema potresnoj kategoriji	%	30.00%	-
		Ukupno oštećenje	%	30.00%	
		Ukupna vrijednost (pogl. 3.2.3)	EUR	15,545,000.00 €	
		Ukupno oštećenje	EUR	4,663,500.00 €	

3.5.4 Cjevovodi

Prema metodologiji danoj u poglavlju 3.4.4, ovdje se daje broj oštećenja cjevovoda vodoopskrbne mreže kao okvir potresnog hazarda grada Zagreba.

Tablični iskaz broja nastalih oštećenja na cjevovodima vodoopskrbe u gradu Zagrebu uslijed prvog zagrebačkog potresa ($M = 5,5$) su dani u Tabl. 26 i Tabl. 27. Za drugi zagrebački potres ($M = 4,9$) oštećenja su dana u Tabl. 28 i Tabl. 29.

Tabl. 26 Procjena broja oštećenja na cjevovodu vodoopskrbne mreže za najveće izmjerene vrijednosti PGV seizmičkog događaja magnitude $M = 5,5$ (za prvi zagrebački potres).

HAZUS/O'Rourke - Ayala - Prvi zagrebački potres, M5.5, PGV = 20.05 cm/s, PGD = 0.0315 m				
Materijal	Duljina	K	R_p	R_p
	[km]	[1]	[1/km]	[1]
Nepoznat materijal	177.5	0.8	0.068	12
Azbestni cement	138.0	1.0	0.085	12
Polietilen	884.8	0.3	0.026	23
Polivinil klorid	231.1	0.3	0.026	6
Lijevano željezo (sivi lijev)	1057.9	1.0	0.085	90
Lijevano željezo (nodularni lijev)	104.8	0.3	0.026	3
Čelik	583.5	0.3	0.026	15
$\Sigma =$	3177.6		$\Sigma =$	159.9

Tabl. 27 Procjena broja oštećenja na cjevovodu vodoopskrbne mreže za najveće izmjerene vrijednosti PGD seizmičkog događaja magnitude $M = 5,5$ (za prvi zagrebački potres)

Honegger - Eguchi - Prvi zagrebački potres, M5.5, PGV = 20.05 cm/s, PGD = 0.0315 m				
Materijal	Duljina	K	R_t	R_t
	[km]	[1]	[1/km]	[1]
Nepoznat materijal	177.5	0.8	0.902	160
Azbestni cement	138.0	1.0	1.128	156

Polietilen	884.8	0.3	0.338	299
Polivinil klorid	231.1	0.3	0.338	78
Lijeivano željezo (sivi lijev)	1057.9	1.0	1.128	1193
Lijeivano željezo (nodularni lijev)	104.8	0.3	0.338	35
Čelik	583.5	0.3	0.338	197
$\Sigma =$	3177.6		$\Sigma =$	2119.7

Tabl. 28 Procjena broja oštećenja na cjevovodu vodoopskrbne mreže za najveće izmjerene vrijednosti PGV seizmičkog događaja magnitude M = 4,9 (za drugi zagrebački potres)

HAZUS/O'Rourke - Ayala - Drugi zagrebački potres, M4.8, PGV = 2.59 cm/s, PGD = 0.0037 m				
Materijal	Duljina	K	R _p	R _p
	[km]	[1]	[1/km]	[1]
Nepoznat materijal	177.5	0.8	0.001	0
Azbestni cement	138.0	1.0	0.001	0
Polietilen	884.8	0.3	0.000	0
Polivinil klorid	231.1	0.3	0.000	0
Lijeivano željezo (sivi lijev)	1057.9	1.0	0.001	1
Lijeivano željezo (nodularni lijev)	104.8	0.3	0.000	0
Čelik	583.5	0.3	0.000	0
$\Sigma =$	3177.6		$\Sigma =$	1.6

Tabl. 29 Procjena broja oštećenja na cjevovodu vodoopskrbne mreže za najveće izmjerene vrijednosti PGD seizmičkog događaja magnitude M = 4,9 (za drugi zagrebački potres)

Honegger - Eguchi - Drugi zagrebački potres, M4.8, PGV = 2.59 cm/s, PGD = 0.0037 m				
Materijal	Duljina	K	R _t	R _t
	[km]	[1]	[1/km]	[1]
Nepoznat materijal	177.5	0.8	0.272	48
Azbestni cement	138.0	1.0	0.340	47
Polietilen	884.8	0.3	0.102	90
Polivinil klorid	231.1	0.3	0.102	24
Lijeivano željezo (sivi lijev)	1057.9	1.0	0.340	360
Lijeivano željezo (nodularni lijev)	104.8	0.3	0.102	11
Čelik	583.5	0.3	0.102	60
$\Sigma =$	3177.6		$\Sigma =$	638.9

Tabl. 30 Procjena broja oštećenja na cjevovodu vodoopskrbne mreže za vrijednosti PGV sintetičkog seizmičkog događaja

HAZUS/O'Rourke - Ayala - Sintetički zagrebački potres, PGV = 30.05 cm/s, PGD = 0.045 m				
Materijal	Duljina	K	R_p	R_p
	[km]	[1]	[1/km]	[1]
Nepoznat materijal	177.5	0.8	0.169	30
Azbestni cement	138.0	1.0	0.211	29
Polietilen	884.8	0.3	0.063	56
Polivinil klorid	231.1	0.3	0.063	15
Lijeivano željezo (sivi lijev)	1057.9	1.0	0.211	223
Lijeivano željezo (nodularni lijev)	104.8	0.3	0.063	7
Čelik	583.5	0.3	0.063	37
Σ =	3177.6		Σ =	395.8

Tabl. 31 Procjena broja oštećenja na cjevovodu vodoopskrbne mreže za vrijednosti PGD sintetičkog seizmičkog događaja

Honegger - Eguchi - Sintetički zagrebački potres, PGV = 30.05 cm/s, PGD = 0.045 m				
Materijal	Duljina	K	R_t	R_t
	[km]	[1]	[1/km]	[1]
Nepoznat materijal	177.5	0.8	1.102	196
Azbestni cement	138.0	1.0	1.377	190
Polietilen	884.8	0.3	0.413	366
Polivinil klorid	231.1	0.3	0.413	95
Lijeivano željezo (sivi lijev)	1057.9	1.0	1.377	1457
Lijeivano željezo (nodularni lijev)	104.8	0.3	0.413	43
Čelik	583.5	0.3	0.413	241
Σ =	3177.6		Σ =	2588.4

Sukladno primijenjenoj metodologiji i dobivenim rezultatima uslijed potresnih događaja očekuje se da je ukupno 2279 novonastalih neprijavljenih kvarova na vodoopskrbnoj mreži za prvi zagrebački potres, odnosno 640 za drugi zagrebački potres. Za sintetički potres povratnog perioda od 475 godina se procjenjuje 2984 oštećenja

Od navedenih oštećenja procjenjuje se da će oko 90% oštećenja zahtijevati sanaciju koja uključuje i zemljane radove, tj. iskop radi pristupa oštećenju, a da će se oko 10% oštećenja moći izvršiti unutar postojećih zasunskih okana u vidu saniranja pukotina, pomaka ili izmjene vodovodnih armatura i fasonskih komada. Pored toga, procjenjuje se da oko 70% od svih oštećenja otpada na oštećenja samih cjevovoda, dok se oko 30% oštećenja odnosi na kućne priključke. Nadalje, procjenjuje se da 30% od oštećenja na mreži odgovara javljanju malih (pozadinskih) istjecanja kod kojih u ovom trenutku ne postoji ekonomska opravdanost izvođenja sanacija.



Dio utvrđenog broja kvarova (oko 18%) može se sukladno magnitudi i intenzitetu seizmičkih događaja na predmetnom području pripisati pozadinskim curenjima koji su izrazito malog intenziteta i teško se u praksi detektiraju, te ih nije korektno uračunati u mjere sanacije kvarova i troškovnik tih mjera. Stoga je broj novonastalih kvarova koje je potrebno sanirati 1868 za prvi zagrebački potres, odnosno 524 za drugi zagrebački potres. Za predmetnu vodoopskrbnu mrežu napravljena je daljnja podjela sanacije kvarova na cjevovodima, kućnim priključcima i zasunskim oknima.

Jedinična cijena sanacije kvara na cjevovodima ovisi o profilu cijevi i zoni utjecaja kvara. U odnosu na dosadašnja iskustva isporučitelja vodnih usluga prije i nakon potresa, za potrebe provođenja danih analiza usvaja se prosječna jedinična cijena po kvaru na cjevovodima u iznosu 1.400 EUR/kvar.

Jedinična cijena sanacije kvara na kućnim priključcima ovisi o profilu cijevi, zoni utjecaja kvara, uređenosti površine terena u zoni kućnog priključka, stanju vodomjernog okna i dr. U odnosu na dosadašnja iskustva isporučitelja vodnih usluga prije i nakon potresa, za potrebe provođenja danih analiza usvaja se prosječna jedinična cijena po kvaru na kućnim priključcima u iznosu 1.000 EUR/kvar.

Jedinična cijena sanacije kvara na zasunskim oknima ovisi prije svega o tome je li potrebno rekonstruirati cijelo okno ili provesti sanaciju u oknu koja uključuje zamjenu fasonskih komada i armatura te eventualno sanaciju pukotina na betonskim elementima okna. U oba slučaja cijena sanacije može značajnije varirati što ovisi o veličini okna, tipu okna, lokaciji okna (u cestovnoj prometnici, nogostupu ili zelenoj površini), opremi u oknu koju je potrebno sanirati i dr. S obzirom da na predmetnom vodoopskrbnom sustavu nakon oba potresa nisu do trenutka pisanja ovog elaborata uočena značajnija oštećenja zasunskih okana koja bi utjecala na njihovu funkcionalnost, uvažavajući dosadašnja iskustva ViO-a d.o.o. Zagreb, za potrebe provođenja daljnjih analiza usvaja se prosječna jedinična cijena po kvaru u zasunskom oknu u iznosu 700 EUR/okno.

Pojedince dionice vodoopskrbne mreže mogu se ocijeniti kritičnima uslijed kombinacije relativno lošeg stanja koji je prethodio potresnim razaranjima i samih potresnih razaranja koje su pridonijele intenziviranju lošeg stanja i povećanju broja kvarova na istima, a time i količini curenja. Dosadašnja praksa potvrđuje da u slučaju detektiranja (na temelju dodatnih terenskih ispitivanja) većeg broja kvarova na pojedinim dionicama nije isplativo sanirati točkasta curenja, već je racionalno i opravdano zamijeniti cijelu dionicu. U nedostatku detaljnijih informacija, izrađivači ovog elaborata usvojili su pretpostavku da je od 660 km vodoopskrbne mreže na kojima je potrebno provesti mikrolociranje (u svrhu utvrđivanja kritičnih zona) 5% kritično s potrebom zamjene cijevi, što iznosi ukupno 33 km. Pritom se u odnosu na prethodno dobivene rezultate u ovom elaboratu usvaja pretpostavka da je uslijed prvog (zagrebačkog) potresa potrebno zamijeniti 30 km cjevovoda, a uslijed drugog potresa oko 3 km cjevovoda. Za sintetički potres povratnog perioda od 475 godina jednakom metodologijom se procjenjuje zamjene cijevi na dionicama ukupne dužine od 45 km. S obzirom da u ovom trenutku nije poznato na kojim dionicama će biti potrebna zamjena, te kojeg su profila te dionice, usvaja se pretpostavka o prosječnoj veličini profila na tim dionicama od DN 250, s prosječnim jediničnim troškom zamjene u iznosu 320 EUR/m'.

S obzirom na procijenjenu razdiobu oštećenja na one koji zahtijevaju zemljane radove, diferencijaciju između oštećenja na mreži i priključnim vodovima u vlasništvu ViO-a d.o.o. Zagreb te javljanje manjih deformacija koji ne uzrokuju smanjenje funkcionalnosti, izrađivači ovog elaborata procjenjuju ukupne troškove kako je prikazano u Tabl. 32.

Drugom zagrebačkom potresu se pripisuje jednaka razdioba oštećenja i jedinične cijene, te je dana Tabl. 33, te za sintetički potres povratnog perioda od 475 godina ukupni troškovi obnove su dani u Tabl. 34.

Tabl. 32 Procjena ukupnih troškova obnove na cjevovodu vodoopskrbne mreže za prvi zagrebački potres

Kategorija oštećenja	Broj oštećenja	Procjena jediničnog troška sanacije u [EUR]	Ukupno procijenjen trošak sanacije u [EUR]
Sanacija točkastih kvarova na opskrbnim i transportnim cjevovodima	855	1,400.00 €	1,197,000.00 €
Sanacija opreme u zasunskim oknima	18	1,000.00 €	18,000.00 €
Manja oštećenja na mreži (pozadinska istjecanja)	399	-	-
Sanacija točkastih kvarova na priključnim vodovima (hidrantski, kućni, odzračni,	256	1,000.00 €	256,000.00 €
Sanacija cjevovoda sa zamjenom pojedinih kritičnih dionica	30 km	320.00 €	9,600,000.00 €
UKUPNO			11,071,000 €

Tabl. 33 Procjena ukupnih troškova obnove na cjevovodu vodoopskrbne mreže za drugi zagrebački potres

Kategorija oštećenja	Broj oštećenja	Procjena jediničnog troška sanacije u [EUR]	Ukupno procijenjen trošak sanacije u [EUR]
Sanacija točkastih kvarova na opskrbnim i transportnim cjevovodima	240	1,400.00 €	336,000.00 €
Sanacija opreme u zasunskim ocnima	5	1,000.00 €	5,000.00 €
Manja oštećenja na mreži (pozadinska istjecanja)	112	-	-
Sanacija točkastih kvarova na priključnim vodovima (hidrantski, kućni, odzračni,	72	1,000.00 €	72,000.00 €
Sanacija cjevovoda sa zamjenom pojedinih kritičnih dionica	3 km	320.00 €	960,000.00 €
UKUPNO			1,373,000 €

Tabl. 34 Procjena ukupnih troškova obnove na cjevovodu vodoopskrbne mreže za sintetički zagrebački potres

Kategorija oštećenja	Broj oštećenja	Procjena jediničnog troška sanacije u [EUR]	Ukupno procijenjen trošak sanacije u [EUR]
Sanacija točkastih kvarova na opskrbnim i transportnim cjevovodima	1120	1,400.00 €	1,568,000.00 €
Sanacija opreme u zasunskim oknima	23	1,000.00 €	23,000.00 €
Manja oštećenja na mreži (pozadinska istjecanja)	522	-	-
Sanacija točkastih kvarova na priključnim vodovima (hidrantski, kućni, odzračni, muljni)	336	1,000.00 €	336,000.00 €
Sanacija cjevovoda sa zamjenom pojedinih kritičnih dionica	45	320.00 €	14,400,000.00 €
UKUPNO			16,327,000.00 €

3.5.5 Vodospreme

Prema metodologiji danj u poglavlju 3.4.5, ovdje su dane procjene kategorija operativnosti vodosprema obnove kao okvir potresnog hazarda grada Zagreba.

Tablični iskaz udjela nastalih kategorija oštećenja vodosprema, odnosno operativnosti vodosprema u gradu Zagrebu uslijed prvog zagrebačkog potresa ($M = 5,5$) je dan u Tabl. 35. Za drugi zagrebački potres ($M = 4,9$) i sintetički potres povratnog perioda od 475 godina troškovi obnove su dani u Tabl. 36 i Tabl. 37.

Za armirano-betonske vodospreme predlažu se [14, 15] krivulje osjetljivosti. Temelje se na velikom skupu empirijskih podataka i smatraju se najnovijim i potpunim. Nedostatak je što krivulje osjetljivosti su povezane s operativnosti, ali nisu povezane s kategorijom oštećenja i time s troškom obnove elementa. Za potrebe ovog elaborata, autori će ekspertnom procjenom povezati „oštećeno i operativno“ s kategorijom malih oštećenja i „oštećeno i nije operativno“ s velikim oštećenjima. Krivulje osjetljivosti ukazuju da za zagrebački potres 8% svih vodosprema u gradu Zagrebu je pretrpjelo oštećenja koja neće spriječiti njihovu operabilnost, dok ostalih 92% nisu pretrpjele nikakva oštećenja. Za slučajeve gdje se operabilnost vodospreme dalje očekuje, [14, 15] predviđa tipove oštećenja kao što su oštećenja krova vodospreme i velikog naprezanja u zidovima vodospreme bez sloma zidova.

Tabl. 35 Tablica operativnosti vodosprema grada Zagreba za prvi zagrebački potres ($PGA=0.22$ g)

			Udio građevina/oštećenja	
	Ukupno građevina		%	100.00%
Prvi zagrebački potres ($M=5.5$, $PGA=0.22$ g)	Udio građevina koji je zadobio pojedinu kategoriju operativnosti (prema ALA 2001a,b)	Nema oštećenje	%	92.00%
		Oštećeno i operativno	%	8.00%
		Oštećeno i nije operativno	%	0.00%
	Troškovi obnove	Malo oštećenje	%	1.60%
		Veliko oštećenje	%	0.00%
		Ukupno oštećenje	%	1.60%
		Ukupna vrijednost (pogl. 3.2.5)	EUR	9,939,480.00 €
		Ukupno oštećenje	EUR	159,031.68 €

Tabl. 36 Tablica operativnosti vodosprema grada Zagreba za drugi zagrebački potres ($PGA=0.06$ g)

			Udio građevina/oštećenja	
	Ukupno građevina		%	100.00%
Drugi zagrebački potres ($M=4.9$, $PGA=0.06$ g)	Udio građevina koji je zadobio pojedinu kategoriju operativnosti (prema ALA 2001a,b)	Nema oštećenje	%	100.00%
		Oštećeno i operativno	%	0.00%
		Oštećeno i nije operativno	%	0.00%
	Troškovi obnove	Malo oštećenje	%	0.00%
		Veliko oštećenje	%	0.00%
		Ukupno oštećenje	%	0.00%

		Ukupna vrijednost (pogl. 3.2.5)	EUR	9,939,480.00 €
		Ukupno oštećenje	EUR	0.00 €

Tabl. 37 Tablica operativnosti vodosprema grada Zagreba za sintetički zagrebački potres povratnog razdoblja od 475 godina (PGA=0.29 g)

				Udio građevina/oštećenja
	Ukupno građevina		%	100.00%
Potres povratnog razdoblja 475 godina (PGA=0.29 g)	Udio građevina koji je zadobio pojedinu kategoriju operativnosti (prema ALA 2001a,b)	Nema oštećenje	%	84.00%
		Oštećeno i operativno	%	14.00%
		Oštećeno i nije operativno	%	2.00%
	Troškovi obnove	Malo oštećenje	%	2.80%
		Veliko oštećenje	%	1.20%
		Ukupno oštećenje	%	4.00%
		Ukupna vrijednost (pogl. 3.2.5)	EUR	9,939,480.00 €
		Ukupno oštećenje	EUR	397,579.20 €

3.6 Zaključak

Kroz poglavlje 3.3 su sažete glavne karakteristike i tipologije vodoopskrbne mreže zajedno s glavnim mehanizmima oštećenja i oblicima kvarova. Neke komponente vodoopskrbne mreže kao što su vodocrpilišta vode, uređaja za obradu vode i crpne stanice zapravo su složeni podsustavi koji se sastoje od različitih podkomponenti. Stoga se njihova procjena ranjivosti temelji na krhkosti podkomponenti. Dostupne krivulje osjetljivosti prikupljene su i pregledane za sve glavne komponente vodoopskrbnog sustava. Postojeće krivulje osjetljivosti temelje se na empirijskim podacima, dok je upotreba analitičkih pristupa ili pristupa ekspertne procjene prilično ograničena. Važno pitanje u procjeni potresnog hazarda je korištenje mjera seizmičkog intenziteta (IM) koje najbolje odgovaraju pojedinom elementu vodoopskrbe. Za sve elemente vodoopskrbnome mreže osim cijevi, najčešće korišteni IM je PGA, dok su za cjevovode PGV i PGD glavne mjere seizmičkog intenziteta.

Za vodocrpilišta vode, uređaje za obradu vode, crpne stanice i vodospreme predlažu se krivulje osjetljivosti koje su izvedene u [17] i prikazane u 3.4, pozivajući se na specifične tipologije uobičajene u Grčkoj i vjerojatno primjenjive u cijeloj Europi. Rezultati pojedinih elementa se mogu vidjeti u poglavlju 3.5, a u Tabl. 38 je dan pregled ukupnih troškova obnove po pojedinom elementu vodoopskrbne mreže. Vodocrpilišta, uređaji za obradu vode i crpne stanice za zagrebački potres pokazuju oštećenje koje zahtijeva trošak manji od 15% građevinske vrijednosti tih elemenata (2,808,000 € za vodocrpilišta, 533,600 € za uređaje za obradu vode, 2,487,200 € za crpne stanice u gradu Zagreb i 159,032 € za vodospreme).

Tabl. 38 Iskaz troškova obnove po pojedinim elementima vodoopskrbnog sustava

Trošak obnove	Vodocrpilišta	Uređaji za obradu vode	Crpne stanice	Cjevovodi	Vodospreme
Naziv	EUR	EUR	EUR	EUR	EUR
1. Zag. potres (PGA = 0,22 g, PGV = 20,05 cm/s, PGD = 0,0315 m) *troškovi se smanjuju za 20-40% ako se primjeni prosječni PGA=0,19g	2,808,000 €	533,600 €	2,487,200 €	11,071,000 €	159,032 €
2. Zag. potres (PGA = 0,06 g, PGV = 2,59 cm/s, PGD = 0,0037 m)	0 €	0 €	0 €	1,373,000 €	0 €
Sintetički Zag. Potres 475 godišnjeg povratnog perioda (PGA = 0,29 g)	4,264,000 €	749,800 €	4,663,500 €	16,327,000 €	397,579 €

Broj oštećenja na cjevovodu dobiveni temeljem usvojenih metoda procjene oštećenja uslijed privremenih deformacija tla ukazuju da prolaskom seizmičkih valova, pa čak i „L“ valova, tj. Rayleighjevih valova koji uzrokuju glavninu oštećenja površinskih objekata, ne treba očekivati značajnija oštećenja na vodoopskrbnoj mreži. Odnosno, da privremene deformacije tla u ukupnom broju oštećenja predmetne vodoopskrbne mreže utječu s oko 7%. Dobiveni rezultati pokazuju visoku razinu podudarnosti s očekivanim literaturnim vrijednostima utjecaja privremenih deformacija na pojavu broja oštećenja.

Nastala oštećenja najviše se odnose na oslabljena mjesta spajanja materijala različitih mehaničkih karakteristika, kao što su mjesta spojeva priključnih (kućnih, hidrantskih i drugih) vodova s uličnim cjevovodima, spojeve između krutih (lijevano željeznih - sivi lijev) cijevi, naročito veće starosti, te nova puknuća cijevi, također onih veće starosti. Za lijevano željezne cijevi se za prirubničke spojeve oštećenja prvenstveno odnose na diferencijalne pomake koji uzrokuju nova istjecanja vode, dok se kod spoja na naglavak javljaju ili izvlačenja cijevi (onih koji su orijentirani u smjeru najvećih pomaka tla), ili pukotine (moguće i lomovi) uslijed pomaka cjevovoda koji su transverzalno orijentirani naspram dominantnih pomaka tla. Dakle, predmetna oštećenja u većem opsegu uključuju djelomični gubitak funkcionalnosti pojedinih dionica, a u manjoj mjeri izražena puknuća s kompletnim gubitkom funkcionalnosti.

Ukoliko se u razmatranje uzme samo ukupna duljina distributivne i magistralne vodoopskrbne mreže na području Grada Zagreba, za prosječnu duljinu cijevi od 6 m, na predmetnom se sustavu nalazi oko 500.000 spojeva cijevi, a znatno više ukoliko se uvažava i svi priključni vodovi. Nastalih 2980 oštećenja tako



uključuje 0,5% ili manje spojnih mjesta na vodoopskrbnoj mreži. Stoga je i razumljivo da je ovakav doprinos u slici vodnih gubitaka, čak i na dnevnoj razini, nemoguće potvrditi uvidom u zahvaćene količine, međutim sama oštećenja kao takva figuriraju i čine novonastale štete.

Pri tome se može pretpostaviti da se za taj veći broj oštećenja od ovdje procijenjenih radi prvenstveno o manjim oštećenjima na spojevima, kako samih cijevi, tako i priključnih vodova, koji čine pozadinska istjecanja vode te za koje ne postoji direktna ekonomska opravdanost sanacije (trošak sanacije veći od uštede koja bi se sanacijom postigla). Međutim, za napomenuti je da i ova oštećenja doprinose bilanci ukupnih gubitaka vode.

Preciznija ocjena utjecaja seizmičkih događaja na novonastala oštećenja praktički nije moguća jer stvarno stanje oštećenja vodoopskrbne mreže, i s tim povezanih gubitaka vode prije razmatranih potresa, nije bila poznata. Stoga, kod svake izvršene sanacije, tj. utvrđenog mjesta oštećenja, vrlo je bitno da se prikupe podaci koji se odnose na detaljan opis (uz fotografiju) uočenog oštećenja i lokacije oštećenja, načina sanacije, trajanja sanacije, kao i procijenjeni te stvarni trošak sanacije. Dane procjene broja novo nastalih oštećenja na cjevovodu vodoopskrbne mreže i građevina vodoopskrbne mreže treba u iterativnom postupku verificirati sukladno obradi prikupljenih podataka s terenskih istraživanja, lociranja i sanacije nastalih puknuća na vodoopskrbnoj mreži i oštećenja građevina te prostornoj obradi parametara seizmičke pobude (*PGA*, *PGV* i *PGA*).

U smislu preventivne mjere ublažavanja posljedica budućih seizmičkih događaja na nastajanje šteta na vodoopskrbnoj mreži izrađivači ovog elaborata predlažu izradu detaljnog programa obnove mreže prema prioritnim dionicama. Cilj ovog programa je da se, uz uvažavanje prioritnih aktivnost smanjenja gubitaka vode i prevencije novih puknuća pri redovitim pogonskim uvjetima, detektiraju dionice dotrajalih cjevovoda (barem onih glavnih opskrbnih pravaca, tj. magistralnih cjevovoda), te da se pri odabiru tehničkog rješenja sanacije/rekonstrukcije (uključujući i cijevni materijal) sagledaju i relevantni parametri koji mogu doprinijeti većoj seizmičkoj otpornosti cjevovoda vodoopskrbne mreže, kao i ostalih građevina vodoopskrbe mreže (vodozahvata, crpne stanice, uređaji za obradu vode i vodospreme). Dakle, ideja je provođenje sveobuhvatne planske obnove mreže prema utvrđenom redoslijedu prioriteta, s ciljem smanjenja gubitaka i povećanja seizmičke otpornosti vodoopskrbne mreže, a u fazama provedbe, sukladno planiranom osiguranju novčanih sredstava za provedbu tog programa.



4. Sustav odvodnje otpadnih voda grada Zagreba

4.1 Opis sustava

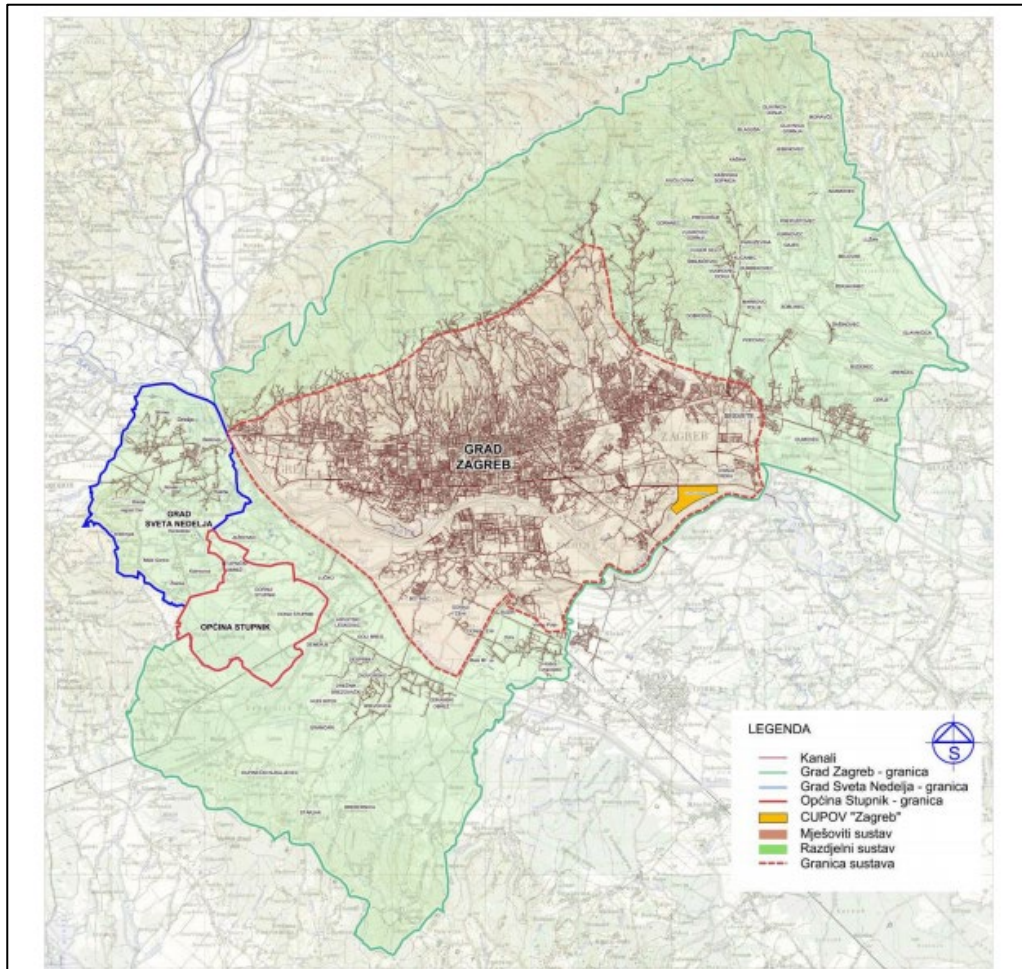
Razvoj sustava odvodnje datira još iz sedamnaestog stoljeća, kada se u starim dokumentima spominju odvodni kanali naselja Kaptol i Grič. Popis svih kanala, do tada izgrađenih, napravljen je 1880. godine kada je uvedena i tehnička evidencija. Sustav kakvog se poznaje danas, počinje sa sustavnom izgradnjom 1892. godine izvedbom odvodnog kanala s ušćem u Savu kod Žitnjaka, te prelaženjem potoka Medveščak iz Tkalčićeve ulice na Ribnjak. Prva lokacija glavnog odvodnog kanala bila je kod Petruševca, a njegovim produljenjem 1928.-'30. uljev u Savu pomaknut je na istok do Ivanje Reke.

Krajem 19. stoljeća radi se glavni odvodni kanal Branimirova Vodnikova - Mihanovićeve - Jukićeva, a 1900. godine izgrađuje se sjeverni kanal u Ilici, a ujedno su nasipi Glavnog odvodnog kanala postali obrambeni nasipi od visoke Save. Oni su bili preduvjet za širenje grada u nizinske dijelove. Pojavom betona počele su se primjenjivati prve betonske cijevi i to najoligopoprečnog profila, zbog efekta najboljeg samočišćenja. Do 1950. uglavnom se postavljaju betonske cijevi 60/90 cm jer se kroz takve cijevi po potrebi mogao provući radnik u cilju čišćenja kanala.

Šezdesetih godina izgradnjom Zagrebačkog velesajma dolazi do širenja kanalske mreže i na desnu obalu Save gradnjom sabirnog kanala u Aveniji V. Holjevca i prvom crpnom stanicom u kanalizacijskom sustavu.

Najveći dio sustava odvodnje je mješovitog tipa (90% cjevovoda), a razdjelni sustav je izgrađen u prigradskim naseljima na desnoj obali Save – na području Stupnika, Svete Nedelje i naseljima jugozapadno od Novog Zagreba. Navedeno je ilustrirano kartom u nastavku. Napominje se da se u nastavku u tekstualnim i grafičkim dijelovima, gdje je to nužno radi potpunosti, navode i informacije o dijelovima sustava odvodnje na području grada Sveta Nedelja i Općine Stupnik, iako ova područja, s obzirom da predstavljaju zasebne jedinice lokalne samouprave, nemaju prioritetnost razmatranja u sklopu ove studije, iako je dodatno razmatrana problematika priključenja oborinskih voda s cestovnih prometnica i krovova kuća na izgrađeni razdjelni sustav odvodnje sanitarnih otpadnih voda.

Postojeći sustav obuhvaća oko 2220 kilometara cjevovoda. Prema korištenom materijalu prevladavaju betonski cjevovodi, ali se u novije vrijeme sve više koriste cjevovodi od raznih plastičnih materijala. Na prikazima Tabl. 40 i Tabl. 41 je prikazan raspored veličina profila te pojedinih materijala cjevovoda u odnosu na ukupnu duljinu.



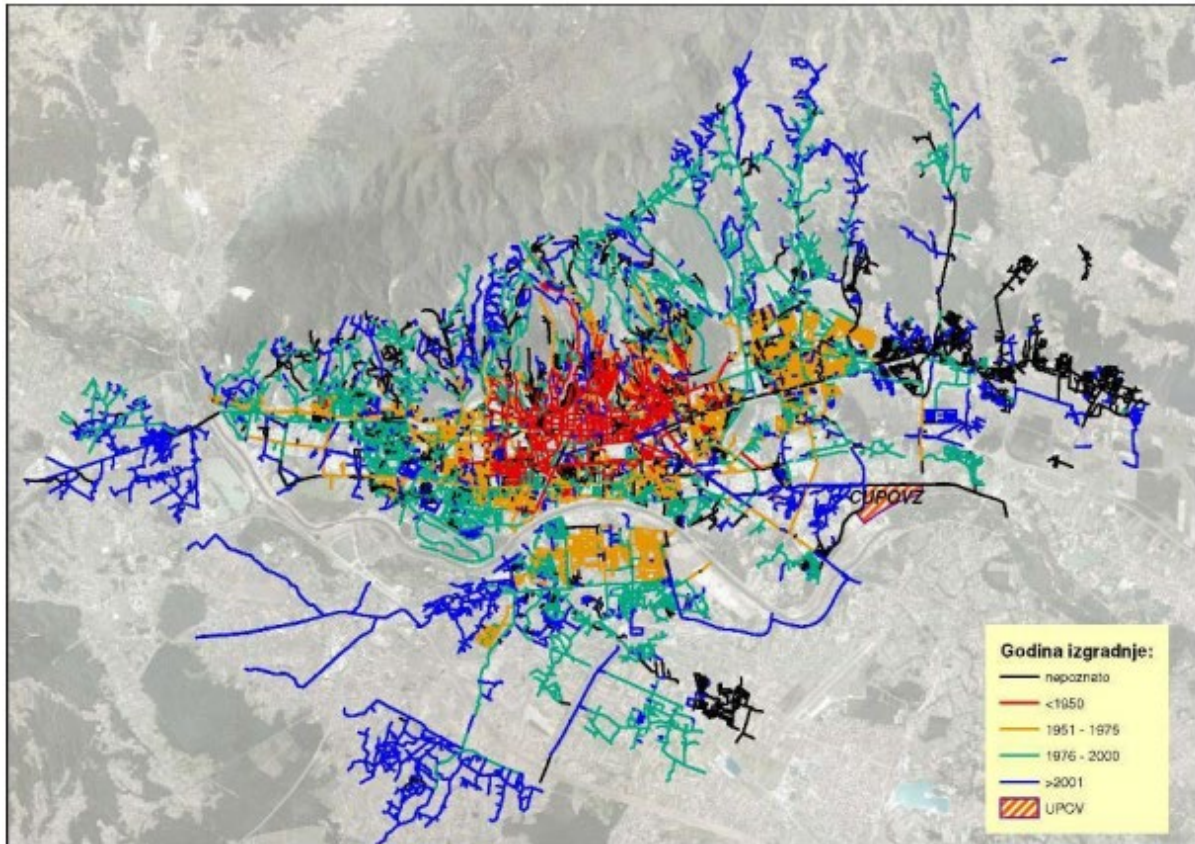
Sl. 8 Podjela sustava prema koncepciji odvodnje

Na karti ispod prikazani su cjevovodi u sustavu prema razdoblju izgradnje. U ovom prikazu se jasno vide pravci širenja grada Zagreba kroz 20.-21. stoljeće, koje je pratila izgradnja infrastrukture, i početak izgradnje Novog Zagreba 1960-ih godina. Također je uočljivo da se u najnovijem periodu širenje sustava odvija na obroncima Medvednice, Sesvetama, i u naseljima na desnoj obali Save, dok je u centralnom dijelu Zagreba sustav u potpunosti izgrađen.

Podjela prema koncepciji odvodnje također prati razvoj grada i urbanih područja. Središnji i najstariji dio sustava osmišljen je kao mješoviti, dok je novija mreža u prigradskim naseljima izgrađena uglavnom kao razdjelna.

Sustav odvodnje grada Zagreba može se podijeliti na tri glavne cjeline:

1. Sustav odvodnje lijeve obale Save sa sustavom Svete Nedelje
2. Sustav odvodnje Sesvete i Sesvete - istok
3. Sustav odvodnje Novi Zagreb



Sl. 9 Cjevovodi u sustavu prema razdoblju izgradnje

4.1.1 Uređaj za pročišćavanje

Centralni uređaj za pročišćavanje otpadnih voda Zagreb (CUPOVZ) je postrojenje za pročišćavanje otpadnih voda smješteno na jugoistočnom dijelu Zagreba, na lijevoj obali rijeke Save. Postrojenje je projektirano 2004. godine, te je odgovorno za pročišćavanje otpadnih voda grada Zagreba i okolnih područja. Uređaj je dimenzioniran za 1,2 mil. ES (u konačnoj fazi 1,5 mil. ES) i količinu otpadnih voda od 330.080 m³/d (442.370 m³/d), te na vršno satno opterećenje u kišnom razdoblju od 30.510 m³/h (37.790 m³/h) i na biološko opterećenje BPK₅ od 72.000 kg/dan (90.000 kg/dan). Centralni uređaj za pročišćavanje otpadnih voda Zagreba sastoji se od:

- ulazne precrpne stanice s pužnim crpkama,
- mehaničkog stupnja pročišćavanja otpadnih voda s grubim i sitnim rešetkama, prozračnim pjeskolovom, mastolovom i prethodnim taložnicima,
- biološkog stupnja pročišćavanja otpadnih voda postupkom „aktivnog mulja“ s naknadnim taložnicima,
- statičkog zgušnjavanja primarnog mulja i strojnog zgušnjavanja sekundarnog mulja,
- mezofilne anaerobne digestije mulja s proizvodnjom biološkog plina, te
- strojnog odvodnjavanja mulja.

Tabl. 39 Osnovni podatci o uređaju za pročišćavanje otpadnih voda Zagreb

Pokazatelj	Koncentracija u dotoku, 1.2 mil. ES	Koncentracija u dotoku, 1.2 mil. ES	Garantirani stupanj redukcije	Garantirana koncentracija u dotoku
BPK ₅	72.000 kg/dan	90.000 kg/dan	70-90%	≤ 25 mg/l
KPK	156.610 kg/dan	191.540 kg/dan	75%	≤ 125 mg/l
Ukupna raspršena tvar	113.900 kg/dan	136.430 kg/dan	90%	≤ 35 mg/l

Ekspertnom procjenom ukupna građevinska vrijednost CUPOVZ iznosi 100,000,000.00 EUR.

4.1.2 Crpne stanice

Na postojećem sustavu odvodnje nalazi se ukupno 53 crpne stanice (44 na sustavu Grada Zagreba i devet na sustavu Svete Nedelje). Osnovni sustav odvodnje Grada Zagreba čine gravitacijski kolektori kojima se voda dovodi do CUPOVZ-a, stoga crpne stanice prikazane u nastavnoj tablici imaju funkciju precrcpljivanja vode iz sekundarne mreže u sustav glavnih i transportnih kolektora, te rasterećivanja sustava pri pojavi oborina u periodima visokog vodostaja rijeke Save (izuzev crpnih stanica Mičevac, Sjever-jug i Žitnjak koje nisu navedene u popisu iz razloga što njima upravlja tvrtka ZOV – Zagrebačke otpadne vode, koja upravlja CUPOVZ-om).

R. br.	Naziv C.S.	Adresa	Proizvođač i vrsta crpke, tip radnog kola	Količi na dobave crpke (l/s)	Snaga crpke (kW)	Broj crpki (kom)	Ukupna manometarska visina dobave (m)	Instalirana snaga (kW)	Ukupna snaga crpki (kW)	Kapacitet (l/s)	Angažirana snaga (kW)
ZAGREB											
1	Ivanja Reka	Sesvete, Ivanja Reka bb	FLYGT NP 3153	35	11	4	17	54	52	140	38
2	Jelkovec (Filipovićeve)	Zagreb, Filipovićeve bb	FLYGT NP 3127	40	4.7	2	7	131	114	830	140
			FLYGT CP 3170	200	15	2	10				
			FLYGT CP 3356/665	350	75	1	10				
3	Struge (Bogdani)	Zagreb, Žitnjak 1.Struge bb	FLYGT CP 3300	400	44	3	3.1	142	138	1240	114
			FLYGT CP 3102	20	3.1	2	3.1				
4	Petruševac	Zagreb, Petruševac bb	ABS AFP2523M	280	22	4	7	98	95	1150	102
			ABS	15	3.5	2	7				

5	Jazvenička (Savica)	Zagreb, Jazvenička bb	FLYGT CP 3170	200	15	2	10	46.4	39.4	480	26.4
			FLYGT CP 3127	40	4.7	2	7				
6	Grahovečka - Markovo Polje	Markovo Polje, Grahovečka bb	FLYGT MP 3068	8	3.1	2	6.2	6.2	6.2	16	6.6
7	Čulinečka	Zagreb, Resnički Gaj 2	FLYGT CP 3102	20	3.1	2	5.5	7.6	6.2	40	17.25
8	Lea Mullera	Zagreb, Lea Mullera 66	FLYGT CP 3102	20	3.1	2	5.5	7.6	6.2	40	6.6
9	Miramarska (podvožnjak)	Zagreb, Miramarski Podvožnjak bb	FLYGT CP 3102	20	3.1	1	3.1	15.2	12.5	100	13.8
			FLYGT CP 3127	40	4.7	2	7				
10	Jakuševac	Zagreb, Jakuševac bb	FLYGT CP 3127	400	37	2	10	360	338	2770	117
			KSB	985	132	2	10				
11	Klara	Zagreb, Oreškovićeveca bb	FLYGT CP 3101	20	3.1	2	5.5	66	60.2	440	57.1
			FLYGT CP 3152	100	13.5	4	7				
12	Kajzerića	Zagreb, Podbrežje 14.bb	FLYGT CP 3201	250	22	3	10	66	60	750	66
13	Buzin 1-Bani	Zagreb, Buzin bb	VOGEL	10	2	1	5.5	6	5.1	30	13.2
			FLYGT CP 3102	20	3.1	1	5.5				
14	Buzin 2-Hertz	Zagreb, Buzinski Prilaz	FLYGT CP 3127	40	5.9	3	7	21	17.7	120	33
15	Buzin 3-Am.	Buzin, Bani 1. Odvojak bb	FLYGT CP 3102	20	3.1	2	5.5	83.6	72.2	790	90
			FLYGT CP 3201	250	22	3	10				
16	Botinec	Zagreb, dr. Luje Naletilića bb	FLYGT CP 3085	10	2	2	5.5	65	56	670	43
			FLYGT CP 3170	200	15	2	10				
			FLYGT CP 3201	250	22	1	10				
17	Dupci	Zagreb, dr. Luje Naletilića bb	FLYGT CP 3085	10	2	2	5.5	52	43.7	620	40
			FLYGT CP 3152	100	8.8	2	7				
			FLYGT CP 3170	200	15	2	10				
18	Obrež	Odranski Obrež, Orsagi	FLYGT CP 3140	100	15	2	10	30	21.8	200	9.9
19				20	5.5	2	5	11	11	40	11



PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

Elaborat građevinarstvo - inženjerske građevine - podaci o konstrukcijskim sustavima mostova i hidrotehničkih građevina: Mapa 2

Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

	Jakuševečka 84 (crkva)	Zagreb, Jakuševečka 84	ELEKTROKOVI NA FC1407								
20	Zaprude	Zagreb, Zaprude bb	LITOSTROJ	250	40	4	10	160	144	800	114
21	Mile Cipse - Trokuti	Zagreb, Ulica Mile Cipse bb	FLYGT CP 3102	20	3.1	4	5.5	12.4	7.6	80	10.8
22	Arena-Lanište	Zagreb, Lanište bb	FLYGT NP 3400	700	150	4	7	600	600	2800	705
23	Bundek 1		FLYGT MP 3068	8	2.4	2	5.5	4.8	4.8	16	
24	Bundek 2	caffè bar	FLYGT MP 3068	8	2.4	2	5.5	4.8	4.8	16	
25	Put Loparica	Blato, Put Loparica 1	FLYGT CP 3501	700	215	3	7	672	669	2324	590
			FLYGT NP 3153	100	9	2	7				
			FLYGT CP 3085	12	3.1	2	7				
26	Jarun CS 1	Zagreb, Jarun bb	JUGOTURBINA KP23-10/5,5	20	5,5 + 3,1	2	5	11	8.6	40	13.8
27	Jarun CS 2 (Končar)	Zagreb, Jarun bb	ELEKTROKOVI NA FC1407	20	5.5	2	5	11	11	40	13.8
28	Jarun CS 3	Zagreb, Jarun bb	FLYGT CP 3102	20	3.1	1	5	8.6	8.6	40	13.8
				20	3.1	1	5				
29	Jarun CS 4 (Tehnika)	Zagreb, Jarun bb	FLYGT CP 3102	20	3.1	2	5	5.5	5.5	40	13.8
30	Jarun CS 5	Zagreb, Jarun bb	FLYGT CP 3102	20	3.1	1	5	14.1	8.6	60	13.8
				20	3.1	2	5				
31	Jarun CS 6	Zagreb, Jarun bb	FLYGT CP 3102	20	3.1	1	5	6.2	6.2	40	13.8
32	Jarun CS 7	Zagreb, Jarun bb	FLYGT CP 3102	20	3.1	2	5	6.2	6.2	40	13.8

33	Jarun CS 8	Zagreb, Jarun bb	FLYGT CP 3102	20	3.1	1	5	6.2	6.2	40	13.8
				20	3.1	1	5				
34	Jarun CS 9	Zagreb, Jarun bb	FLYGT CP 3102	20	3.1	1	5	11	11	40	13.8
			JUGOTURBINA KP23-10/5,5		5.5						
35	Jarun CS 10	Zagreb, Jarun bb	FLYGT CP 3102	20	3.1	2	5	11	11	40	13.8
36	Jarun CS 11 (Vodoprivreda)	Zagreb, Jarun bb	JUGOTURBINA KP27-12/11	45	11	1	5	11	11	45	
37	VII. Retkovec	VII. Retkovec k.br. 138	FLYGT DP 3068.180 MT-471	10	1.5	1	5	21	21	180	34
			FLYGT DP 3068.180 MT-471	10	1.5	1	5				
			FLYGT NP 3153.180 LT-412	80	9	1	9				
			FLYGT NP 3153.180 LT-412	80	9	1	9				
38	Blato	Blato, Bačurina b.b.	FLYGT CP 3153	60	10.7	2	8	217.4	180	1520	100
			FLYGT NP 3202	300	43	2	10				
			FLYGT NP 3301	400	55	2	8				
39	Zlatarska	Zagreb, Zlatarska bb	FLYGT NP 3171.181	160	15	2	5		40	350	30.01
			FLYGT CP 3126 MT	30	5	2	5.5				
40	Petrine-Županići	Zagreb, Županići bb	FLYGT CP 3300.180	250	27	3	5	65	85	780	65
			FLYGT CP 3085.183	15	2	2	6				
41	Malnarova IX. odvojak	Sveta Klara, Malnara F. 9.odvojak bb	FLYGT NP 3171 LT3	160	15	2	7.5		33	336	
			FLYGT NP 3102 MT3	16	3	1	8.5				
42	Savica 1	Zagreb, Savica 1 bb	FLYGT NP 3102.160	30	3	2	5	9.2	6	60	11.04
43	Buzinski krči (s)	Buzinski krči bb	GRUNDFOS SL1.80.80.22.4.5 OD.C	37	3	2	12	11	6	74	11.04
44	Žagrebčica	Zagreb, Savska 116	ABS		18.5	3					11.04



	avenija - Savska (podvožnjak)											
SVETA NEDELJA												
1	Rakitje	Kod Podsusedskog mosta	FLYGT NP 3202.180	80	30	4	17	120	120	320	120	
2	Bestovje	Samoborska cesta Bestovje k.br. 19-okretište	FLYGT NP 3127	50	4.7	2	6	9.4	9.4	100	25	
3	Strmec, Trg Lazina	Kresišće	FLYGT NP 3102 LT-409	10	3.1	2	6	6.2	6.2	20	10.56	
4	Strmec, Zlodijeva	Zlodijeva ulica k.br. 1	FLYGT NP 3102 LT-409	10	3.1	2	6	6.2	6.2	20	10.56	
5	Strmec, Harambašićeva	Harambašićeva k.br. 50	FLYGT NP 3102 LT-409	10	3.1	2	6	6.2	6.2	20	10.56	
6	Strmec, Prelici	Vladimira Nazora, k.br. 90	FLYGT 3085	12	3.1	2	6	6.2	6.2	24	9	
7	Rakitje, Rakitska	Rakitska k.br. 76	FLYGT 3127.181 - 439	40	4.7	3	7	14.1	14.1	120	22.08	
8	Bestovje, Dugi put	Dugi put 20	FLYGT 3127.181 - 439	40	4.7	3	7	14.1	14.1	120	22.08	
9	Novaki, Vojvodići	Vojvodići 9	FLYGT NP 3127.181	40	4.7	3	7		14.1	120	22.08	

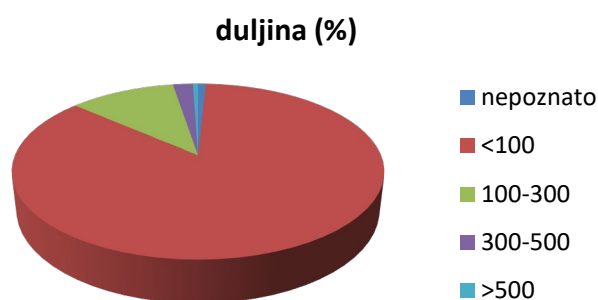
Ekspertnom procjenom ukupna građevinska vrijednost svih crpnih stanica kanalizacijske mreže u gradu Zagrebu iznosi 22,010,000.00 EUR.

4.1.3 Cjevovodi

Postojeći sustav obuhvaća oko 2.100 kilometara cjevovoda. Prema korištenom materijalu prevladavaju betonski cjevovodi, ali se u novije vrijeme sve više koriste cjevovodi od raznih plastičnih materijala.

Tabl. 40 Raspored promjera cjevovoda prema duljini

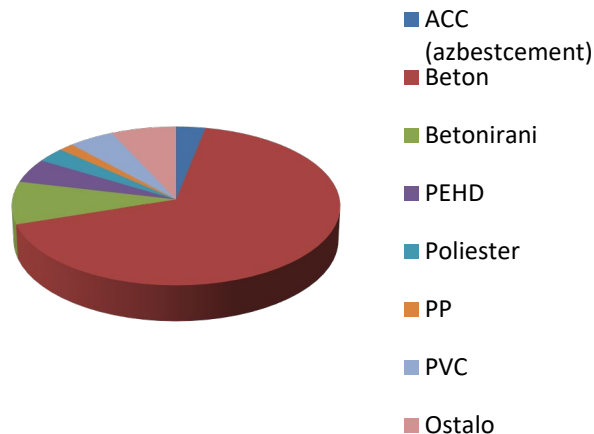
Profil (cm)	Duljina (m)
nepoznato	17.498,40
<100	1.823.902,49
100-300	233.919,61
300-500	44.158,42
>500	11.324,13
UKUPNO:	2.130.803,05



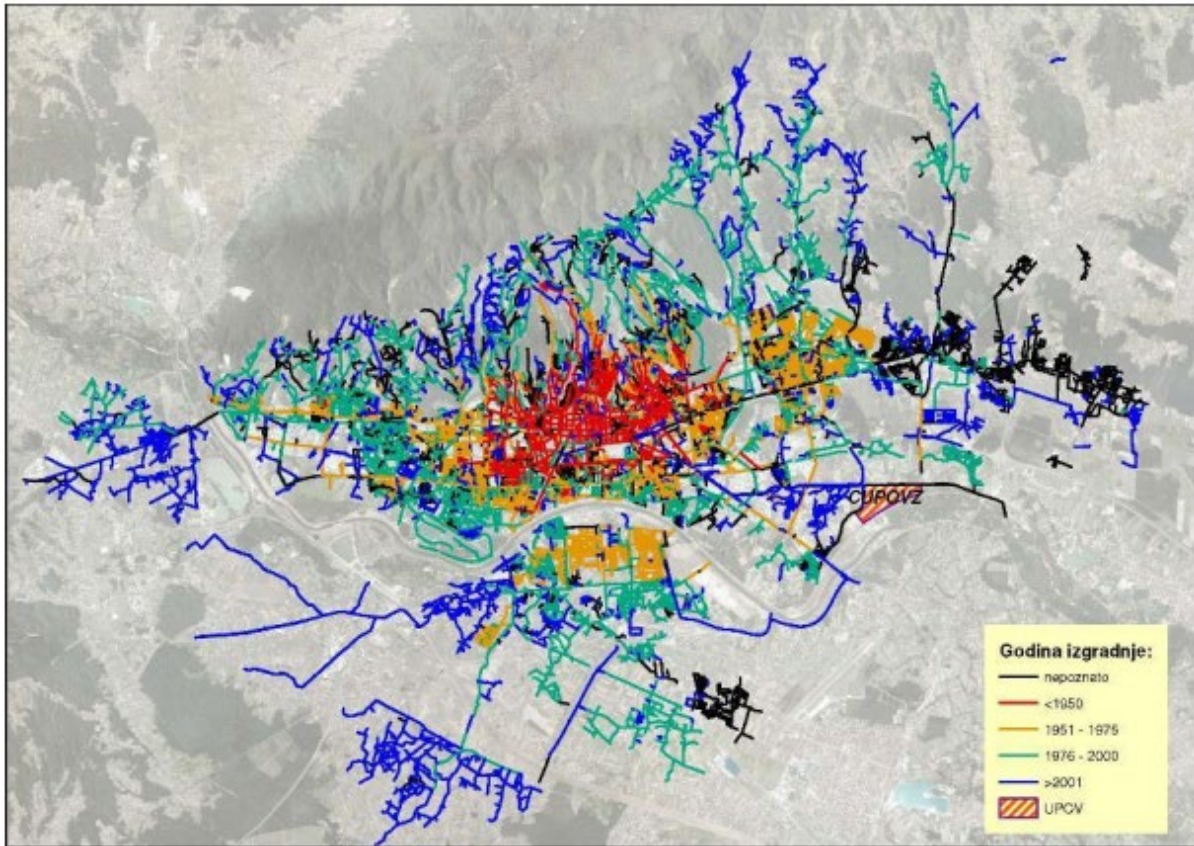
Prema korištenom materijalu prevladavaju betonski cjevovodi, ali se u novije vrijeme sve više koriste cjevovodi od raznih plastičnih materijala.

Tabl. 41. Udio pojedinih materijala u ukupnoj duljini:

Materijal	Duljina (m)	Udio
ACC (azbestcement)	66.655	3.1%
Beton	1.424.920	66.9%
Betonirani	184.671	8.7%
PEHD	105.005	4.9%
Poliester	64.248	3.0%
PP	33.780	1.6%
PVC	103.364	4.9%
Ostalo	148.161	7.0%
UKUPNO	2.130.803	100.0%



Na slici prikazana je starost izgrađene kanalske mreže, prema pojedinim razdobljima izgradnje. Uočava se da je najstariji dio kanalske mreže vezan uz središnji dio grada Zagreba.



Sl. 10 Cjevovodi u sustavu prema razdoblju izgradnje

4.1.4 Ostali objekti sustava odvodnje otpadnih voda

U okviru sustava odvodnje otpadnih voda postoje i drugi objekti bez kojih sustav ne može normalno funkcionirati kao što su prekidna, revizijska i ulazna okna, slivnici, priključne građevine, spremnici itd. U okviru ove studije procijenjeno je da se radi o objektima manje osjetljivim na potresna djelovanja te da ne doprinose značajno potresnom riziku Grada Zagreba. Osim toga, procjenjuje se da je na dotičnim objektima moguće relativno brzo otkloniti kvarove nastale uslijed potresa te sustav staviti u puni pogon.

4.2 Opis mehanizama oštećenja i modova sloma

Kao i u vodoopskrbi, glavna oštećenja u kanalizacijskim mrežama opažena su u cijevima, zatim u crpnim stanicama te postrojenjima za pročišćavanje vode. Oštećenja cjevovoda uglavnom se mogu pripisati trajnoj deformaciji tla, a manje valnoj propagaciji. Krutost cijevi, spojevi, starost i korozija samo su neki od čimbenika koji utječu na seizmički odgovor kanalizacijskih mreža. Izravna oštećenja kanalizacijskih mreža često su praćena neizravnim seizmičkim učincima poput urušavanja kolnika, blokiranja cesta, poremećaja prometa, onečišćenjem vode, onečišćenjem tla i mogućih javno zdravstvenih problema. Glavna oštećenja komponenti kanalizacijskog sustava, slična su kao i kod vodoopskrbnog sustava. Međutim, cijevi kanalizacijske mreže ponekad ne otkazuju odmah nakon potresa, budući da nastale pukotine i popuštanja mogu uzrokovati kvar cijevi nakon nekoliko dana, tjedana ili čak mjeseci.

4.3 Krivulje osjetljivosti („fragility curves“)

4.3.1 Uređaji za pročišćavanje otpadnih voda

Za procjenu osjetljivosti uređaja za pročišćavanje otpadnih voda preporučuje se koristiti krivulje osjetljivosti iz [17] (Tabl. 42, Sl. 11). Ovakve krivulje se primjenjuju na uređajima bez rezervnog napajanja, smještena u niskim armirano-betonskim građevinama.

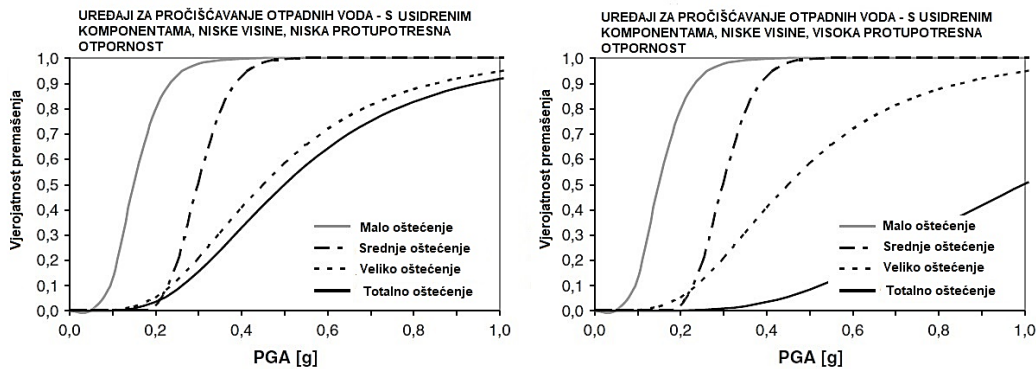
Opisi stupnja oštećenja, troškova obnove (u obliku postotka troška zamjene) i razina upotrebljivosti nalaze se u Tabl. 43.

Alternativno, mogu se koristiti generičke funkcije osjetljivosti prema metodologiji [10] za uređaje za pročišćavanje otpadnih voda. Takve funkcije se temelje na razlici sidrenih i nesidrenih podkomponenti za mala, srednja i velika postrojenja [11]. Opisi stupnja oštećenja su isti kao i u Tabl. 43.

Krivulje osjetljivosti prikazane na Sl. 11 odnose se na one uređaje čije su elektromehaničke komponente usidrene u konstrukciju te im je na taj način ograničeno gibanje uslijed potresa. Podjela na građevine s visokom i niskom protupotresnom otpornošću odnosi se na materijal izvedbe, konstrukcijske protupotresne elemente i starost građevine. Za potrebe proračuna u pogl. 4.4.1 pretpostavljeno je da sve crpne stanice spadaju u kategoriju visoke protupotresne otpornosti.

Tabl. 42 Parametri krivulja osjetljivosti za uređaje za pročišćavanje otpadnih voda, [11]

Opis	Vršno ubrzanje tla (PGA)		
	Stupanj oštećenja	Medijan (g)	β (standarna devijacija)
Uređaji za pročišćavanje otpadnih voda s sidrenim komponentama (Armirano betonski niske građevine s niskom protupotresnom otpornošću)	Malo	0.15	0.35
	Srednje	0.30	0.20
	Veliko	0.45	0.50
	Totalno	0.50	0.50
Uređaji za pročišćavanje otpadnih voda s sidrenim komponentama (Armirano betonski niske građevine s visokom protupotresnom otpornošću)	Malo	0.15	0.35
	Srednje	0.30	0.20
	Veliko	0.45	0.50
	Totalno	1.00	0.50



Sl. 11 Krivulje osjetljivosti za uređaje za pročišćavanje otpadnih voda s usidrenim komponentama, niskokatna armirano-betonska građevina s niskom (lijevo) i visokom (desno) protupotresnom otpornosti, [11]

Tabl. 43 Opis stupnja oštećenja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, [11]

Stupanj oštećenja	Opis	Trošak popravka (%)	Upotrebljivost	
Malo	Neispravnost rada postrojenja na kratko vrijeme (manje od 3 dana) zbog nestanka električne energije, značajno oštećenje opreme, blago oštećenje taložnih bazena, blago oštećenje dezinfekcijskih i kemijskih spremnika	10-30	Normalan protok i tlak vode	Operativan nakon ograničenih popravaka
Srednje	Neispravnost rada postrojenja na otprilike tjedan dana zbog nestanka električne energije, veliko oštećenje opreme, značajno oštećenje taložnih bazena, značajno oštećenje dezinfekcijskih spremnika bez gubitka sadržaja ili značajno oštećenje kemijskih spremnika	30-50	Smanjen protok i tlak vode	Operativan nakon popravka
Veliko	Veliko oštećenje cijevi koje povezuju različite bazene i kemijske jedinice	50-75	-	Djelomično operativno nakon većih popravaka
Totalno	Potpuni kvar svih cjevovoda ili velika oštećenja građevine i opreme	75-100	Bez vode	Ne popravljivo

4.3.2 Crpne stanice

Kao i kod uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, krivulje osjetljivosti predložene u [11] koriste se za procjenu osjetljivosti podiznih stanica. Ovakav pristup primjenjiv je na podiznim stanicama bez rezervnog napajanja, smještenih u niskokatnim armirano-betonskim građevinama.

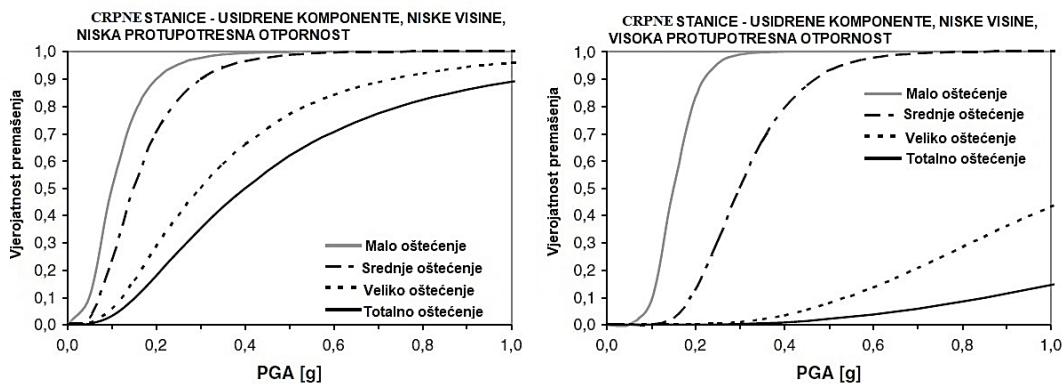
Opis stupnja oštećenja se nalazi u Tabl. 45, dok odgovarajuće krivulje osjetljivosti su dane u Tabl. 44 i prikazane na Sl. 12.

Alternativno, mogu se koristiti generičke funkcije osjetljivosti predložene prema metodologiji [10].

Krivulje osjetljivosti prikazane na Sl. 12 odnose se na one crpne stanice čije su elektromehaničke komponente usidrene u konstrukciju te im je na taj način ograničeno gibanje uslijed potresa. Podjela na građevine s visokom i niskom protupotresnom otpornošću odnosi se na materijal izvedbe, konstrukcijske protupotresne elemente i starost građevine. Za potrebe proračuna u pogl. 3.4.3 pretpostavljeno je da sve crpne stanice spadaju u kategoriju visoke protupotresne otpornosti.

Tabl. 44 Parametri krivulja osjetljivosti za crpne stanice, [11]

Opis	Vršno ubrzanje tla (PGA)		
	Stupanj oštećenja	Medijan (g)	β (standarna devijacija)
Usidrene komponente (Armirano betonske niske građevine s niskom protupotresnom otpornošću)	Malo	0.10	0.55
	Srednje	0.15	0.55
	Veliko	0.30	0.70
	Totalno	0.40	0.75
Usidrene komponente (Armirano betonske niske građevine s visokom protupotresnom otpornošću)	Malo	0.15	0.30
	Srednje	0.30	0.35
	Veliko	1.10	0.55
	Totalno	2.10	0.70



Sl. 12. Krivulje osjetljivosti za crpne stanice s usidrenim komponentama, niskokatna armirano-betonska građevina s niskom (lijevo) i visokom (desno) protupotresnom otpornošću, [11]

Tabl. 45 Opis stupnja oštećenja crpne stanice, [11]

Stupanj oštećenja	Opis	Trošak popravka (%)	Upotrebljivost	
Malo	Neispravnost rada postrojenja na kratko vrijeme (manje od 3 dana) zbog nestanka električne energije ili blago oštećenje građevine	10-30	Normalan protok	Operativan nakon ograničenih popravaka
Srednje	Gubitak električne energije na otprilike tjedan dana, značajno oštećenje mehaničke i električne opreme, ili umjereno oštećenje građevine	30-50	Smanjen protok	Operativan nakon popravka
Veliko	Veliko oštećenje građevine ili pumpe koja je izvan mogućnosti popravka	50-75	-	Djelomično operativno nakon većih popravaka
Totalno	Srušena građevina	75-100	Bez vode	Ne popravljivo

4.3.3 Cjevovodi

Pogledati poglavlje 3.4.4.

4.4 Procjena oštećenja građevina

U nastavku se daje tablični prikaz procijenjenog broja oštećenja na postojećoj kanalizacijskog mreži predmetnog sustava odvodnje otpadnih voda sukladno utvrđenim odgovarajućim krivuljama osjetljivosti i pripadnim utjecajnim parametrima, prema najvećim izmjerenim vrijednostima parametara seizmičke pobude, *PGA*, *PGV* i *PGD*, na mjernim stanicama na području Grada Zagreba, te sintetičkom potresu povratnog period od 475 godina. U donjoj tablici daje se procijenjena tablica troškova popravka određene kategorije oštećenje koja se procjenjuje iz Tabl. 46.

Tabl. 46 Tablica troškova popravka određene kategorije oštećenja iskazane u postotku ukupne građevinske vrijednosti

	Troškovi obnove u % građevinske vrijednosti za CUPOVZ (u zagradi za crpne stanice)
Malo oštećenje	10.00% (10.00%)
Srednje oštećenje	20.00% (50.00%)
Veliko oštećenje	40.00% (60.00%)
Totalno oštećenje	70.00% (100.00%)

4.4.1 Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda

Prema metodologiji danoj u poglavlju 4.3.1, ovdje su dane procjene kategorija oštećenja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda te troškova obnove kao okvir potresnog hazarda grada Zagreba.

Tablični iskaz udjela nastalih kategorija oštećenja UPOV-a u gradu Zagrebu i pripadnog troška obnove po pojedinoj kategoriji kao i ukupnog troška obnove nastalih oštećenja uslijed prvog zagrebačkog potresa (M = 5,5) je dan u Tabl. 47. Za drugi zagrebački potres (M = 4,9) i sintetički potres povratnog perioda od 475 godina troškovi obnove su dani u Tabl. 48 i Tabl. 49.

Tabl. 47 Tablica troškova obnove oštećenja na UPOV-a grada Zagreba za prvi zagrebački potres (M=5.5)

				Protupotresno projektirane građevine	Nisu protupotresno projektirane građevine
	Udio protupotresno projektiranih građevina		%	100.00%	0.00%
Prvi zagrebački potres (M=5.5, PGA=0.22 g)	Udio građevina koji je zadobio pojedinu kategoriju oštećenja (prema SRM-LIFE)	Nema oštećenje	%	15.00%	-
		Malo oštećenje	%	75.00%	-
		Srednje oštećenje	%	10.00%	-
		Veliko oštećenje	%	0.00%	-
		Totalno oštećenje	%	0.00%	-
	Troškovi obnove (prema SRM-LIFE)	Malo oštećenje	%	7.50%	-
		Srednje oštećenje	%	2.00%	-
		Veliko oštećenje	%	0.00%	-
		Totalno oštećenje	%	0.00%	-
		Ukupno oštećenje prema potresnoj kategoriji	%	9.50%	0.00%
		Ukupno oštećenje	%	9.50%	
		Ukupna vrijednost	EUR	80,000,000.00 €	
Ukupno oštećenje	EUR	7,600,000.00 €			

Tabl. 48 Tablica troškova obnove oštećenja na UPOV-a grada Zagreba za drugi zagrebački potres (M=4.9)

				Protupotresno projektirane građevine	Nisu protupotresno projektirane građevine
Drugi zagrebački potres (M=4.9, PGA=0.06 g)	Udio građevina koji je zadobio pojedinu kategoriju oštećenja (prema SRM-LIFE)	Nema oštećenje	%	90.00%	100.00%
		Malo oštećenje	%	10.00%	0.00%
		Srednje oštećenje	%	0.00%	0.00%
		Veliko oštećenje	%	0.00%	0.00%
		Totalno oštećenje	%	0.00%	0.00%
	Troškovi obnove (prema SRM-LIFE)	Malo oštećenje	%	1.00%	0.00%
		Srednje oštećenje	%	0.00%	0.00%
		Veliko oštećenje	%	0.00%	0.00%
		Totalno oštećenje	%	0.00%	0.00%
		Ukupno oštećenje prema potresnoj kategoriji	%	1.00%	0.00%
		Ukupno oštećenje	%	1.00%	
		Ukupna vrijednost	EUR	80,000,000.00 €	
	Ukupno oštećenje	EUR	800,000.00 €		

Tabl. 49 Tablica troškova obnove oštećenja na UPOV-a grada Zagreba za sintetički zagrebački potres (PGA=0.29 g)

				Protupotresno projektirane građevine	Nisu protupotresno projektirane građevine
Potres povratnog razdoblja 475 godina (PGA=0.29 g)	Udio građevina koji je zadobio pojedinu kategoriju oštećenja (prema SRM-LIFE)	Nema oštećenje	%	5.00%	100.00%
		Malo oštećenje	%	53.00%	0.00%
		Srednje oštećenje	%	26.00%	0.00%
		Veliko oštećenje	%	16.00%	0.00%
		Totalno oštećenje	%	0.00%	0.00%
	Troškovi obnove (prema SRM-LIFE)	Malo oštećenje	%	5.30%	0.00%
		Srednje oštećenje	%	5.20%	0.00%
		Veliko oštećenje	%	6.40%	0.00%
		Totalno oštećenje	%	0.00%	0.00%
		Ukupno oštećenje prema potresnoj kategoriji	%	16.90%	0.00%
		Ukupno oštećenje	%	16.90%	
		Ukupna vrijednost	EUR	80,000,000.00 €	
	Ukupno oštećenje	EUR	13,520,000.00 €		

4.4.2 Crpne stanice

Prema metodologiji danoj u poglavlju 4.3.2, ovdje su dane procjene kategorija oštećenja crpnih stanica otpadnih voda te troškova obnove kao okvir potresnog hazarda grada Zagreba.

Tablični iskaz udjela nastalih kategorija oštećenja crpnih stanica u gradu Zagrebu i pripadnog troška obnove po pojedinoj kategoriji kao i ukupnog troška obnove nastalih oštećenja uslijed prvog zagrebačkog potresa ($M = 5,5$) je dan u Tabl. 50. Za drugi zagrebački potres ($M = 4,9$) i sintetički potres povratnog perioda od 475 godina troškovi obnove su dani u Tabl. 51 i Tabl. 52.

Tabl. 50 Tablica troškova obnove oštećenja na crpnih stanica otpadnih voda grada Zagreba za prvi zagrebački potres ($M=5.5$)

				Protupotresno projektirane građevine	Nisu protupotresno projektirane građevine
	Udio protupotresno projektiranih građevina		%	100.00%	0.00%
Prvi zagrebački potres ($M=5.5$, $PGA=0.22$ g)	Udio građevina koji je zadobio pojedinu kategoriju oštećenja (prema SRM-LIFE)	Nema oštećenje	%	7.00%	0.00%
		Malo oštećenje	%	71.00%	0.00%
		Srednje oštećenje	%	22.00%	0.00%
		Veliko oštećenje	%	0.00%	0.00%
		Totalno oštećenje	%	0.00%	0.00%
	Troškovi obnove (prema SRM-LIFE)	Malo oštećenje	%	7.10%	0.00%
		Srednje oštećenje	%	11.00%	0.00%
		Veliko oštećenje	%	0.00%	0.00%
		Totalno oštećenje	%	0.00%	0.00%
		Ukupno oštećenje prema potresnoj kategoriji	%	18.10%	0.00%
		Ukupno oštećenje	%	18.10%	
		Ukupna vrijednost	EUR	22,010,000.00 €	
	Ukupno oštećenje	EUR	3,983,810.00 €		

Tabl. 51 Tablica troškova obnove oštećenja na crpnih stanica otpadnih voda grada Zagreba za drugi zagrebački potres (M=4.9)

				Protupotresno projektirane građevine	Nisu protupotresno projektirane građevine
	Udio protupotresno projektiranih građevina		%	100.00%	0.00%
Drugi zagrebački potres (M=4.9, PGA=0.06 g)	Udio građevina koji je zadobio pojedinu kategoriju oštećenja (prema SRM-LIFE)	Nema oštećenje	%	100.00%	100.00%
		Malo oštećenje	%	0.00%	0.00%
		Srednje oštećenje	%	0.00%	0.00%
		Veliko oštećenje	%	0.00%	0.00%
		Totalno oštećenje	%	0.00%	0.00%
	Troškovi obnove (prema SRM-LIFE)	Malo oštećenje	%	0.00%	0.00%
		Srednje oštećenje	%	0.00%	0.00%
		Veliko oštećenje	%	0.00%	0.00%
		Totalno oštećenje	%	0.00%	0.00%
		Ukupno oštećenje prema potresnoj kategoriji	%	0.00%	0.00%
		Ukupno oštećenje	%	0.00%	
		Ukupna vrijednost	EUR	22,010,000.00 €	
	Ukupno oštećenje	EUR	0.00 €		

Tabl. 52 Tablica troškova obnove oštećenja na UPOV-a grada Zagreba za sintetički zagrebački potres (PGA=0.29 g)

				Protupotresno projektirane građevine	Nisu protupotresno projektirane građevine
	Udio protupotresno projektiranih građevina		%	100.00%	0.00%
Potres povratnog razdoblja 475 godina (PGA=0.29 g)	Udio građevina koji je zadobio pojedinu kategoriju oštećenja (prema SRM-LIFE)	Nema oštećenje	%	1.00%	100.00%
		Malo oštećenje	%	51.00%	0.00%
		Srednje oštećenje	%	48.00%	0.00%
		Veliko oštećenje	%	0.00%	0.00%
		Totalno oštećenje	%	0.00%	0.00%

Troškovi obnove (prema SRM-LIFE)	Malo oštećenje	%	5.10%	0.00%
	Srednje oštećenje	%	24.00%	0.00%
	Veliko oštećenje	%	0.00%	0.00%
	Totalno oštećenje	%	0.00%	0.00%
	Ukupno oštećenje prema potresnoj kategoriji	%	29.10%	0.00%
	Ukupno oštećenje	%	29.10%	
	Ukupna vrijednost	EUR	22,010,000.00 €	
	Ukupno oštećenje	EUR	6,404,910.00 €	

4.4.3 Cjevovodi

Prema metodologiji danj u poglavlju 4.3.3, ovdje se prikazuje broj oštećenja cjevovoda kanalizacijske mreže kao okvir potresnog hazarda grada Zagreba.

Tablični iskaz broja nastalih oštećenja na cjevovodima kanalizacijske mreže u gradu Zagrebu uslijed prvog zagrebačkog potresa ($M = 5,5$) su dani u Tabl. 53 i Tabl. 54. Za drugi zagrebački potres ($M = 4,9$) oštećenja su dana u Tabl. 55 i Tabl. 56, te za sintetički potres u Tabl. 57 i Tabl. 58.

Tabl. 53 Procjena broja oštećenja na cjevovodu kanalizacijske mreže za najveće izmjerene vrijednosti PGV seizmičkog događaja magnitude $M = 5,5$ (za prvi zagrebački potres).

HAZUS/O'Rourke - Ayala - Prvi zagrebački potres, $M5.5$, $PGV = 20.05$ cm/s, $PGD = 0.0315$ m				
Materijal	Duljina	K	R_p	R_p
	[km]	[1]	[1/km]	[1]
Azbestni cement	66.7	1	0.085	6
Beton	1,609.6	1	0.085	137
Polietilen	105.0	0.3	0.026	3
Polipropilen	33.8	0.3	0.026	1
Polivinil klorid	103.4	0.3	0.026	3
Poliester	64.2	0.3	0.026	2
Ostalo	148.2	0.8	0.068	10
$\Sigma =$	2130.8		$\Sigma =$	160.5

Tabl. 54 Procjena broja oštećenja na cjevovodu kanalizacijske mreže za najveće izmjerene vrijednosti PGD seizmičkog događaja magnitude $M = 5,5$ (za prvi Zagrebački potres)

Honegger - Eguchi - Prvi zagrebački potres, M5.5, PGV = 20.05 cm/s, PGD = 0.0315 m				
Materijal	Duljina	K	R_t	R_t
	[km]	[1]	[1/km]	[1]
Azbestni cement	66.7	1	1.128	75
Beton	1,609.6	1	1.128	1816
Polietilen	105.0	0.3	0.338	36
Polipropilen	33.8	0.3	0.338	11
Polivinil klorid	103.4	0.3	0.338	35
Poliester	64.2	0.3	0.338	22
Ostalo	148.2	0.8	0.902	134
$\Sigma =$	2130.8		$\Sigma =$	2128.2

Tabl. 55 Procjena broja oštećenja na cjevovodu kanalizacijske mreže za najveće izmjerene vrijednosti PGV seizmičkog događaja magnitude $M = 4,9$ (za drugi zagrebački potres)

HAZUS/O'Rourke - Ayala - Drugi zagrebački potres, M4.8, PGV = 2.59 cm/s, PGD = 0.0037 m				
Materijal	Duljina	K	R_p	R_p
	[km]	[1]	[1/km]	[1]
Azbestni cement	66.7	1	0.001	0
Beton	1,609.6	1	0.001	1
Polietilen	105.0	0.3	0.000	0
Polipropilen	33.8	0.3	0.000	0
Polivinil klorid	103.4	0.3	0.000	0
Poliester	64.2	0.3	0.000	0
Ostalo	148.2	0.8	0.001	0
$\Sigma =$	2130.8		$\Sigma =$	1.6

Tabl. 56 Procjena broja oštećenja na cjevovodu kanalizacijske mreže za najveće izmjerene vrijednosti PGD seizmičkog događaja magnitude $M = 4,9$ (za drugi zagrebački potres)

Honegger - Eguchi - Drugi zagrebački potres, M4.8, PGV = 2.59 cm/s, PGD = 0.0037 m				
Materijal	Duljina	K	R_t	R_t
	[km]	[1]	[1/km]	[1]
Azbestni cement	66.7	1	0.340	23
Beton	1,609.6	1	0.340	547
Polietilen	105.0	0.3	0.102	11
Polipropilen	33.8	0.3	0.102	3
Polivinil klorid	103.4	0.3	0.102	11

Poliester	64.2	0.3	0.102	7
Ostalo	148.2	0.8	0.272	40
$\Sigma =$	2130.8		$\Sigma =$	641.4

Tabl. 57 Procjena broja oštećenja na cjevovodu kanalizacijske mreže za vrijednosti PGV sintetičkog seizmičkog događaja

HAZUS/O'Rourke - Ayala - Drugi zagrebački potres, M4.8, PGV = 2.59 cm/s, PGD = 0.0037 m				
Materijal	Duljina	K	R_p	R_p
	[km]	[1]	[1/km]	[1]
Azbestni cement	66.7	1	0.211	14
Beton	1,609.6	1	0.211	339
Polietilen	105.0	0.3	0.063	7
Polipropilen	33.8	0.3	0.063	2
Polivinil klorid	103.4	0.3	0.063	7
Poliester	64.2	0.3	0.063	4
Ostalo	148.2	0.8	0.169	25
$\Sigma =$	2130.8		$\Sigma =$	397.4

Tabl. 58 Procjena broja oštećenja na cjevovodu kanalizacijske mreže za vrijednosti PGD sintetičkog seizmičkog događaja

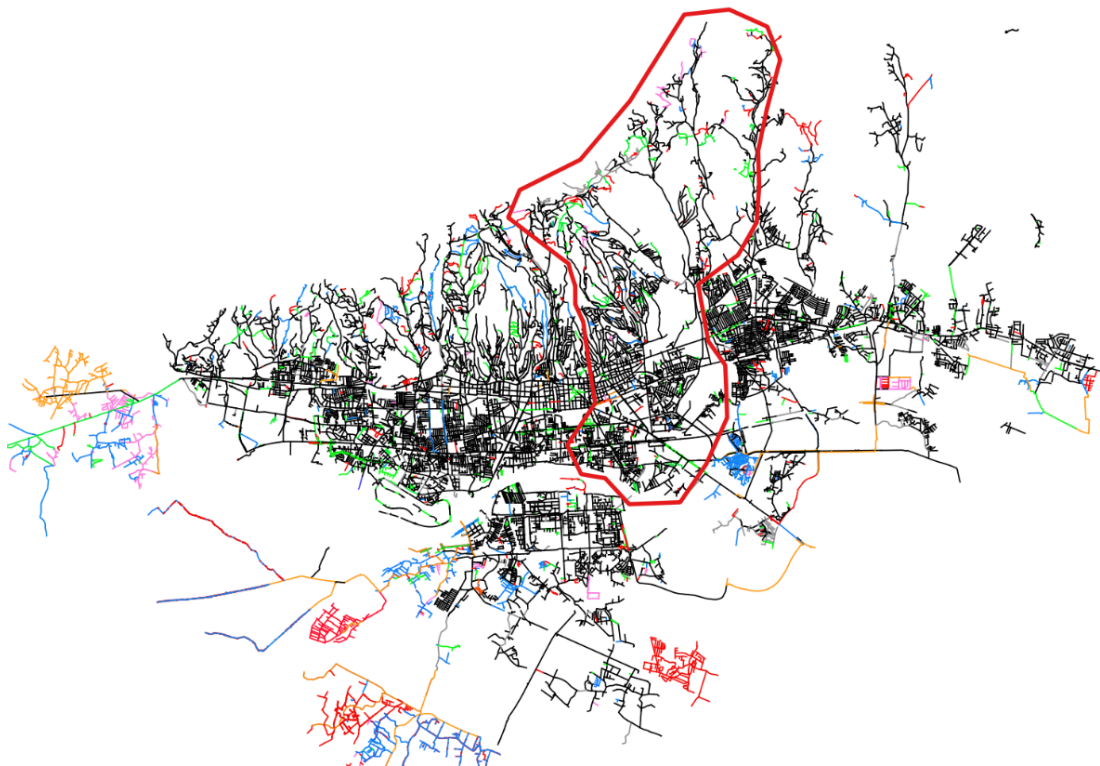
Honegger - Eguchi - Drugi zagrebački potres, M4.8, PGV = 2.59 cm/s, PGD = 0.0037 m				
Materijal	Duljina	K	R_t	R_t
	[km]	[1]	[1/km]	[1]
Azbestni cement	66.7	1	1.377	92
Beton	1,609.6	1	1.377	2217
Polietilen	105.0	0.3	0.413	43
Polipropilen	33.8	0.3	0.413	14
Polivinil klorid	103.4	0.3	0.413	43
Poliester	64.2	0.3	0.413	27
Ostalo	148.2	0.8	1.102	163
$\Sigma =$	2130.8		$\Sigma =$	2598.8

Sukladno primijenjenoj metodologiji i dobivenim rezultatima broja oštećenja uslijed seizmičkih događaja, predviđa se oko 2288 novo nastalih neevidentiranih kvarova na cjelokupnoj kanalizacijskoj mreži za prvi zagrebački potres i 643 za drugi zagrebački potres. Za sintetički potres broj oštećenja iznosi 2995.

Od navedenih oštećenja procjenjuje se da će oko 90% oštećenja zahtijevati sanaciju koja uključuje i zemljane radove, tj. iskop radi pristupa oštećenju, a da će se oko 10% oštećenja moći izvršiti unutar postojećih zasunskih okana u vidu saniranja pukotina, pomaka ili izmjene vodovodnih armatura i fasonskih komada.

Pored toga, procjenjuje se da oko 70% od svih oštećenja otpada na oštećenja samih cjevovoda, dok se oko 30% oštećenja odnosi na kućne priključke. Nadalje, procjenjuje se da 30% od oštećenja na mreži odgovara javljanju malih (pozadinskih) istjecanja kod kojih u ovom trenutku ne postoji ekonomska opravdanost izvođenja sanacija.

Jedna od osnovnih mjera u sklopu budućih aktivnosti je detaljno utvrđivanje stanja šteta na sustavu odvodnje nakon seizmičkih događaja. Najkritičniji dio kanalske mreže je neophodno detaljno ispitati "iznutra", a što se može ostvariti isključivo snimanjem kamerom ugrađenom na robotu koji prolazi kroz kanale (CCTV inspekcija). Pritom je, u odnosu na veličinu parametara seizmičke pobude i prethodno provedene analize, preporuka da se najkritičniji dio kanalizacijske mreže u duljini 370 km ispita CCTV inspekcijom. Ova duljina određena je kao duljina mreže koja obuhvaća betonske cijevi na području na kojem su evidentirane trajne deformacije tla (klizišta) te najveći izmjereni pomak tla. Na Sl. 13 prikazana je izdvojena kanalizacijska mreža Grada Zagreba za koju se ocjenjuje potreba provedbe CCTV inspekcije, pri čemu su samo betonske cijevi prikazane crnim linijama. U skladu sa saznanjima o karakteristikama potresa koji su se dogodili (pomaci tla i dr.) te o dosada ustanovljenom i procijenjenom utjecaju potresnih razaranja na pojavu štete na komunalnoj infrastrukturi, evidentno je da je došlo do šteta i na preostalom dijelu sustava odvodnje, izvan prethodno izdvojene kritične zone. Ocjenjuje se potrebnim uz provedbu CCTV inspekcije ispitati dodatnih 250 km kanalske mreže sustava odvodnje na preostalom dijelu sustava odvodnje, s ciljem utvrđivanja nastale štete uslijed potresnih razaranja. Prema tome, ukupna duljina kanalske mreže koju je potrebno ispitati CCTV inspekcijom iznosi 620 km.



Sl. 13 Dio kanalizacijske mreže izdvojen za CCTV inspekciju

Rezultat provođenja prethodne aktivnosti CCTV inspekcije biti će mikrolociranje oštećenja (točkasta oštećenja na kanalskoj mreži i oknima tipa kao puknuća kanala, urušavanje kanala i okana, razmak cijevi na spojevima, oštećenja na spojevima cijevi i kanala) koje je zatim potrebno sanirati. Pored toga, po realizaciji mikrolociranja oštećenja i CCTV snimanja, ustanovit će se da je kanalizacijska mreža na pojedinim dijelovima, naročito onim dijelovima velike starosti, potresom trajno oštećenja (linijska oštećenja) te će biti potrebna sanacija cjelovitih dionica. Procjena izrađivača ovoga elaborata je da će linijska oštećenja čini oko 5% ispitane duljine mreže, dakle oko 18 km. Od ovih 18 km, procjenjuje se da je 16 km uslijed prvog zagrebačkog potresa, a 2 km uslijed drugog zagrebačkog potresa. Za sintetički potres procjenjuje 25 km linijskih oštećenja na kanalskoj mreži.

Jedinični trošak sanacije štete na kanalima sa zemljanim iskopima procjenjuje se na 1.400 EUR po jednom kvaru. Jedinični trošak sanacije štete na kanalima bez zemljanih iskopa (sanacija u revizijskim oknima) procjenjuje se na 400 EUR po jednom kvaru. Jedinični trošak sanacije štete na kućnim priključcima procjenjuje se na 1000 EUR po jednom kvaru. Dok za popravak linijski oštećenja se procjenjuje na 700 EUR po metru.

Tabl. 59 Procjena ukupnih troškova obnove na cjevovodu kanalske mreže za prvi zagrebački potres

Kategorija oštećenja	Broj oštećenja	Procjena jediničnog troška sanacije u [EUR]	Ukupno procijenjen trošak sanacije u [EUR]
Sanacija točkastih oštećenja na kanalima (cjevovodima) s potrebnim zemljanim radovima	1040	1,400.00 €	1,456,000.00 €
Sanacija u revizijskim oknima	72	400.00 €	28,800.00 €
Manja oštećenja (deformacije) na mreži bez eksfiltracije otpadne vode	12	-	-
Odvojeci priključaka korisnika	4	1,000.00 €	4,000.00 €
Sanacija potresom trajno oštećenih dionica prosječnog profila DN 700 - linijska oštećenja	16 km	700.00 € / m	12,600,000.00 €
UKUPNO			14,088,800.00 €

Tabl. 60 Procjena ukupnih troškova obnove na cjevovodu kanalske mreže za drugi zagrebački potres

Kategorija oštećenja	Broj oštećenja	Procjena jediničnog troška sanacije u [EUR]	Ukupno procijenjen trošak sanacije u [EUR]
Sanacija točkastih kvarova na opskrbnim i transportnim cjevovodima	292	1,400.00 €	408,800.00 €
Sanacija opreme u zasunskim oknima	20	1,000.00 €	20,000.00 €
Manja oštećenja na mreži (pozadinska istjecanja)	4	-	-
Sanacija točkastih kvarova na priključnim vodovima (hidrantski, kućni, odzračni, muljni)	1	1,000.00 €	1,000.00 €
Sanacija cjevovoda sa zamjenom pojedinih kritičnih dionica	2 km	320.00 €	960,000.00 €
UKUPNO			1,389,800.00 €

Tabl. 61 Procjena ukupnih troškova obnove na cjevovodu kanalske mreže za sintetički seizmički događaj PP=475g.

Kategorija oštećenja	Broj oštećenja	Procjena jediničnog troška sanacije u [EUR]	Ukupno procijenjen trošak sanacije u [EUR]
Sanacija točkastih oštećenja na kanalima (cjevovodima) s potrebnim zemljanim radovima	1361	1,400.00 €	1,905,400.00 €
Sanacija u revizijskim oknima	94	1,000.00 €	94,000.00 €
Manja oštećenja (deformacije) na mreži bez ekfiltracije otpadne vode	16	-	-
Odvojeci priključaka korisnika	5	1,000.00 €	5,000.00 €

Sanacija potresom trajno oštećenih dionica prosječnog profila DN 700 - linijska oštećenja	25 km	700.00 €	17,500,000.00 €
UKUPNO			19,504,400.00 €

4.5 Zaključak

Glavne karakteristike i tipologija komponenti sustava odvodnje sažete su zajedno s glavnim mehanizmima oštećenja i načinima otkazivanja. Objekti poput, uređaja za pročišćavanje voda i crpnih stanica, zapravo su složeni podsustavi koji se sastoje od različitih podkomponenti. Stoga, njihova procjena osjetljivosti se temelji na tzv. „krivuljama osjetljivosti“. Važna značajka komponenti sustava odvodnje je sidrenje i stupanj protupotresne otpornosti strukturnih elemenata.

Dostupne krivulje osjetljivosti su prikupljene i pregledane za glavne komponente navedenih sustava. Postojeće krivulje osjetljivosti temelje se na empirijskim podatcima, dok je upotreba analitičkog ili stručnog pristupa prilično ograničena. Općenito, empirijske veze koriste vršno ubrzanje i brzinu tla (*PGA*) i (*PGV*) za opisivanje seizmičke jakosti podrhtavanja tla, te trajnu deformaciju (*PGD*) za otkazivanje tla. Za sve objekte, osim za cjevovode najčešća mjera seizmičke jakosti je *PGA*. Kod cjevovoda i kanala, *PGV* je glavni pokazatelj ozbiljnosti podrhtavanja tla.

Za CUPOVZ i crpne stanice predlažu se krivulje osjetljivosti koje su izvedene u [17] i prikazane u 4.3, pozivajući se na specifične tipologije uobičajene u Grčkoj i vjerojatno primjenjive u cijeloj Europi. Rezultati pojedinih elemenata se mogu vidjeti u poglavlju 4.4, a u Tabl. 62 je dan pregled ukupnih troškova obnove po pojedinom elementu kanalizacijske mreže.

Tabl. 62 Iskaz troškova obnove po pojedinim elementima kanalizacijskog sustava

Trošak obnove	CUPOVZ	Crpne stanice	Cjevovodi
Naziv	EUR	EUR	EUR
1. Zag. potres (PGA = 0,22 g, PGV = 20,05 cm/s, PGD = 0,0315 m) *troškovi se smanjuju za 20-40% ako se primjeni prosječni PGA=0,19g	7,600,000 €	3,983,810 €	14,088,800 €
2. Zag. potres (PGA = 0,06 g, PGV = 2,59 cm/s, PGD = 0,0037 m)	800,000 €	0 €	2,529,800 €



Sintetički Zag. Potres 475 godišnjeg povratnog perioda (PGA = 0,29 g)	13,520,000 €	6,404,910 €	19,504,400 €
--------------------------------------------------------------------------------------	--------------	-------------	--------------

U konačnici se, analizirajući sve usvojene vrijednosti utjecajnih parametara, može ustvrditi da je na kanalizacijskoj mreži Grada Zagreba nakon seizmičkog događaja 29. prosinca 2020. godine nastalo ukupno 2288 novo nastalih neevidentiranih kvarova na cjelokupnoj kanalizacijskoj mreži za prvi zagrebački potres i 643 za drugi zagrebački potres. Nastala oštećenja dominantno se odnose na potpuna puknuća i napuknuća na oslabljenim mjestima između materijala različitih mehaničkih karakteristika, kao što su mjesta spojeva priključnih odvojaka, spojeve između krutih (betonskih) cijevi, naročito veće starosti, te nova puknuća cijevi, također na cijevima veće starosti, odnosno na diferencijalne pomake na mjestu spoja između cijevi, na mjestu spoja s revizijskim oknima te oštećenja na kućnim priključcima. Pored toga, mogu se javiti i uzdužne pukotine na spojevima betonskih cijevi uslijed sile koja se javlja u smjeru pomaka tla, eventualna ulegnuća prometnica na mjestu nastanka većih puknuća, puknuća i ulegnuća prometnica oko poklopaca revizijskih okana, kao i samo propadanje poklopaca uslijed deformacija betonskih ploča revizijskih okana. Dakle, predmetna oštećenja u većem opsegu uključuju djelomični gubitak funkcionalnosti pojedinih dionica, a u manjoj mjeri izražena puknuća s potpunim gubitkom funkcionalnosti.

Preciznija ocjena utjecaja seizmičkih događaja na novonastala oštećenja praktički nije moguća jer stvarno stanje oštećenja kanalske mreže nije poznato. Stoga, kod svake izvršene sanacije, tj. utvrđenog mjesta oštećenja, vrlo je bitno da se prikupe podaci koji se odnose na detaljan opis (uz fotografiju) uočenog oštećenja i lokacije oštećenja, načina sanacije, trajanja sanacije, kao i procijenjeni te stvarni trošak sanacije. Dane procjene broja novo nastalih oštećenja na cjevovodu kanalske mreže i građevina sustava odvodnje otpadne vode treba u iterativnom postupku verificirati sukladno obradi prikupljenih podataka s terenskih istraživanja, lociranja i sanacije nastalih puknuća na vodoopskrbnoj mreži i oštećenja građevina te prostornoj obradi parametara seizmičke pobude (*PGA*, *PGV* i *PGA*). Sve prikupljene podatke kasnije treba prema relevantnim tehničkim parametrima.

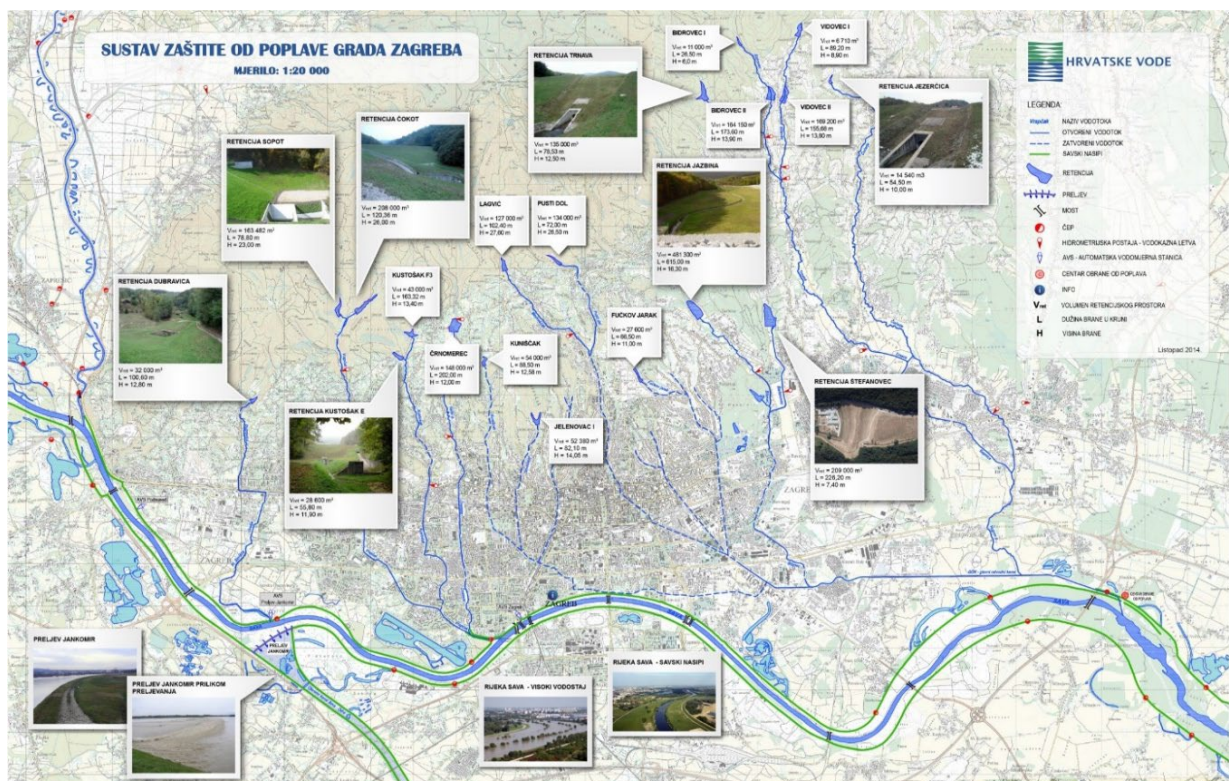
U smislu preventivne mjere ublažavanja posljedica budućih seizmičkih događaja na nastajanje šteta na kanalske mreže izrađivači ovog elaborata predlažu izradu detaljnog programa obnove mreže prema prioritarnim dionicama. Cilj ovog programa je da se, uz uvažavanje prioritarnih aktivnosti prevencije novih puknuća pri redovitim pogonskim uvjetima, detektiraju dionice dotrajalih cjevovoda, te da se pri odabiru tehničkog rješenja sanacije/rekonstrukcije (uključujući i cijevni materijal) sagledaju i relevantni parametri koji mogu doprinijeti većoj seizmičkoj otpornosti cjevovoda kanalske mreže, kao i ostalih građevina sustava odvodnje otpadnih voda (CUPOVZ i crpne stanice). Dakle, ideja je provođenje sveobuhvatne planske obnove mreže prema utvrđenom redoslijedu prioriteta, s ciljem smanjenja gubitaka i povećanja seizmičke otpornosti kanalske mreže, a u fazama provedbe, sukladno planiranom osiguranju novčanih sredstava za provedbu tog programa.

5. Sustav zaštite od poplava Grada Zagreba

5.1 Opis sustava

Postojeće rješenje obrane od poplava na području grada Zagreba temelji se na verificiranim i prihvaćenim rješenjima od prije 40-tak godina: „Obrana od poplava srednjeg Posavlja“ iz 1969. godine i „Vodoprivredna osnova grada Zagreba“ iz 1982. godine [18]. Glavni objekti sustava obrane od poplava na području su:

- Savski nasipi
- Oteretni kanal Odra;
- Retencije na potocima Medvednice
- Ustave Kuniščak i Savica



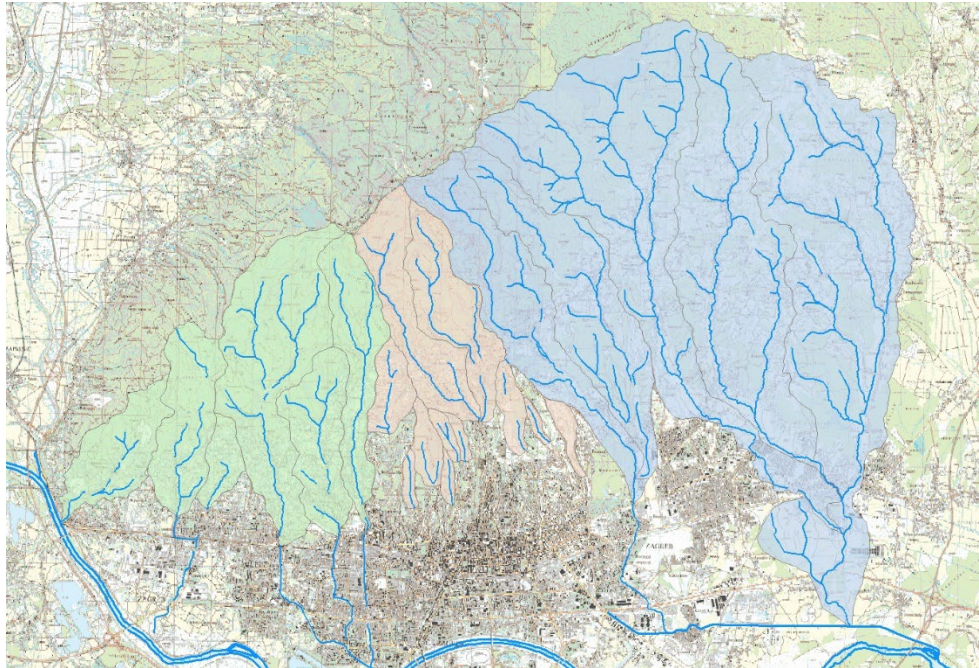
Sl. 14. Glavni objekti obrane od poplava na urbanom području grada Zagreba [18]

Sustav obrane od poplava na području grada Zagreba može se podijeliti na dvije cjeline, koje su zasebno prikazane u narednim poglavljima:

- Sustav obrane od poplava od brdskih potoka Medvednice
- Sustav obrane od poplava od rijeke Save

5.1.1 Obrana od poplava od brdskih potoka Medvednice (retencije)

Područje južnih obronaka Medvednice se evidentira kao „Sjeverno zagrebačko prisavlje“ [18]. Ukupna površina cijelog slivnog područja iznosi 293 km². Hidrografski ovo područje pripada slivu rijeke Save, a administrativno i teritorijalno pripada Gradu Zagrebu. Područje se prema „Izmjenama i dopunama Vodoprivredne osnove grada Zagreba, knjiga 12/1 – uređenje malih slivova – rješenje uređenja“ [19] dijeli na zapadno, centralno i istočno područje. Prostorna podjela područja prikazana je grafički [20] s ucrtanim podslivovima i vodotocima, a popis najznačajnijih potoka po područjima dan je tablično [20].



Sl. 15 Granica sliva Sjeverno zagrebačko prisavlje s prikazom podjele sliva na zapadno (zeleno), centralno (narančasto) i istočno (plavo) područje, preuzeto iz studije [20]

Tabl. 63 Najznačajniji vodotoci

R.br.	Zapadno područje	R.br.	Centralno područje	R.br.	Istočno područje
1.	Dolje	7.	Kuniščak	15.	Fučkov jarek
2.	Dubravica	8.	Jelenovac 1	16.	Barutanski jarek
3.	Medpotoki	9.	Jelenovac 2	17.	Bukovački potok
4.	Vrapčak	10.	Zelengaj	18.	Bliznec
5.	Kustošak	11.	Kraljevec 2	19.	Štefanovec
6.	Črnomerec	12.	Kraljevec 1	20.	Trnava
		13.	Kraljevečki potok	21.	Čučerska reka
		14.	Gračanski potok	22.	Vugrov potok

Na brdskom i središnjem dijelu područja izgrađeno je 19 retencija, pa je dotok velikih voda prema nizvodnom urbaniziranom području na određenim potocima reguliran. Većina oborinskih voda se u središnjem i nizinskom dijelu područja provodi kroz mješoviti kanalizacijski sustav (gotovo svi potoci centralnog područja). Samo se dio vodotoka provodi kroz otvorena korita gotovo cijelim tokom (Dolje, Dubravica, Medpotoki, Vrapčak, Kustošak i Čnomerec na zapadnom području te Trnava, Čučerska reka i Vugrov potok na istočnom području) dok su Bliznec i Štefanovec otvoreni u središnjem dijelu toka.

Nizinski dio područja je visoko urbaniziran, s velikim udjelom nepropusnih površina, umjetno formiranih staza tečenja i depresija (npr. podvožnjaci, podzemne garaže, podrumski prostori i sl.), smanjenim brojem prirodnih retencijskih površina te nizom objekata koji bitno utječu na strujnu sliku.

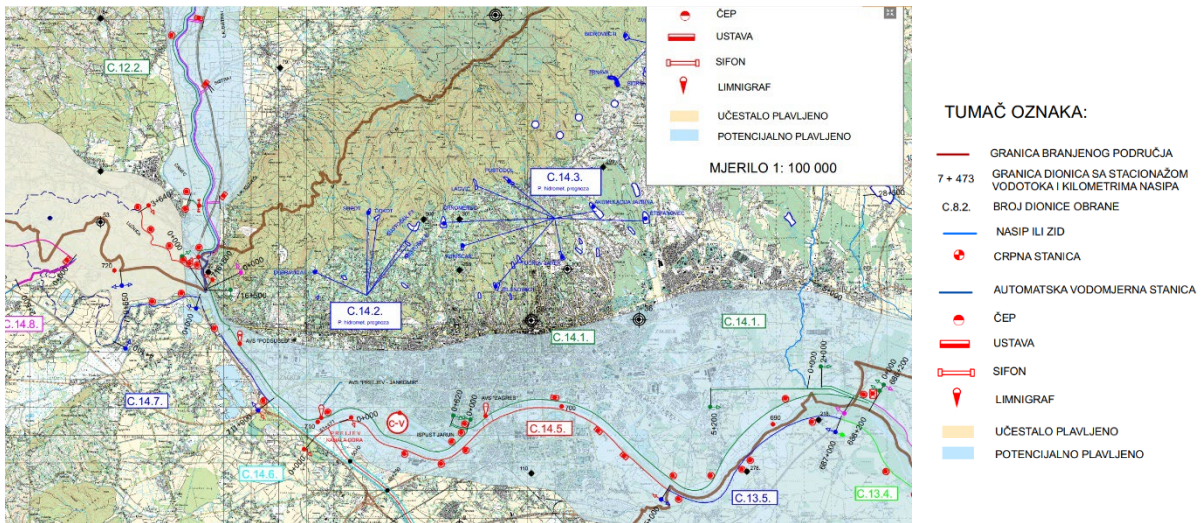
Detaljan prikaz sustava obrane od poplava na području grada Zagreba je prikazan u „*Provedbenom planu obrane od poplava za branjeno područje 14, Središnji dio malog sliva Zagrebačko prisavlje (BP14)*“ iz 2014. godine [18]. Branjeno područje 14 (BP14) površinom zauzima 957 km² na kojoj obitava oko 835.000 stanovnika. Reljefno se proteže od brdskih predjela Medvednice i Samoborskog gorja na sjeverozapadu do posavske ravnice na jugozapadu [18]. Obuhvaća središnji dio malog sliva „Zagrebačko prisavlje“, a administrativno cijeli Grad Zagreb i dio Zagrebačke županije.

Glavni vodotoci na slivu „Sjeverno zagrebačko prisavlje“ na kojima se provode mjere obrane od poplava su bujični potoci Medvednice (162,52 km). Objekti sustava obrane od poplava na području „Sjevernog zagrebačkog prisavlja“ [18] mogu se grupirati kao:

1. Retencije na potocima Medvednice
2. Regulirana korita nizvodno od retencija
3. Druge vodne građevine na potocima Medvednice
4. Čep (žablji poklopac) na Vrapčaku
5. Ustave Kuniščak i Savica



Sl. 16 Granica BP14



Sl. 17 Glavni elementi obrane od poplava na BP14, izvor Hrvatske vode

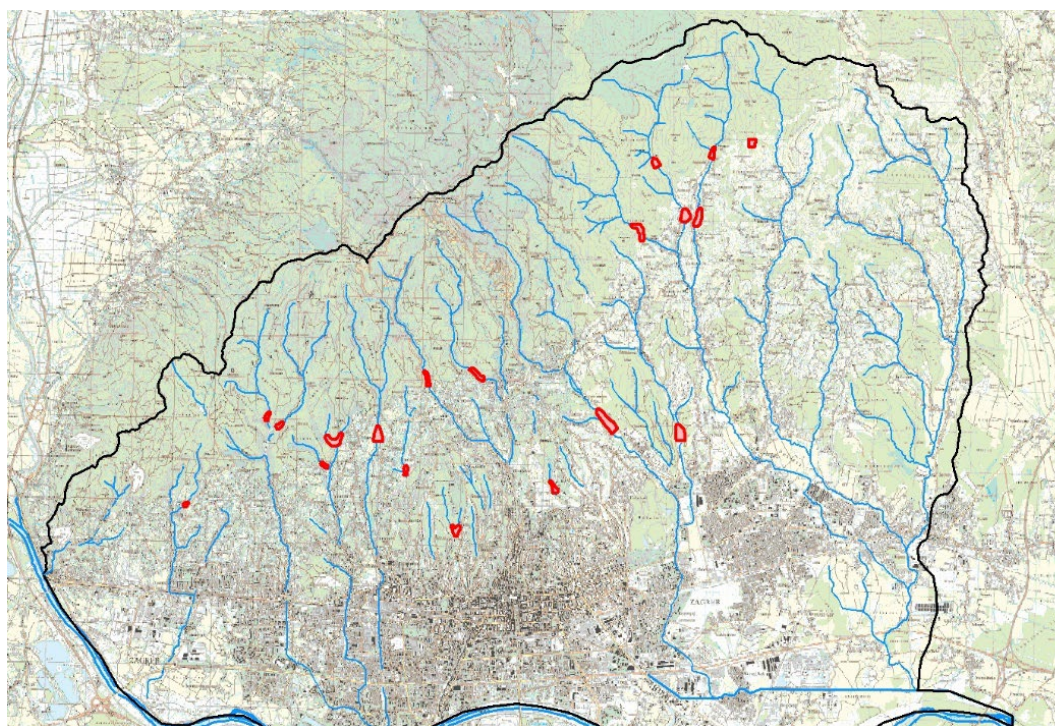
5.1.1.1 Retencije na potocima Medvednice

Kao glavni objekti sustava zaštite od štetnog djelovanja voda na području sliva Zagrebačko prisavlje na potocima Medvednice ističe se 19 do sada izvedenih retencija. Prikazani su osnovni parametri retencija [18] kao i njihov položaj na situaciji Sl. 18. Glavna građevina kojom se ostvaruje retencija je nasuta brana s osnovnim dimenzijama prikazanim u donjoj tablici. U okviru brane nalaze se i građevine: temeljni ispušt s regulacijskim zatvaračem, preljev, brzotok i slapište. Na branama i retencijama se vrši kontinuirani nadzor i regulira protok na evakuacijskim građevinama. Obzirom na lokaciju brana i retencija tj. njihov smještaj u odnosu na urbano područje u prioritetu su sljedeće brane-retencije: Čnomerec-Mikuliči, Kustošak III, Lagvić, Kunišćak, Jazbina, Štefanovec, Bidrovec I i Vidovec I. Status velikih brana imaju retencije: Čokot, Čnomerec, Jazbina, Lagvić, Pusti dol, Sopot, Štefanovec II i Trnava. Male brane su: Bidrovec I, Bidrovec II, Brana III i Brana V, Dubravica I, Fučkov jarak, Jelenovac II, Jezerčica, Kunišćak, Kustošak E, Kustošak F III, Vidovec I i Vidovec II.

Tabl. 64 Popis retencija s osnovnim podacima

R. Br.	Broj iz VOGZ-tab.	NAZIV		Godi na izgradnje	ELEMENTI NASUTE BRANE			Volu men retenc ijskog prostora (m ³)	PROTOK (m ³ /s)		Površina sliva (km ²)
		Retencije	Vodotoka		Gradevinska visina (m)	Dužina (m)	Volumen (m ³)		Q ₁₀₀ prirodno	Q ₁₀₀ regulirano	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	B	BIDROVEC I	Bidrovec-Trnava	1976	6.0	26.5	4 000	11 000	27.30	ne reducira	-
2	37	ŠTEFANOVEC II	Štefanovec	1982	7.4	226.2	52 240	209 000	23.93	6.55	10.043
3	16	KUSTOŠAK E	Mali potok-Kustošak	1982	11.9	55.8	8 530	28 600	12.00	1.18	0.797
4	9	DUBRAVICA I	Markovec-Dubravica	1983	12.8	100.6	18 560	32 000	10.27	4.67	3.814
5	19	KUSTOŠAK F III	Kustošak	1983	13.4	136.3	15 980	43 000	16.90	3.12	1.486

6	20	ČRNO MEREĆ	Črnomerec	1984	12	202	29 460	148 000	28.87	5.43	4.848
7	V	VIDOVEĆ I	Vidovec-Trnava	1984	8.9	89.2	6 710	27 300	27.19	ne reducira	-
8	13	ČOKOT	Mikulić potok-Vrapčak	1985	26	120.4	65 000	208 000	35.90	2.54	5.119
9	12	SOPOT	Vrapčak	1985	23	78.8	35 000	163 480	27.20	1.93	4.379
10	21	KUNIŠČAK	Kunišćak	1986	12.6	88.5	13 950	54 000	18.71	3.07	2.151
11	30	FUČKO V JAREK	Črleni jarek ili Fučkov jarek	1986	11	66.5	8 580	27 600	6.23	3.44	1.319
12	27	LAGVIĆ	Kraljevečki potok	1991	27.6	102.4	82 000	127 000	20.80	3.10	4.188
13	28	PUSTI DOL	Pustodol	1992	26.5	72	55 000	134 000	16.80	2.07	3.631
14	34	JAZBIN A	Bliznec	1996 /97	16.3	615	270 200	481 300	23.77	3.93	10.808
15	23	JELEN OVAC I	Jelenovac	1996	14.1	82.1	14 670	52 380	6.76	1.58	1.325
16	IDVOGZ	VIDOVEĆ II	Vidovec-Trnava	1999	13.8	155.7	40 000	169 200	31.39	6.00	6.661
17	IDVOGZ	BIDROVEC II	Bidrovec-Trnava	1999	13.9	173.6	39 190	164 150	32.23	7.80	6.005
18		JEZERČICA	Jezerčica-Čučerska reka	1999	10	54.5	5 000	14 540	3.47	1.00	1.081
19		TRNAVA A	Trnava	2001	12.5	78.5	27 560	135 000	31.90	8.00	6.841
			UKUPNO	-	-	-	791 630	2 229 550	-	-	74.496
			SREDNJA VRIJEDNOST	-	14.7	132.9	41 665	117 345	21.14	3.85	4.382



Sl. 18 Izvedene retencije na području sliva Sjeverno zagrebačko prisavlje, preuzeto iz studije [20]

5.1.1.2 Regulirana korita nizvodno od retencija

Sustav obrane grada Zagreba od bujičnih voda Medvednice, osim retencija čine i regulirana korita vodotoka nizvodno od istih, koja ili završavaju u kanalizacijskom sustavu ili se ulijevaju u korito rijeke Save.

5.1.1.3 Druge vodne građevine na potocima Medvednice

Popis ostalih relevantnih vodnih građevina na brdskim potocima Medvednice je prikazan u Tabl. 65.

Tabl. 65 Popis ostalih relevantnih građevina na slivu Sjeverno zagrebačko prisavljje

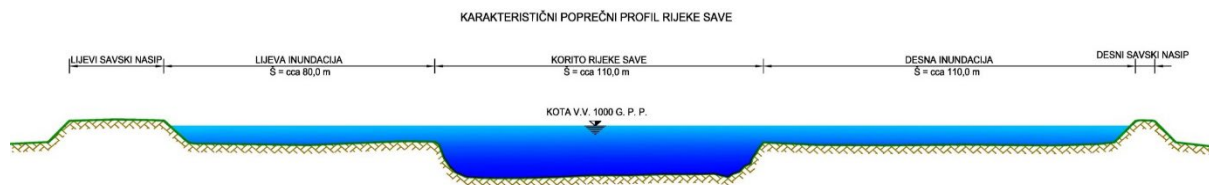
Regulacijske i zaštitne vodne građevine	Količina
Kaskade	44 kom
Mostovi/propusti	244 kom
Stepenice	134 kom
Mlinovi	6 km

5.1.2 Obrana od poplava od rijeke Save

Poprečni presjek rijeke Save na području grada Zagreba čine:

- obostrani nasipi položeni na razmaku od oko 300 metara,
- lijeva inundacija širine cca 80 metara,
- desna inundacija širine cca 110 metara,
- korito za srednje vode širine cca 110 metara,

Kruna nasipa nadvisuje kotu 1000 godišnje velike vode (3270 m³/s) za 1 metar.



Detaljan prikaz sustava obrane od poplava na području grada Zagreba je prikazan u [21]. Obrana od poplava na branjenom području 14 (BP14) se provodi na 97,07 km nasipa i 2,30 km AB zaštitnih zidova. Glavni vodotoci i pripadajuće duljine na kojima se provode mjere obrane od poplava su rijeke Sava (54,95 km), Bregana (24,52 km) i potok Gradna (26,00 km), bujični potoci Medvednice (162,52 km), te oteretni kanal Odra (11,80 km). Glavni objekti sustava obrane od poplava na području su oteretni kanal Odra, retencije Medvednice (obrađene u poglavlju 5.1.1.1) te ustave Kuniščak i Savica. BP 14 je podijeljeno na 9 dionica obrane od poplava, kako je prikazano u Tabl. 66. Za dionice C14.1, C14.5, C14.6 i C14.7, koje obuhvaćaju pojedine dionice rijeke Save na području grada Zagreba prikazani su podaci o nasipima i objektima.

Tabl. 66 Dionice obrane od poplava na branjenom području 14 (BP14)

Dionica obrane od poplava		Nasipi	Objekti
C14.1	- rijeka Sava, lijeva obala (686+200-716+500) - GOK Zagreb - jezero Savica	rkm 686+200 – 716+500 kmn 167+550 – 196+275 (28,73 km) usporni nasipi uz l.o. G.O.K. Zagreb; kkm 0+000 – 5+214 kmn 0+000 – 2+000 (2,00 km) usporni nasipi uz d.o. G.O.K. Zagreb; kkm 0+000 – 5+214 kmn 0+000 – 5+214 (5,20 km)	kmn 170+784 čep Resnik kmn 174+635 čep Petruševac kmn 175+894 isp. Petruševac kmn 181+700 ustava Kuniščak kmn 185+150 čep Črnomerec kmn 185+959 čep Jarun kmn 191+125 čep Opatovina kmn 191+415 AVS Jan. preljev kmn 195+400 AVS Podsused kkm 0+260 čep kkm 1+486 most cestovni kkm 1+875 most pješački kkm 2+774 most pješački kkm 3+242 most cestovni kkm 3+850 most pješački
C14.2	- bujice Medvednice od bujice Dolje do bujice Kustošak		
C14.3	- bujice Medvednice od bujice Črnomerec do bujice Štefanovec - akumulacija Jazbina		
C14.4	- bujice Medvednice od bujice Trnava do bujice Kostanjev - potok Kašina - potok Glavničica - potok Vuger Potok		
C14.5	- rijeka Sava, desna obala (695+000-709+500)	nasip uz d.o. rijeke Save s preljevom Jankomir; rkm 695+000 – 709+500 kmn 76+500 – 91+482 (14,98 km)	kmn 78+420 ustava Jakuševac kmn 79+832 ustava Zaprude kmn 86+196 čep Remetinec kmn 86+862 čep Arena Zagreb kmn 87+672 č. Piškorov jarak kmn 90+401-91+482 preljev



Dionica obrane od poplava		Nasipi	Objekti
C14.6	- rijeka Sava, desna obala (709+500-711+900) - oteretni kanal „Odra“	nasip uz d.o. rijeke Save OK Odra-most Jankomir; rkm 709+500-711+900 kmn 91+482 – 93+580 (2,10 km) nasip uz l.o. OK Odra; kkm 39+675 - 51+471 kmn 0+000 – 11+762 nasip uz d.o. OK Odra; kkm 39+675 - 51+471 kmn 0+000 – 11+863	Prelazne rampe: kmn 1+624 prijelaz Predanić kmn 0+977 prijelaz motel Plitvice kmn 3+566 Blato-Lučko kmn 5+125 Botinec-Brezovica kmn 6+589 Dupci-O. Obrež kmn 8+263 Čehi-O. Obrež kmn 1+733 prijelaz Predanić kmn 3+476 prijelaz Blato-Lučko kmn 5+203 Botinec-Brezovica kmn 6+766 Dupci-O. Obrež kmn 8+342 Čehi-O. Obrež
C14.7	- rijeka Sava, desna obala (711+900-719+650)	nasip uz d.o. rijeke Save; rkm 711+900-719+650 kmn 93+580 – 96+591 trup autoceste; „Podsused (most) – utok p. Rakovice“, rkm 711+900-719+650 usporni nasip uz d.o. p. Rakovica; kmp 0+000 – 4+700 kmn 0+000 – 4+100	kmn 93+655 čep Jankomir rkm 715+150 Ustava u trupu AC Zagreb- Mancelj kmn 1+399 čep Orešje kmn 2+800 čep Strmec

Dionica obrane od poplava	Nasipi	Objekti
C14.8	- rijeka Sava, desna obala, od granice grada Samobora do državne granice (719+650-726+500) - potok Gradna - rijeka Bregana	
C14.9	- rijeka Bregana	

Od svih hidrotehničkih građevina prikazanih u pogl. 5.1 izdvajaju se nasipi za obranu od poplava te brane na retencijama čija oštećenje pri potresu mogu doprinijeti potresnom hazardu u gradu Zagrebu. Potresno djelovanje može uzrokovati takva oštećenja nasipa i/ili brana na retencijama na način da se formira poplavni val koji može imati katastrofalne posljedice po ljudske živote i imovinu. Većina nasipa i brana u sustavu retencija, dizajnirani su da pruže zaštitu tijekom razdoblja poplava, a većinu vremena su suhi (tj. ne zadržavaju vodu). Potresno otkazivanje nasipa u uvjetima dok nema poplave (odnosno zadržavanja značajne količine vode) ne predstavlja značajni rizik. Prema preporuci iz HAZUS metodologije, analiza propagacije poplavnog vala od oštećenja uzrokovanog potresom se vrši samo kod nasipa/brana koje su u funkciji zaštite od poplave više od 10% vremena godišnje. S obzirom da je trajanje visokih razina vode u savskoj inundaciji relativno kratko isto kao i trajanje visokih voda u retencijama, u ovom dokumentu se neće vršiti analiza potresnog hazarda za slučaj istovremene pojave poplavnog vala i potresa jakog intenziteta. Analiza rizika uslijed puknuća savskog nasipa pri pojavi visokog vodostaja Save je prikazan u dokumentu [16].

5.2 Popis objekata

5.2.1 Nasipi

Popis nasipa za obranu od poplava je prikazan u Tabl. 66.

Ekspertnom procjenom ukupna građevinska vrijednost svih nasipa koji brane BP14 iznosi 174,726,000.00 EUR.

5.2.2 Retencije

Prikaz izvedenih retencija sa nizom nacрта, fotografija i hidrauličkim parametrima je dan u dokumentu [25], a sažetak je prikazan u [26]. Sažeti popis retencija i osnovnih elemenata brana se nalazi u Tabl. 64.

5.2.3 Ostali objekti sustava obrane od poplava

U okviru sustava zaštite od poplava postoje i drugi objekti bez kojih sustav ne može normalno funkcionirati kao što su oteretni kanal, preljev na oteretnom kanalu, ustave, sifoni, čepovi, kaskade, AB zaštitni zidovi, mlinovi itd. U okviru ove studije procijenjeno je da se radi o objektima manje osjetljivim na potresna djelovanja te da ne doprinose značajno potresnom riziku Grada Zagreba. Osim toga, procjenjuje se da je na dotičnim objektima moguće relativno brzo otkloniti kvarove nastale uslijed potresa te sustav staviti u puni pogon.

5.3 Opis mehanizama oštećenja i modova sloma

5.3.1 Nasipi

Potresna otpornost nasipa ovisi o konstrukcijskom oblikovanju, materijalu izvedbe, starosti objekta te ponajviše općem stanju nasipa. Nasipi s inicijalnim oštećenjima uzrokovanim prijašnjim potresima ili poplavama su podložniji djelovanju potresa. Stoga se u nastavku daje pregled stanja zagrebačkih nasipa na rijeci Savi kao glavnim obrambenim objektima u slučaju poplava.

Tokom 2014. provedena su terenska istraživanja na savskim nasipima s ciljem utvrđivanja konstrukcijskog stanja nasipa u dokumentima [22, 23, 24, 25]. Doneseni su sljedeći zaključci. Tijelo postojećeg nasipa se na istraživanim pozicijama sastoji od šljunka unutar kojeg su često registrirani tanji slojevi i proslojci gline debljine od 0,1 do 1,0 m, a mjestimice i nešto deblji slojevi. Na analiziranim presjecima nasip je visine između 4 m do 5 m. Temeljno tlo se na istraživanim pozicijama sastoji od površinskog sloja gline, mjestimice tanjih slojeva i proslojaka sitnog pijeska, te dominantno od šljunka. U nekoliko bušotina koje su izvedene na pozicijama prelaska nasipa preko starih zatrpanih rukavaca Save nabušeni su nasuti materijali i ispod tijela nasipa (od zatrpavanja rukavaca prilikom gradnje nasipa lokalnim materijalima). U studiji [23] načinjena je detaljna kategorizacija stanja nasipa te su detektirane kritične dionice na kojima su uočeni nedostaci koji nepovoljno djeluju na stabilnost nasipa.



Sl. 19 Prikaz lokacija kritičnih dionica nasipa [23]

Pojedine 50 metarske dionice su na osnovu vizualnog pregleda svrstane u pet različitih kategorija koje su definirane kao: izvrsno stanje nasipa (I), vrlo dobro stanje (II), dobro stanje (III), prihvatljivo stanje (IV), loše stanje (V) i nezadovoljavajuće stanje (V). Na kritičnim dionicama najlošija dodijeljena je bila IV kategorija za koju su predviđene mjere tehničkog praćenja. Popis kritičnih dionica s opisom stanja nasipa i preporučenim akcijama je prikazan u Tabl. 67.

Glavni nedostaci na kritičnim dionicama, uočeni vizualnim pregledom su:

- erodirani pokosi nasipa, uništen pokrov, humus i trava, tragovi vozila, kolotrazi
- nepoželjna vegetacija, visoko raslinje, grmlje
- kolotrazi i udubljenja u kruni do 40 cm

- isprani humus i osnovni materijal nasipa
- tragovi procjeđivanja u nizvodnoj nožici
- procjeđivanje u temeljnom tlu
- odroni na uzvodnom pokosu, uslijed povlačenja visoke vode
- odroni na nizvodnom pokosu
- rupe od životinja, krtice i voluharice, psi

Tabl. 67 Kritične dionice nasipa s opisom stanja i preporučenih akcija

Naziv	Stacionaža	Kategorija stanja	Opis stanja nasipa	Preporučena akcija
Lokacija 1	Preljev Jankomir – Jarun, desna obala L=1400 m (709+100 - 707+700)	II, III, IV	Vidljivi su defekti ili su evidentirani preliminarnom kategorizacijom nasipa. Vidljivi defekti mogu utjecati na funkcionalnost nasipa za vrijeme sljedeće visoke vode.	Pregledi nasipa od strane stručne osobe prema kontrolnim listama detaljne kategorizacija nasipa uz pojačano održavanje. Ugradnja opreme za tehničko praćenje (piezometar, inklinometar, i sl.) Provođenje mjerenja sa izradom izvještaja.
Lokacija 2	Jarun – Jadranski most, lijeva obala L=3000 m (707+000 - 704+000)	II, III, IV	Vidljivi su defekti ili su evidentirani preliminarnom kategorizacijom nasipa. Vidljivi defekti mogu utjecati na funkcionalnost nasipa za vrijeme sljedeće visoke vode.	Pregledi nasipa od strane stručne osobe prema kontrolnim listama detaljne kategorizacija nasipa uz pojačano održavanje. Ugradnja opreme za tehničko praćenje (piezometar, inklinometar, i sl.) Provođenje mjerenja sa izradom izvještaja.
Lokacija 3	Jadranski most - Most Slobode, desna obala L=1400 m (701+900 - 700+500)	II, III, IV	Vidljivi su defekti ili su evidentirani preliminarnom kategorizacijom nasipa. Vidljivi defekti mogu utjecati na funkcionalnost nasipa za vrijeme sljedeće visoke vode.	Pregledi nasipa od strane stručne osobe prema kontrolnim listama detaljne kategorizacija nasipa uz pojačano održavanje. Ugradnja opreme za tehničko praćenje (piezometar, inklinometar, i sl.) Provođenje mjerenja sa izradom izvještaja.
Lokacija 4	Most Mladosti – Mičevac, desna obala L=1000 m (695+300 - 694+300)	II, III	Vidljivi su defekti ili su evidentirani preliminarnom kategorizacijom nasipa. Vidljivi defekti mogu utjecati na funkcionalnost nasipa za vrijeme sljedeće visoke vode.	Pregledi nasipa od strane stručne osobe prema kontrolnim listama detaljne kategorizacija nasipa uz pojačano održavanje.

Lokacija 5	Ščitarjevo – Strmec Bukevski, desna obala L=1200 m (682+600 - 682+000 i 683+800 - 683+200)	II, III, IV	Vidljivi su defekti ili su evidentirani preliminarnom kategorizacijom nasipa. Vidljivi defekti mogu utjecati na funkcionalnost nasipa za vrijeme sljedeće visoke vode.	Pregledi nasipa od strane stručne osobe prema kontrolnim listama detaljne kategorizacija nasipa uz pojačano održavanje. Ugradnja opreme za tehničko praćenje (piezometar, inklinometar, i sl.) Provođenje mjerenja sa izradom izvještaja.
----------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

U dokumentu [22] provedene su numeričke analize globalne stabilnosti poprečnih presjeka savskog nasipa s primijenjenim karakterističnim nedreniranim parametrima temeljnog tla i materijala nasipa koji su evidentirani u dokumentu [21]. Dobiveni faktori sigurnosti zadovoljavaju minimalno tražene za slučaj potresa povratnih perioda 95 godina, dok je za slučaj potresa povratnog perioda od 475 godina dobiveni faktor sigurnosti na nekim lokacijama manji od minimalno traženog.

Učinci potresa na nasipe i brane retencija mogu se grupirati u dvije kategorije, (1) podrhtavanje tla (često izraženo vršnim ubrzanjem tla, PGA); i (2) slom tla pod djelovanjem npr. likvefakcije, pukotina u tlu, nestabilnost pokosa (izražena u smislu trajne deformacije tla, PGD).

Kod gubitka nosivosti temeljnog tla uslijed statičkog i dinamičkog opterećenja, na primjer zbog likvefakcije, nasip se može širiti bočno i istodobno slijegati. To može dovesti do bočnog pomicanja nasipa (od nekoliko centimetara do nekoliko metara) što može rezultirati otvaranjem pukotina u tijelu nasipa. Ovakva oštećenja (pukotine) kod pojave iduće poplave mogu biti inicijalni mehanizam za prolazak vode i stvaranje erozije te u konačnici totalno otkazivanje nasipa uslijed čega može doći do proboja nasipa.

Stupnjevi oštećenja u Tabl. 68, izraženi kroz trajnu deformaciju tla (PGD), predloženi su u okviru [17] za potrebe analize cestovnih nasipa. Posebno, srednja vrijednost PGD-a procijenjena je za manja, umjerena i obimna/potpuna oštećenja na temelju raspona vrijednosti (min, max). S obzirom na nedostatak sustavnog pristupa analizi potresnog hazarda za obrambene nasipe i brane na retencijama, ovdje se daje analiza pomoću podataka za cestovne nasipe. Za potrebe provedbe budućih analiza, s ciljem što cjelovitijeg i točnijeg pristupa, potrebno je izraditi krivulje osjetljivosti za nasipe za obranu od poplava i brane na retencijama.

Tabl. 68 Definicija graničnih stanja oštećenja za cestovne nasipe prema [17]

Stupanj oštećenja	Minimalno	Trajna deformacija tla (m)	
		Maksimalno	Srednje
DS1. Malo	0.02	0.08	0.05
DS2. Srednje	0.08	0.22	0.15
DS3. Veliko/Totalno	0.22	0.58	0.40

DS1 Površinsko klizanje nasipa na kruni pokosa

DS2 Dublje klizanje i/ili propadanje nasipa

DS3 Značajnije klizanje i/ili propadanje nasipa

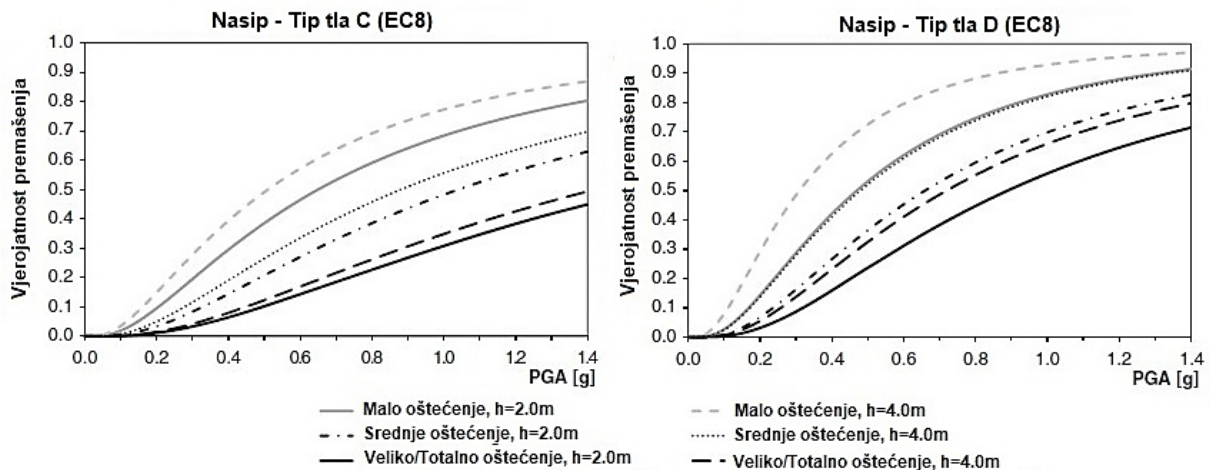
5.3.2 Retencije

Procjenu oštećenja i potresnog hazarda za nasipne građevine visine veće od 5-6 m, što obuhvaća poglavito retencije Sljemenskih bujičnih vodotoka, nije moguće izvesti koristeći trenutno dostupnu literaturu. Mjerodavne krivulje osjetljivosti tek treba definirati, što se planira raditi u okviru projekta CRISAFE (Critical infrastructure early warning systems and population awareness for multi hazard cascading events), trajanje od 2024 – 2026, koji se među ostalim bavi i ocjenom ranjivosti retencija u podsljemenskoj zoni na potresni hazard i posljedičnim bujičnim poplavama na području grada Zagreba. U ovom projektu su partneri Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatske Vode, Grad Zagreb i drugi partneri.

5.4 Krivulje osjetljivosti

5.4.1 Nasipi

U okviru [17] razvijene su nove analitičke krivulje osjetljivosti kao funkcije PGA (Peak Ground Acceleration) za cestovne nasipe različitih visina i uvjeta tla. Za procjenu odgovarajućih medijana PGA-a koristile su se vrijednosti PGD-a iz [17]. U analizama su uzeti reprezentativni geometrijski oblici s visinama od 2,0 i 4,0 metra. Širina krune nasipa iznosi 20 metara. Potresne vremenske serije su skalirane od 0,1 do 0,7 g, a odgovor nasipa se računa kao funkcija PGA (Peak Ground Acceleration) na površini tla.



Sl. 20 Krivulje osjetljivosti za cestovne nasipe primijenjene za obrambene nasipe

Razmatrana su dva idealna tla s debljinom od 50 metara, koja odgovaraju tipovima tla C i D s brzinom smicanja valova (V_{s30}) u rasponu definiranom prema Eurocodeu 8. Tipične vrijednosti svojstava tla odabrane su za nasip. Numeričke simulacije provedene su pomoću programa PLAXIS 2D. Izvođenje krivulja osjetljivosti temeljeno je na dijagramu izračunatih indeksa oštećenja u smislu prosječne ukupne trajne deformacije tla (PGD) na površini nasipa, prikazanih u ovisnosti o (PGA) na površini tla. Veza između PGD-a i PGA-a uspostavljena je pomoću linearne regresije. Vrijednost praga medijana PGA-a zatim je određena za svako granično stanje oštećenja, uzimajući u obzir spomenutu vezu i definicije dane

u [17]. Logaritamska standardna devijacija, β_{tot} , opisuje ukupnu varijabilnost povezanu sa svakom krivuljom osjetljivosti. Procijenjeni parametri krivulja osjetljivosti prikazani su u Tabl. 69. Dobivene krivulje osjetljivosti prikazane su na Sl. 20.

Tabl. 69 Parametri numeričkih krivulja osjetljivosti za cestovne nasipe primijenjeni za obrambene nasipe

Stupanj oštećenja	Tip tla (C)				Tip tla (D)			
	h = 2 m		h = 4 m		h = 2 m		h = 4 m	
	μ (g)	β	μ (g)	β	μ (g)	β	μ (g)	β
Malo	0.65	1.00	0.51	0.90	0.47	0.90	0.31	0.70
Srednje	1.04	1.00	0.88	0.90	0.66	0.90	0.48	0.70
Veliko/Totalno	1.57	1.00	1.42	0.90	0.89	0.90	0.72	0.70

5.4.2 Retencije

Pogledati pogl. 5.3.2.

5.5 Procjena oštećenja građevina

5.5.1 Nasipi

U nastavku se daje tablični prikaz procijenjenog broja oštećenja postojećih nasipa predmetnog sustava obrane od poplava sukladno utvrđenim odgovarajućim krivuljama osjetljivosti i pripadnim utjecajnim parametrima, prema najvećim izmjeranim vrijednostima parametara seizmičke pobude, *PGA*, *PGV* i *PGD*, na mjernim stanicama na području Grada Zagreba, te sintetičkom potresu povratnog perioda od 475 godina. U donjoj tablici daje se procijenjena tablica troškova popravka određene kategorije oštećenja nasipa koja se procjenjuje na osnovu preporuka za sustave vodoopskrbe i odvodnje iz prethodnih poglavlja.

Tabl. 70 Tablica troškova popravka određene kategorije oštećenja iskazane u postotku ukupne građevinske vrijednosti

	Troškovi obnove u % građevinske vrijednosti
Malo oštećenje	2.50%
Srednje oštećenje	8.00%
Veliko/totalno oštećenje	80.00%

Prema metodologiji danoj u poglavlju 5.4.1, ovdje su dane procjene kategorija oštećenja nasipa te troškova obnove kao okvir potresnog hazarda grada Zagreba.

Trajne deformacije tla za prvi ($PGD = 0.0315$ m) i drugi ($PGD = 0.0037$ m) zagrebački potres su detaljno prikazane u poglavlju 2. Obje vrijednosti su ispod srednjeg i maksimalnog praga za „mala“ oštećenja uslijed trajne deformacije tla prikazane u Tabl. 68. Shodno tome, ne naslućuju se značajna oštećenja nasipa uslijed trajne deformacije tla.

Tablični iskaz udjela nastalih kategorija oštećenja nasipa u gradu Zagrebu prema vršnom ubrzanju tla (PGA) i pripadnog troška obnove po pojedinoj kategoriji kao i ukupnog troška obnove nastalih oštećenja uslijed prvog Zagrebačkog potresa ($M = 5,5$) je dan u Tabl. 71. Za drugi zagrebački potres ($M = 4,9$) i sintetički potres povratnog period od 475 godina troškovi obnove su dani u Tabl. 72 i Tabl. 73.

Tabl. 71 Tablica troškova obnove oštećenja na nasipima grada Zagreba za prvi zagrebački potres ($M=5.5$)

				Tip tla C	Tip tla D
	Udio nasipa prema tipu tla		%	100.00%	0.00%
Prvi zagrebački potres ($M=5.5$, $PGA=0.22$ g)	Udio građevina koji je zadobio pojedinu kategoriju oštećenja	Nema oštećenje	%	84.00%	-
		Malo oštećenje	%	8.00%	-
		Srednje oštećenje	%	8.00%	-
		Veliko oštećenje	%	0.00%	-
	Troškovi obnove (prema SRM-LIFE)	Malo oštećenje	%	0.20%	-
		Srednje oštećenje	%	0.64%	-
		Veliko oštećenje	%	0.00%	-
		Ukupno oštećenje prema potresnoj kategoriji	%	0.84%	-
		Ukupno oštećenje	%	0.84%	
		Ukupna vrijednost (pogl. 5.3.1)	EUR	174,726,000.00 €	
Ukupno oštećenje	EUR	1,467,698.40 €			

Tabl. 72 Tablica troškova obnove oštećenja na nasipima grada Zagreba za drugi zagrebački potres ($M=4.9$)

				Tip tla C	Tip tla D
	Udio nasipa prema tipu tla		%	100.00%	0.00%
Drugi zagrebački potres ($M=4.9$, $PGA=0.06$ g)	Udio građevina koji je zadobio pojedinu kategoriju oštećenja (prema SRM-LIFE)	Nema oštećenje	%	100.00%	-
		Malo oštećenje	%	0.00%	-
		Srednje oštećenje	%	0.00%	-
		Veliko oštećenje	%	0.00%	-
	Troškovi obnove (prema SRM-LIFE)	Malo oštećenje	%	0.00%	-
		Srednje oštećenje	%	0.00%	-
		Veliko oštećenje	%	0.00%	-
		Ukupno oštećenje prema potresnoj kategoriji	%	0.00%	-
		Ukupno oštećenje	%	0.00%	

		Ukupna vrijednost (pogl. 5.3.1)	EUR	174,726,000.00 €
		Ukupno oštećenje	EUR	0.00 €

Tabl. 73 Tablica troškova obnove oštećenja na nasipima grada Zagreba za sintetički zagrebački potres

				Tip tla C	Tip tla D
	Udio nasipa prema tipu tla		%	100.00%	0.00%
Potres povratnog razdoblja 475 godina (PGA=0.29 g)	Udio građevina koji je zadobio pojedinu kategoriju oštećenja (prema SRM-LIFE)	Nema oštećenje	%	74.00%	-
		Malo oštećenje	%	14.00%	-
		Srednje oštećenje	%	9.00%	-
		Veliko oštećenje	%	3.00%	-
	Troškovi obnove (prema SRM-LIFE)	Malo oštećenje	%	0.35%	-
		Srednje oštećenje	%	0.72%	-
		Veliko oštećenje	%	2.40%	-
		Ukupno oštećenje prema potresnoj kategoriji	%	3.47%	-
	Ukupno oštećenje	%	3.47%		
	Ukupna vrijednost (pogl. 5.3.1)	EUR		174,726,000.00 €	
Ukupno oštećenje	EUR		6,062,992.20 €		

„Mala“ oštećenja su oslabljena mjesta gdje je došlo do manjih promjena geometrijskih parametara nasipa u području krune (poput nagiba pokosa ili visine nasipa) i manjih pukotina reda veličine 5cm. „Srednja“ oštećenja obuhvaćaju moguća klizišta u tijelu nasipa i otvorene pukotine reda veličine 15cm. „Velika“ oštećenja podrazumijevaju značajna klizišta u tijelu nasipa, snižavanje krune i širenje tijela nasipa popraćeno većim pukotinama reda veličine 40 cm.

Dakle, u slučaju sintetičkog potresa povratnog perioda od 475 godina može se očekivati da će doći do velikog oštećenja i potpunog gubitka funkcionalnosti na ukupno 3 km nasipa (3% ukupne dužine nasipa 97,07 km) na različitim mjestima, posebno onih dionica koje su već evidentirane kao kritične (Sl. 19)

5.5.2 Retencije

Pogledati pogl. 5.3.2.

5.6 Zaključak

Kroz poglavlje 5.3 su sažete glavne karakteristike i tipologije nasipa zajedno s glavnim mehanizmima oštećenja. Dostupne krivulje osjetljivosti prikupljene su i pregledane za nasipne građevine. S obzirom na

nedostatak sustavnog pristupa analizi potresnog hazarda za obrambene nasipe i brane na retencijama, ovdje je dana analiza pomoću podataka i krivulja osjetljivosti za cestovne nasipe. Za potrebe provedbe budućih analiza, s ciljem što cjelovitijeg i točnijeg pristupa, potrebno je izraditi krivulje osjetljivosti za nasipe za obranu od poplava i brane na retencijama. Kao izvore dotičnih podataka ovdje se ističe projekt opisan u pogl. 5.3.2. te projekt CROSScade (Cross-border cascading risk management for critical infrastructure in the Sava river Basin), trajanje od 2022 – 2024, koji se među ostalim bavi i ocjenom ranjivosti nasipa za obranu od poplava na kaskadne međugranične hazarde (potresi i poplave). Konkretno se analiziraju nasipi od Zagreba (Jankomirski most) do Brežica (Slovenija). U ovom projektu su partneri, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Građevinski i geodetski fakultet Ljubljana (Slovenija), Hrvatske Vode i drugi partneri.

Za procjenu oštećenja nasipa, koristile su se dvije mjere intenziteta (IM), a to su vršno ubrzanje tla (PGA) i trajna deformacija tla (PGD).

S obzirom na veličine trajne deformacije tla tijekom zagrebačkih potresa ($PGD = 0.0315$ m i $PGD = 0.0037$ m) ne očekuju se oštećenja na nasipima uzrokovana trajnom deformacijom tla. S druge strane, prema vrijednostima vršnog ubrzanje tla (PGA) očekuju se manja oštećenja. Rezultati pojedinih elemenata se mogu vidjeti u poglavlju 5.5, a u Tabl. 74 je dan pregled ukupnih troškova obnove po pojedinom vršnom ubrzanju tla. Nasipi za zagrebačke potrese pokazuju oštećenja koja zahtijevaju trošak manji od 10% građevinske vrijednosti samih nasipa (1,467,698.40 € u slučaju 1. zagrebačkog potresa i 6,062,992.20 € u slučaju sintetičkog potresa povratnog perioda od 475 godina). Procijenjeno oštećenje i trošak obnove za prvi zagrebački potres su veći od očekivanog s obzirom na mala i nikakva uočena oštećenja nakon potresa. Primijenjena metodologija ima niz ulaznih parametara među kojima je i PGA prikazan u pogl. 2. U ovoj studiji je korišten maksimalno izmjereni $PGA=0,22g$ mada se može očekivati da su vršna ubrzanja na širem zagrebačkom području bila i manja na nekim mjestima. Primjenom manjeg $PGA=0,19g$ troškovi na razini cijele studije padaju od 20 do 40% ovisno o vrsti građevine.

Tabl. 74 Iskaz troškova obnove po pojedinim elementima nasipa

Trošak obnove	Nasipi
Naziv	EUR
1. Zag. potres ($PGA = 0,22$ g, $PGV = 20,05$ cm/s, $PGD = 0,0315$ m) *troškovi se smanjuju za 20-40% ako se primjeni prosječni $PGA=0,19g$	1,467,698.40 €
2. Zag. potres ($PGA = 0,06$ g, $PGV = 2,59$ cm/s, $PGD = 0,0037$ m)	0.00 €
Sintetički Zag. Potres 475 godišnjeg povratnog perioda ($PGA = 0,29$ g)	6,062,992.20 €

6. Luke i marine

Na području grada Zagreba nema izgrađenih luka i marina koje su podložne procjeni potresnog rizika. Za druge gradove preporučuje se primjena metodologije preporučena [11].

7. Zaključak

7.1 Vodoopskrbni sustav Grada Zagreba

U nastavku se daje zaključna tablica s rezultatima i preporukama za vodoopskrbi sustav u slučaju potresa povratnog perioda 475g. koji se koristi za proračune graničnih stanja nosivosti građevina u slučaju potresnog opterećenja.

VODOOPSKRBNI SUSTAV GRADA ZAGREBA				
Sintetički Zag. Potres 475 godišnjeg povratnog perioda (PGA = 0,29 g)	Manje i srednje oštećenje	Veliko oštećenje	Ukupni trošak popravka oštećenja	Komentar
VODOCRPILIŠTA *izraženo u broju zdenaca *U ZG ukupno 46 zdenaca	19	1	4,264,000 €	<p>*manje oštećenje: Neispravnost pumpe i motora zdenca na kratko vrijeme (manje od 3 dana) zbog nestanka električne energije i pomoćnog napajanja, ukoliko postoje, ili manje oštećenje. Normalan protok i tlak vode. Operativan nakon ograničenih popravaka</p> <p>*srednje oštećenje: Neispravnost pumpe i motora zdenca na oko tjedan dana zbog gubitka električne energije i pomoćnog napajanja, ukoliko postoje, znatna šteta mehaničke i električne opreme, ili umjereno oštećenje građevine. Smanjen protok i tlak vode. Operativan nakon popravka.</p> <p>*veliko oštećenje: Velika oštećenja građevine ili velike deformacije pumpe zdenca i vertikalnog okna. Djelomično operativno nakon većih popravaka</p> <p>*Nema značajnog utjecaja na vodoopskrbu grada Zagreba jer se u slučaju potresa voda može isporučivati iz drugih vodocrpilišta uz redukciju vode</p>



<p>UREĐAJI ZA OBRADU VODE *izraženo kao broj uređaja *u ZG ukupno 2 uređaja</p>	<p>1</p>	<p>0</p>	<p>749,800 €</p>	<p>*očekuju se manja do srednja oštećenja na jednom od uređaja (Sašnak ili Petruševac). *manje oštećenje: Neispravnost rada postrojenja na kratko vrijeme (manje od 3 dana) zbog nestanka električne energije, značajnog oštećenja različite opreme, manjeg oštećenja taložnih bazena i kloracijskih spremnika, ili manjeg oštećenja kemijskih spremnika. Može doći do gubitka kvalitete vode. Normalan protok i tlak vode. Operativan nakon ograničenih popravaka *srednje oštećenje: Neispravnost rada postrojenja na oko tjedan dana zbog nestanka električne energije, velikog oštećenja različite opreme, značajnog oštećenja taložnih bazena i kloracijskih spremnika bez gubitka sadržaja, ili značajnog oštećenja kemijskih spremnika. Gubitak kvalitete vode je neminovan. Smanjen protok i tlak vode. Operativan nakon popravka *veliko oštećenje: Velika oštećenje cijevi koje povezuju različite bazene i kemijske jedinice. Vjerojatno će doći do zaustavljanja rada postrojenja. Djelomično operativno nakon većih popravaka *Nema značajnog utjecaja na vodoopskrbu grada Zagreba jer se u slučaju potresa voda može isporučivati iz drugih vodocrpilišta uz redukciju vode</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------	----------	----------	------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



<p>CRPNE STANICE *izraženo kao broj crpnih stanica *u ZG ukupno 132 c.s.</p>	<p>132</p>	<p>0</p>	<p>4,663,500 €</p>	<p>*očekuje se manje do srednje oštećenje na svim crpnim stanicama *manje oštećenje: Neispravnost rada postrojenja na kratko vrijeme (manje od 3 dana) zbog nestanka električne energije, ili manjeg oštećenja građevine. Normalan protok i tlak vode. Operativan nakon ograničenih popravaka. *srednje oštećenje: Gubitak električne energije na oko tjedan dana, značajno oštećenje mehaničke i električne opreme ili umjereno oštećenje građevine. Smanjen protok i tlak vode. Operativan nakon popravka. *veliko oštećenje: Veliko oštećenje građevine ili veliko, nepopravljivo oštećenje pumpe. Djelomično operativno nakon većih popravaka *totalno oštećenje: Srušena građevina. Bez vode. Ne popravljivo. *Ima značajan utjecaj na vodoopskrbu grada Zagreba u slučaju potresa jer se voda ne može isporučivati do većeg broja korisnika u trajanju do oko tjedan dana. Moguće organizirati privremenu dostavu vode cisternama. *s obzirom na osjetljivost ovih građevina na potres potrebno je izraditi smjernice za brzu provedbu sanacije u slučaju potresa s jasno dodijeljenim ulogama i odgovornostima unutar nadležnih poduzeća *izraditi protupotresna ojačanja konstrukcije starijih crpnih stanica *izvršiti pričvršćivanje (sidrenje) elektromehaničke opreme u betonsku konstrukciju u crpnim stanicama u kojima to nije osigurano</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------	----------	--------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



CJEVOVODI *u ZG ukupno 3.177,6 km cjevovoda	2001 (izraženo kao broj oštećenja)	45 km	16,327,000 €	<p>*manja i srednja oštećenja: točkasti kvarovi na opskrbnim i transportnim cjevovodima, kvarovi opreme u zasunskim oknima, pozadinska istjecanja zbog oštećenja na mreži i točkasti kvarovi na priključnim vodovima (hidrantski, kućni, odzračni, muljni)</p> <p>*veliko oštećenje: veliki broj točkastih oštećenja na cijevima i opremi koji uzrokuju značajan pad tlaka i protoka.</p> <p>*Kod manjih i srednjih oštećenja se još uvijek može isporučivati voda sa smanjenim tlakom i protokom, uz redukciju vode i privremenu organizaciju dostave cisternama</p> <p>*velika oštećenja je potrebno sanirati potpunom zamjenom cjevovoda i opreme</p> <p>*Ima značajan utjecaj na vodoopskrbu grada Zagreba jer se u slučaju potresa voda ne može isporučivati do većeg broja korisnika</p> <p>*s obzirom na osjetljivost cjevovoda na potres potrebno je izraditi smjernice za brzu provedbu sanacije u slučaju potresa s jasno dodijeljenim ulogama i odgovornostima unutar nadležnih poduzeća</p>
VODOSPREME * izraženo kao broj vodosprema *u ZG ukupno 70 vodosprema	10	1	397,579 €	<p>*manja i srednja oštećenja: pretjerano naprezanje obruča (ovojnice) te pojava manjih pukotina. Vodosprema i dalje operativna.</p> <p>*veliko oštećenje: Podizanje zida-lom betona, puknuće ili smicanje zida vodospreme, klizanje. Vodosprema nije operativna.</p> <p>*Nema značajnog utjecaja na vodoopskrbu grada Zagreba jer se u slučaju potresa voda može isporučivati iz drugih vodosprema uz redukciju vode</p>

7.2 Sustav odvodnje otpadnih voda Grada Zagreba

U nastavku se daje zaključna tablica s rezultatima i preporukama za vodoopskrbi sustav u slučaju potresa povratnog perioda 475g, koji se koristi za proračune graničnih stanja nosivosti građevina u slučaju potresnog opterećenja.

SUSTAV ODVODNJE OTPADNIH VODA GRADA ZAGREBA				
Sintetički Zag. Potres 475 godišnjeg povratnog perioda (PGA = 0,29 g)	Manje i srednje oštećenje	Veliko oštećenje	Ukupni trošak popravka oštećenja	Komentar
CUPOVZ *odnosi se na Centralni uređaj za pročišćavanje otpadnih voda Zagreb	79%	16%	13,520,000 €	<p>*očekuje se manje i srednje oštećenje na otprilike 79% objekata UPOV-a i veliko oštećenje na otprilike 16%. Preostalih 5% bez oštećenja.</p> <p>*manje oštećenje: Neispravnost rada postrojenja na kratko vrijeme (manje od 3 dana) zbog nestanka električne energije, značajno oštećenje opreme, blago oštećenje taložnih bazena, blago oštećenje dezinfekcijskih i kemijskih spremnika. Normalan protok i tlak vode. Operativan nakon ograničenih popravaka.</p> <p>*srednje oštećenje: Neispravnost rada postrojenja na otprilike tjedan dana zbog nestanka električne energije, veliko oštećenje opreme, značajno oštećenje taložnih bazena, značajno oštećenje dezinfekcijskih spremnika bez gubitka sadržaja ili značajno oštećenje kemijskih spremnika. Smanjen protok i tlak vode. Operativan nakon popravka.</p> <p>*veliko oštećenje: Veliko oštećenje cijevi koje povezuju različite bazene i kemijske jedinice. Djelomično operativno nakon većih popravaka. Potpuni kvar svih cjevovoda ili velika oštećenja građevine i opreme. Bez vode. Ne popravljivo</p> <p>*Nakon potresa moguća je kraća obustava rada uređaja (3-7 dana) s direktnim ispuštanjem kompletnog nepročišćenog dotoka u Savu ili rad uređaja sa smanjenom učinkovitošću</p>

<p>CRPNE STANICE *izraženo kao broj crpnih stanica *u ZG ukupno 44 c.s.</p>	<p>44</p>	<p>0</p>	<p>6,404,910 €</p>	<p>*očekuje se manje do srednje oštećenje na svim crpnim stanicama *manje oštećenje: Neispravnost rada postrojenja na kratko vrijeme (manje od 3 dana) zbog nestanka električne energije ili blago oštećenje građevine. Normalan protok. Operativan nakon ograničenih popravaka. *srednje oštećenje: Gubitak električne energije na otprilike tjedan dana, značajno oštećenje mehaničke i električne opreme, ili umjereno oštećenje građevine. Smanjen protok. Operativan nakon popravka. *veliko oštećenje: Veliko oštećenje građevine ili pumpe koja je izvan mogućnosti popravka. Djelomično operativno nakon većih popravaka *Ima značajan utjecaj na javno zdravlje grada Zagreba u slučaju potresa jer dio sustava odvodnje neće raditi u trajanju do oko tjedan dana. Moguće organizirati lokalni privremeni odvoz otpadne vode s cisternama ili prepumpavanje pomoću mobilnih crpki s diesel agregatima. *s obzirom na osjetljivost ovih građevina na potres potrebno je izraditi smjernice za brzu provedbu sanacije u slučaju potresa s jasno dodijeljenim ulogama i odgovornostima unutar nadležnih poduzeća *izraditi protupotresna ojačanja konstrukcije starijih crpnih stanica *izvršiti pričvršćivanje (sidrenje) elektromehaničke opreme u betonsku konstrukciju u crpnim stanicama u kojima to nije osigurano</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------	----------	---------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



CJEVOVODI *u ZG ukupno 2.100,0 km cjevovoda	1476 (izraženo kao broj oštećenja)	25km	19,504,400 €	<p>*manja do srednja oštećenja: Točkasta oštećenja na kanalima (cjevovodima), za sanaciju potrebni zemljani radovi. Oštećenja u revizijskim otknima. Manja oštećenja (deformacije) na mreži bez ekfiltracije otpadne vode. Oštećenja na priključcima korisnika.</p> <p>*velika oštećenja: Trajno oštećene dionice prosječnog profila DN 700 - linijska oštećenja. Potrebna potpuna zamjena cjevovoda i opreme.</p> <p>*Kod manjih i srednjih oštećenja se još uvijek može odvijati odvodnja sa smanjenim protokom. Iako će postojati područja s potpunom obustavom odvodnje gdje je moguće organizirati lokalni privremeni odvoz otpadne vode s cisternama</p> <p>*nakon potresa mogu se očekivati i manji problemi s odvodnjom oborinskih voda u slučaju pojave intenzivnijih oborina</p> <p>*Ima značajan utjecaj na javno zdravlje grada Zagreba u slučaju potresa jer dio sustava odvodnje neće raditi u trajanju do oko deset dana</p> <p>*s obzirom na osjetljivost ovih građevina na potres potrebno je izraditi smjernice za brzu provedbu sanacije u slučaju potresa s jasno dodijeljenim ulogama i odgovornostima unutar nadležnih poduzeća</p>
---------------------------------------------------------	---------------------------------------------	------	-----------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

7.3 Sustav zaštite od poplava Grada Zagreba

U nastavku se daje zaključna tablica s rezultatima i preporukama za sustav zaštite od poplava u slučaju potresa povratnog perioda 475g. koji se koristi za proračune graničnih stanja nosivosti građevina u slučaju potresnog opterećenja.

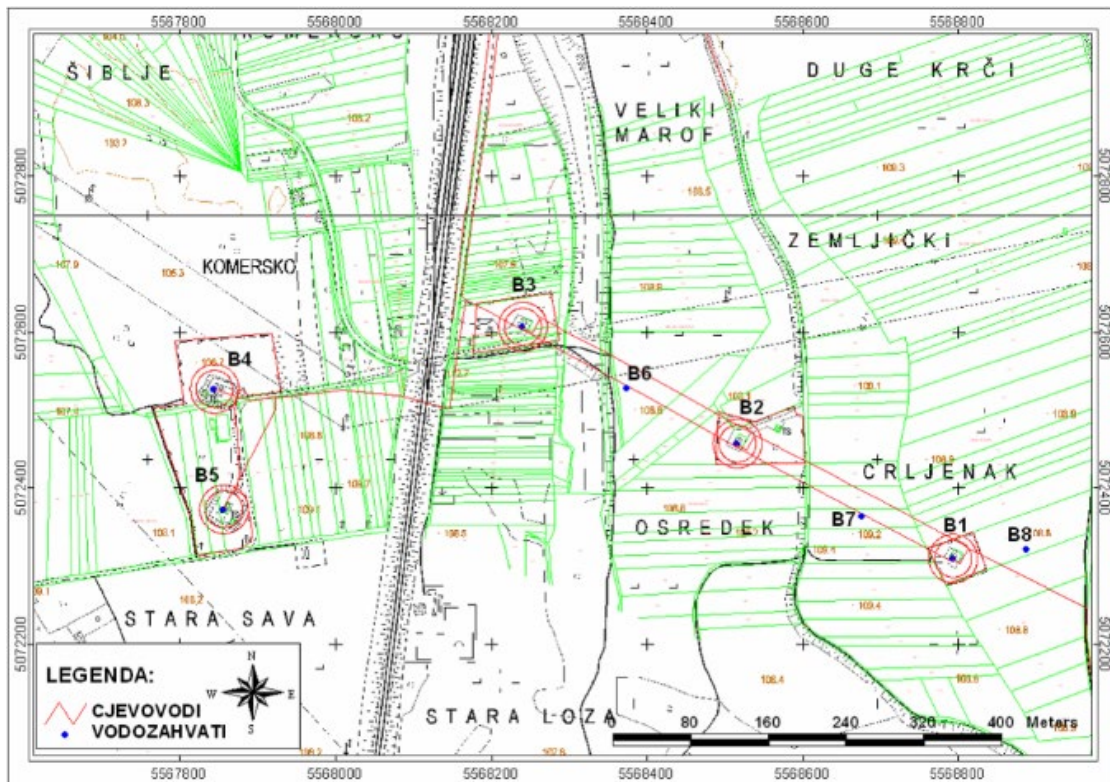
SUSTAV ZAŠTITE OD POPLAVA GRADA ZAGREBA				
Sintetički Zag. Potres 475 godišnjeg povratnog perioda (PGA = 0,29 g)	Manje i srednje oštećenje	Veliko oštećenje	Ukupni trošak popravka oštećenja	Komentar
NASIPI *izraženo u kilometrima *ukupna dužina zagrebačkih nasipa 97,07 km	22	3	9,707,000 €	*očekuju se velika oštećenja na ukupno 3km postojećih zagrebačkih nasipa * manje i srednje oštećenje: slijeganje krune i pukotine 5-15 cm (sanacija u roku 30- 60 dna) * veliko oštećenje: slijeganje čitavog nasipa i pukotine 40 cm (sanacija u roku 2 - 3 mjeseca) *sanaciju potrebno provesti prije nadolazeće poplavne sezone *nakon pojave potresa potrebno organizirati brzi pregled svih nasipa prema unaprijed definiranoj metodologiji (posebna pažnja na kritične dionice sl. 19) *potrebno izraditi smjernice za brzu provedbu pregleda i sanacije nasipa u slučaju potresa s jasno dodijeljenim ulogama i odgovornostima unutar nadležnih poduzeća
RETENCIJE	-	-	-	*Procjenu oštećenja i potresnog hazarda za retencije Sljemenskih bujičnih vodotoka, nije moguće izvesti koristeći trenutno dostupnu literaturu. Pratiti projekt CRISAFE (Critical infrastructure early warning systems and population awareness for multi hazard cascading events), trajanje od 2024 – 2026

8. Prilozi

8.1 Popis objekata

8.1.1 Izvorišta/Vodocrpilišta

Izvorište Petruševac je istočno zagrebačko izvorište smješteno južno od industrijske zone Žitnjak, na udaljenosti oko 800 m od Save. S izvorišta se crpi oko 29 % ukupno crpljenih količina vode potrebne za vodoopskrbu cijelog sustava, odnosno prosječno 34.764.000 m³ godišnje. Na crpilištu se aktivno koristi šest od ukupno devet zdenaca. U sklopu izvorišta je i pogon za demanganizaciju, jer crpljena voda iz dva zdenca (B4 i B5a) ima nedozvoljene količine mangana. Međutim, tijekom posljednjih nekoliko godina analize vode Zavoda za javno zdravstvo i Službe kontrole i kvalitete vode ViO d.o.o. Zagreb pokazuju da je kvaliteta vode na zdenacima zadovoljavajuća te danas pogon za demanganizaciju nije u funkciji. Kapacitet izvorišta je oko 1.500 l/s, a izdašnost pojedinog zdenca iznosi preko 250 l/s.



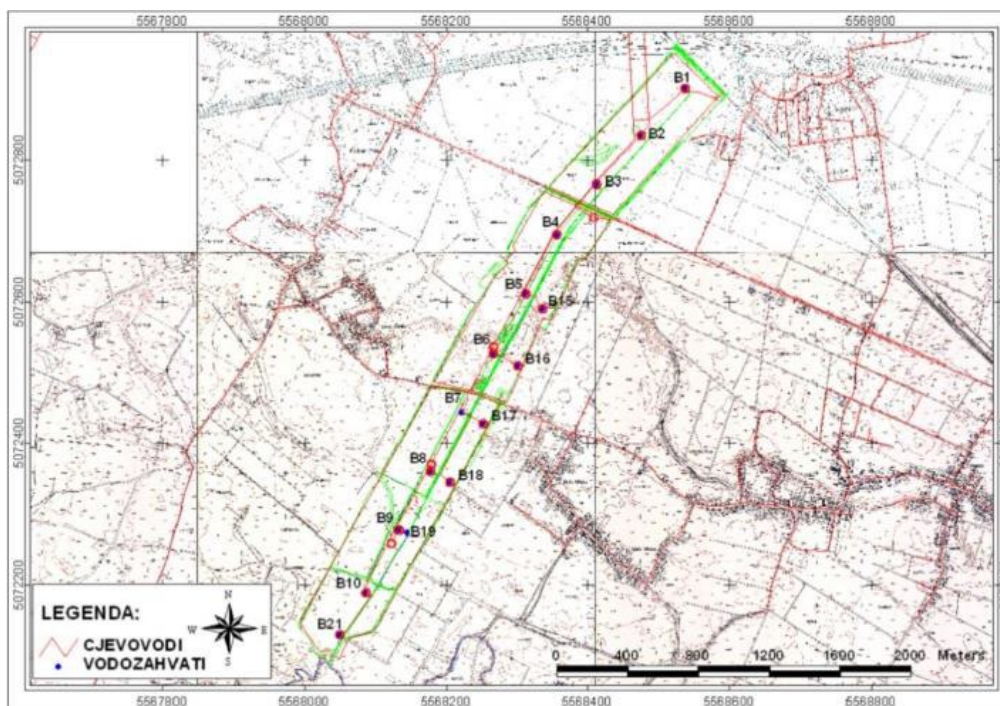
Sl. 21 Situacija izvorišta Petruševac (Izvor: Nacrt strategije razvoja vodoopskrbe i odvodnje, 2012.)

Tabl. 75 Podaci o zdencima na izvorištu Petruševac (preuzeto iz dokumenta Studija izvodljivosti 2020.)

Oznaka zdenca	Tip zdenca	Promjer (mm)	Dubina (m)	Godina izvedbe	U eksploataciji
B-1	bušeni	800	40,00	1980	DA
B-2	bušeni	800	40,00	1980	DA
B-3	bušeni	800	40,00	1980	DA
B-4	bušeni	800	46,00	1989	DA
B-5	bušeni	800	38,50	1989	NE
B-6	bušeni	800	44,00	1999	DA
B-7	bušeni	800	44,00	1999	NE
B-8	bušeni	800	44,00	1999	NE
PB-5/a*	bušeni	800	41,80	2001	DA

Izvorište Mala Mlaka je smješteno na desnoj obali rijeke Save u naselju Mala Mlaka. Izgradnja izvorišta započela je 1956. godine, a prvi zdenci pušteni su u pogon 1964. godine.

Mala Mlaka je središnje zagrebačko izvorište s kojeg se crpi oko 26 % ukupno crpljenih količina, odnosno prosječno 31.144.000 m³ godišnje. Na izvorištu se nalazi 10 glavnih zdenaca i 10 pomoćnih zdenaca. Glavni zdeneci su kopani zdeneci promjera 6.000 mm i dubine 13 – 18 m. Zbog pada razina podzemnih voda uz kopane zdence izvedeni su pomoćni bušeni zdeneci promjera 700 mm dubine 26 – 41 m.



Sl. 22 Situacija izvorišta Mala Mlaka (Izvor: Nacrt strategije razvoja vodoopskrbe i odvodnje, 2012.)

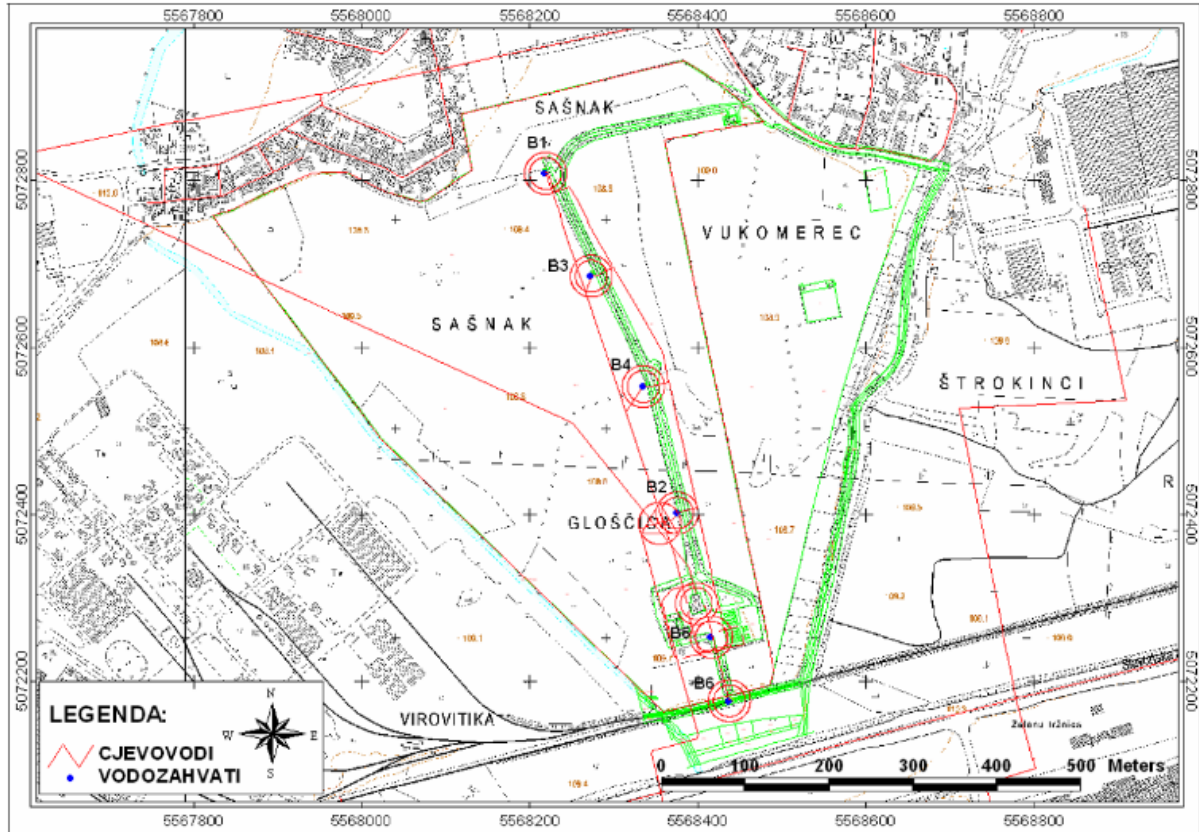
Tabl. 76 Podaci o zdencima na izvorištu Mala Mlaka (preuzeto iz dokumenta Studija izvodljivosti 2020.)

Oznaka zdenca	Tip zdenca	Promjer (mm)	Dubina (m)	Godina izvedbe	U eksploataciji
B-1	kopani	6000	17,25	1981/82	DA
B-2	kopani	6000	16,58	1981/82	DA
B-3	kopani	6000	16,03	1979	DA
B-4	kopani	6000	14,99	1968	NE
B-5	kopani	6000	14,47	1968	DA
B-6	kopani	6000	14,49	1962	DA
B-7	kopani	6000	13,88	1962	NE
B-8	kopani	6000	13,71	1962	DA
B-9	kopani	6000	14,7	1966	DA
B-10	kopani	6000	14,5	1966	DA
B-15	bušeni	1200/700	40	1987	
B-16	bušeni	1200/700	40	1985	
B-17	bušeni	1200/700	41	1985	
B-18	bušeni	1200/700	40	1987	
B-19	bušeni	1200/700	38	1987	
B-21	bušeni	1200/700	40	1985	
T-8	bušeni	1000/800	26,21	1970	
T-9	bušeni	1000/800	26,1	1970	
B-24	bušeni	1200/800	31	2004	
B-29	bušeni	1200/800	31,5	2005	

Razina podzemnih voda u priljevnom području izvorišta Mala Mlaka, ima trend pada zbog produblivanja korita rijeke Save, te zbog pretjerane eksploatacije vode. Od početnih 1.800 l/s sadašnji kapacitet izvorišta Mala Mlaka može se procijeniti na 1.200-1.600 l/s, dok je izdašnost bunara 150-200 l/s.

Izvorište Sašnjak je treće po veličini izvorište grada Zagreba. Nalazi se unutar najveće zagrebačke industrijske zone Žitnjak-Petruševac i opskrbljuje vodom istočni dio sustava. Izvedeno je sa šest zdenaca koji su inicijalno bili teglicama povezani sa središnjom sabirnom komorom. Pušteno je u pogon 1973. godine. Radi zagađenosti vode 1987. godine izgrađen je uređaj za kondicioniranje vode od organskih zagađivala kapaciteta 200 l/s na bazi aktivnog ugljena, koje je kasnije prošireno na 400 l/s. Nakon prestanka korištenja vojarne Borongaj, uslijedio je pad koncentracija lako hlapljivih kloriranih ugljikovodika antropogenog podrijetla, uvedenih u podzemne vode ispuštanjem otpadnih tvari. Zbog toga, te zbog dotrajalosti samog uređaja za kondicioniranje vode, uređaj je u funkciji s pola kapaciteta. Od 2005. godine, tj. otkako je prostor vojarne prenamijenjen, crpljena voda je zdravstveno ispravna.

S izvorišta Sašnjak se crpi oko 17% ukupno crpljenih količina, odnosno prosječno 28.281.000 m³ godišnje. Kapacitet izvorišta je oko 900 l/s, a izdašnost pojedinog bunara preko 150 l/s.

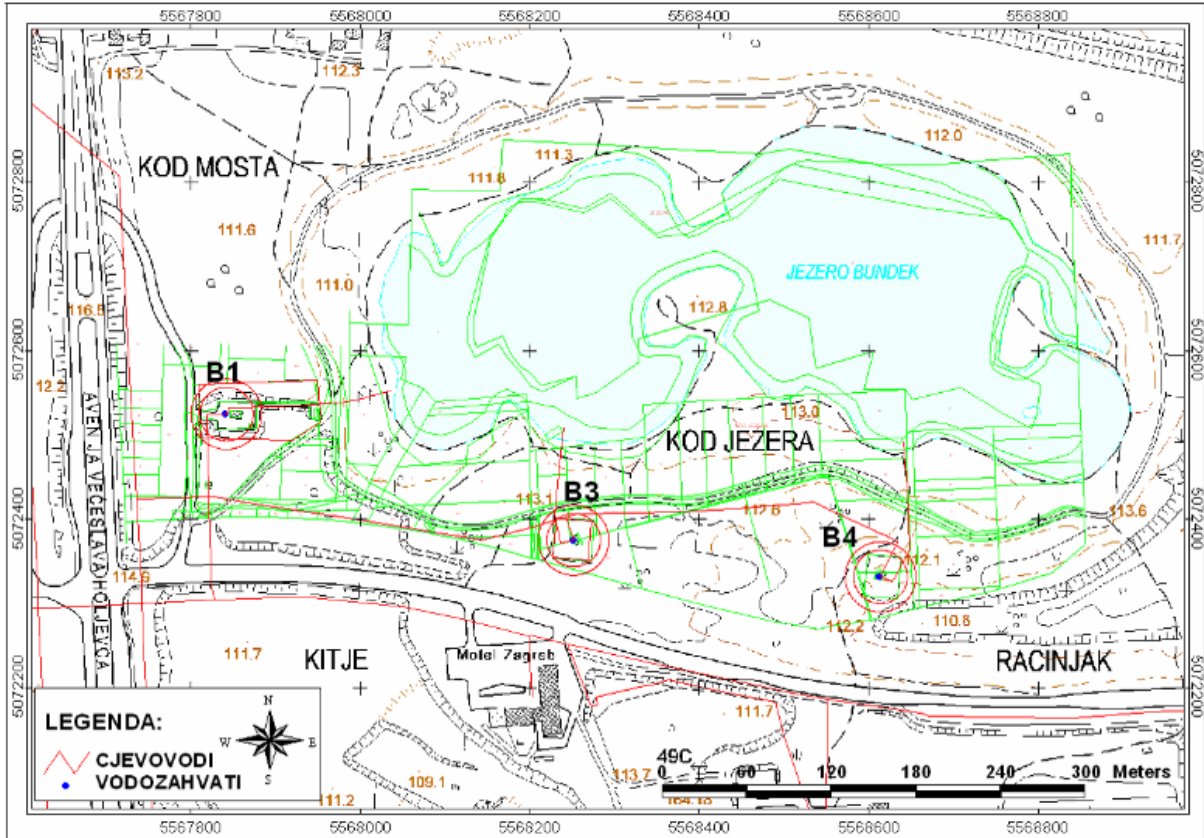


Sl. 23 Situacija izvorišta Sašnjak (Izvor: Nacrt strategije razvoja vodoopskrbe i odvodnje, 2012.)

Tabl. 77 Podaci o zdencima na izvorištu Sašnjak (preuzeto iz dokumenta Studija 2020.)

Oznaka zdenca	Tip zdenca	Promjer (mm)	Dubina (m)	Godina izvedbe	U eksploataciji
B-1	bušeni	800	31,42	1974	DA
B-2	bušeni	800	25,7	1974	DA
B-3	bušeni	800	36,6	1975	DA
B-4	bušeni	800	34,9	1970	DA
B-5	bušeni	800	38,4	1970	DA
B-6	bušeni	800	35,91	1975	DA

Izvorište Zaprude je središnje zagrebačko izvorište smješteno između Save i avenije Dubrovnik, istočno od avenije Većeslava Holjevca s kojeg se crpi oko 7% ukupno crpljenih količina, odnosno prosječno 8.095.000 m³ godišnje. Voda se crpi iz tri zdenca.



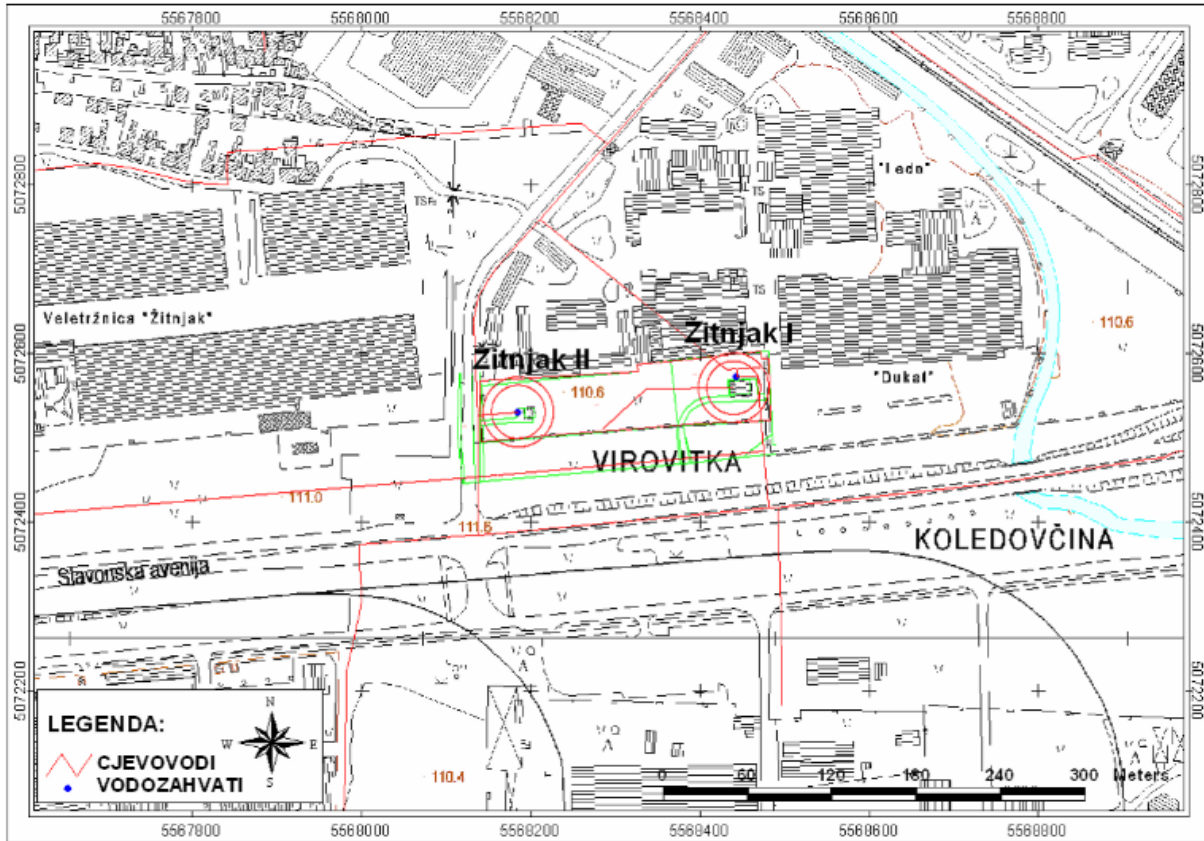
Sl. 24 Situacija izvorišta Zaprude (Izvor: Nacrt strategije razvoja vodoopskrbe i odvodnje, 2012.)

Zdenci su od Save udaljeni svega 500 m (od nasipa 400 m), ali otkad je izvorište u eksploataciji (1986.) nije bilo značajnijeg zagađenja vode. Promjer bunara je 800 mm, a dubina između 13,2 i 17,5 m. Za izvorište Zaprude je značajno da se nalazi u slivu izvorišta Mala Mlaka. Do danas nije ustanovljeno koliko realno interferira u kapacitet Male Mlake.

Tabl. 78 Podaci o zdencima na izvorištu Zaprude (preuzeto iz dokumenta Studija izvodljivosti 2020.)

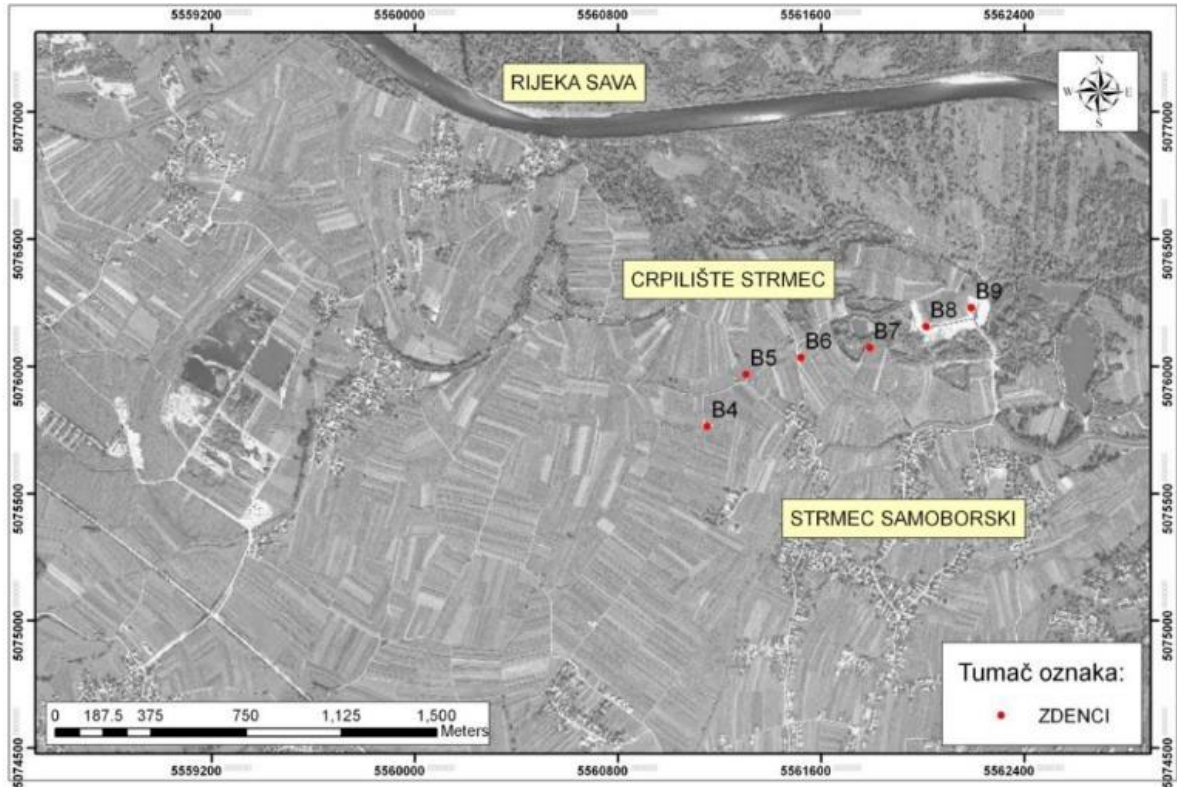
Oznaka zdenca	Tip zdenca	Promjer (mm)	Dubina (m)	Godina izvedbe	U eksploataciji
B-1	bušeni	800	18	1980	DA
B-3	bušeni	800	17,5	1981	DA
B-4	bušeni	800	16,6	1982	DA

Izvorište Žitnjak II izgrađeno je 1963. godine, nakon što je zbog zagađenja zatvoren bunar izvorišta Žitnjak I. Nalazi se u industrijskom području. Sastoji se od jednog zdenca promjera 600 mm, dubine 22 m. Izvorište Žitnjak trenutno nije u eksploataciji.



Sl. 25 Situacija izvorišta Žitnjak (Izvor: Nacrt strategije razvoja vodoopskrbe i odvodnje, 2012.)

Izvorište Strmec je zapadno zagrebačko izvorište maksimalnog kapaciteta 700 l/s. Smješteno je na području Općine Sveta Nedelja, sjeverozapadno od naselja Strmec Samoborski, na udaljenosti oko 800 – 1.150 m od rijeke Save. Područje izvorišta omeđeno je rijekom Savom, naseljem Strmec, brojnim jezerima i rukavcima, te manjim prometnicama. U vodonosniku postoje dva vodonosna horizonta koja su u međusobnoj vezi, kao i u vezi s rijekom Savom koja ih napaja. Izvedenim zdencima zahvaćena su oba vodonosna sloja.



Sl. 26 Situacija izvorišta Strmec (Izvor: Elaborat zaštitnih zona vodocrpilišta Strmec, Šibice i Bregana, RGN, 2009. Zagreb)

Tabl. 79 Podaci o zdencima na izvorištu Strmec (preuzeto iz dokumenta Studija izvodljivosti 2020.)

Oznaka zdenca	Tip zdenca	Promjer (mm)	Dubina (m)	Godina izvedbe	U eksploataciji
B-1*	bušeni	600	21	1989	NE
B-2*	bušeni	600	31,5	1989	NE
B-3*	bušeni	600	36	1989	NE
B-4	bušeni	600	21	1989	DA
B-5	bušeni	600	29	1989	DA
B-6	bušeni	600	35	1989	DA
B-7	bušeni	600	30	1989	DA
B-8	bušeni	600	27,5	1989	DA
B-9	bušeni	600	28	1989	DA

*neaktivni zdenici

Na izvorištu se nalazi šest aktivnih zdenaca dubine od 21 do 36 m iz kojih se crpi prosječno 505 l/s od čega se 305 l/s crpi prema Zagrebu, a 200 l/s prema Samoboru (prema podacima dobivenim od Službe crpljenja za razdoblje 2014.-2017.). S izvorišta Strmec crpi se oko 14 % ukupno crpljenih količina vode za potrebe zagrebačkog vodoopskrbnog sustava, odnosno prosječno 15.927.000 m³ godišnje.

Vodozahvati Slapnica i Lipovec nalaze se na Samoborskom području. Problem svih kaptažnih zahvata na samoborskom području je to što nije osigurana zona sanitarne zaštite izvorišta.

Izvorište Slapnica smješteno je uz vodotok Slapnicu i uz cestu koja spaja naselja Slapnica i Smerovišće. Izvorište se koristi za vodoopskrbu Grada Samobora i okolnih naselja, a sastoji se od 11 kaptaža. Vodoopskrbni sustav sastoji se od cjevovoda i prekidne komore s uređajem za kloriranje koji se nalaze u naselju Smerovišće.

Izvorište Lipovec smješteno je na sjeverozapadnim padinama Velikog Oštrca. Izvorište se koristi za vodoopskrbu Grada Samobora i okolnih naselja, a sastoji se od šest kaptaža. Kaptaže su međusobno povezane. Izgradnja izvorišta je započela 1975. godine, a projektirano je na kapacitet od 15 – 18 l/s.

Izdašnost izvorišta Slapnica je procijenjeno na oko 68 l/s, a Lipovac na oko 15 l/s. S ovih izvorišta crpi se oko 2% ukupno crpljenih količina vode za potrebe zagrebačkog vodoopskrbnog sustava.

8.1.2 Crpne stanice

Tabl. 80 Popis crpnih s osnovnim karakteristikama

R.Br.	Crpna stanica	God.	Status	Broj crpki	Kapacitet (l/s)	Kota crpne stanice m.n.m.	Snaga (Kw)	Proizvođač	VDF
1	Adamovec		u funkciji	2	1,00	183,88	5,50	Elektrokovina	DA
2	Bizek I		u funkciji	2	21,00	267,13	30,00	Pleuger	NE
3	Branimirova		izvan funkcije	1					
4	Bregana B1		u funkciji	1	33,00	134,92	45,00	Croatia pumpe	
5	Bregana B2		u funkciji	1	33,00	134,84	55,00	Croatia pumpe	
6	Bregana B3		u funkciji	1	33,00	134,35	50,00	Croatia pumpe	
7	Brestje		u funkciji	3	7,00	143,07		Hydrovar	DA
8	Bukovac		u funkciji	2	100,00	187,10		Koncar i Strapic	DA
9	Cerje		u funkciji	2		140,56		Centrifugalne pumpe	NE
10	CS Jurjevska		u funkciji	2		178,41			DA
11	CS Prepuštovec (Kašina)		u funkciji	6	17,00	176,09	7,50	Grundfos	DA
12	CS Prepuštovec 2		u funkciji						
13	CS Zadarska		u funkciji						
14	Črešnjevce		u funkciji	2	33,00	257,93		Pleuger	DA
15	Dobrodol		u funkciji	3		131,40	7,50	Grundfos	DA
16	Držićeva	1950	izvan funkcije	2	44,00	110,40	192,00	Litostroj Končar	/



PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB
Elaborat građevinarstvo - inženjerske građevine - podaci o konstrukcijskim sustavima mostova i hidrotehničkih građevina: Mapa 2
Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

R.Br.	Crpna stanica	God.	Status	Broj crpki	Kapacitet (l/s)	Kota crpne stanice m.n.m.	Snaga (Kw)	Proizvođač	VDF
17	Ferovec 1		izvan funkcije						
18	Ferovec 2		izvan funkcije						
19	Giznik		u funkciji	2	5,00	173,44	11,00	Croatia Pumpe	DA
20	Glavnica donja		u funkciji	3		267,22		Grundfoss	DA
21	Glavnica gornja		u funkciji	2	2,00	198,13	4,00	Grundfos	DA
22	Goranec		u funkciji	3		240,28	7,50	Grundfos	DA
23	Hercegov gaj		izvan funkcije	2		268,08			DA
24	Hornjak		u funkciji	4		400,38		Siemens i Enanurm	
25	Horvati B1	1986	izvan funkcije	1	10,00	112,39	11,00		DA
26	Horvati B2		izvan funkcije	1		112,83			DA
27	Horvati B3		izvan funkcije	1		112,71			DA
28	Horvatica	2006	u funkciji	2	4,00	229,46	5,50	Vogel	DA
29	HS - Vinogradska - Kučanec		u funkciji	3		198,96		Grundfos	DA
30	HS Gornji Dragonožec		u funkciji	2	1,60	292,30	1,50	Grundfos	
31	HS Kupinečki Kraljevec		u funkciji	3	20,00	211,41	7,50	Vogel	DA
32	HS Miholići (Medveščina)		u funkciji	2		285,59		Grundfos	DA
33	HS Rakov potok		u funkciji	3	7,00	223,39	7,50	Hydrovar, Vogel	DA
34	HS Šestinski vrh		u funkciji	3		336,71		Vogel, Grundfos	DA
35	HS Vinogradska		u funkciji	3	250,00	160,35	2,20	Ebara / Aeg	DA
36	Jelenske vode		u funkciji	2	9,00	759,63			
37	Kašinska sopnica		u funkciji	2	6,00	200,73	9,00	Grundfos	DA
38	Kralji		u funkciji	3		219,09			DA
39	Kruge		izvan funkcije	2		110,88		Litostroj	
40	Laščina		u funkciji	3	300,00	168,44		Pleuger	
41	Lisičina		u funkciji	5	72,00	176,03	110,00	Litostroj / Vogel	DA



PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB
Elaborat građevinarstvo - inženjerske građevine - podaci o konstrukcijskim
sustavima mostova i hidrotehničkih građevina: Mapa 2
Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

R.Br.	Crpna stanica	God.	Status	Broj crpki	Kapacitet (l/s)	Kota crpne stanice m.n.m.	Snaga (Kw)	Proizvođač	VDF
42	Lukšić		u funkciji	4		288,08	18,50	Pleuger i Hydrovar	
43	Mala Mlaka B1	1982	u funkciji	1	180,00	111,15	250,00	Litostroj	
44	Mala Mlaka B10	1968	u funkciji	1	180,00	110,78	250,00	Sulzer	
45	Mala Mlaka B15	1987	u funkciji	1	200,00	112,83	48,00	Pleuger	
46	Mala Mlaka B16	1987	u funkciji	1	250,00	99,95	66,00	Pleuger	
47	Mala Mlaka B17	1985	u funkciji	1	62,00	110,15	30,00	Pleuger	
48	Mala Mlaka B18	1985	u funkciji	1	200,00	112,64	48,00	Pleuger	
49	Mala Mlaka B2	1982	u funkciji	1	180,00	111,23	250,00	Litostroj	
50	Mala Mlaka B21	1987	u funkciji	1	200,00	99,29	48,00	Pleuger	
51	Mala Mlaka B24	2004	u funkciji	1	83,00	110,84	150,00	Pleuger	
52	Mala Mlaka B29	2005	u funkciji	1		110,25		Pleuger	
53	Mala Mlaka B3	1982	u funkciji	1	180,00	111,10	250,00	Sulzer	
54	Mala Mlaka B4	1980	izvan funkcije	1	180,00	111,28	250,00	Sulzer	
55	Mala Mlaka B5	1969	u funkciji	1	180,00	111,44	250,00	Sulzer	
56	Mala Mlaka B6	1962	u funkciji	1	180,00	111,52	250,00	Sulzer	
57	Mala Mlaka B7	1962	izvan funkcije	1	180,00	111,27	250,00	Sulzer	
58	Mala Mlaka B8 (novi)	1970	u funkciji	1	147,00	98,32	200,00	Pleuger	
59	Mala Mlaka B8 (stari)	1962	izvan funkcije	1	140,00		185,00	Pleuger	
60	Mala Mlaka B9	1962	izvan funkcije	1	180,00	110,70	250,00	Sulzer	
61	Markovo polje		u funkciji	2	28,00	139,90		Pleuger	DA
62	Medvedski breg		u funkciji	2	4,00	374,93	3,30	Hydrovar	DA
63	Moravče		u funkciji	3		248,32		Hydrovar	DA
64	Moravče 2		u funkciji	3	8,00	162,18		Elektronika; Vogel	NE
65	Oporovec 1 (stara)		u funkciji	2		177,76		Končar	DA
66	Oporovec 2 (nova)		u funkciji	3	36,00	177,70	110,00	Vogel	DA
67	Pantovčak		u funkciji	2	8,00	245,24		Rade Končar, Jugoturbina	DA
68	PC Gornja Dubrava Samoborska	2013	u funkciji	3	3,00	307,52	4,00	Grundfos	DA



PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB
Elaborat građevinarstvo - inženjerske građevine - podaci o konstrukcijskim
sustavima mostova i hidrotehničkih građevina: Mapa 2
Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

R.Br.	Crpna stanica	God.	Status	Broj crpki	Kapacitet (l/s)	Kota crpne stanice m.n.m.	Snaga (Kw)	Proizvođač	VDF
69	Petruševac B1	1981	u funkciji	1	250,00	106,62	335,00	Pleuger	
70	Petruševac B2	1981	u funkciji	1	250,00	105,93	335,00	Pleuger	
71	Petruševac B3	1981	u funkciji	1	250,00	105,15	335,00	Pleuger	
72	Petruševac B4	1991	u funkciji	1	250,00	106,66	66,00	Pleuger	
73	Petruševac B5		u funkciji	1		106,53			
74	Petruševac B5A	1991	u funkciji	1	250,00	105,22	66,00	Pleuger	
75	Petruševac B6		u funkciji	1	250,00	106,69	335,00		
76	Petruševac B7		izvan funkcije	1		106,76			
77	Petruševac B8		izvan funkcije			105,70			
78	Pile		u funkciji	1	400,00	111,27		Pleuger	DA
79	Popovec		u funkciji	3	19,00	141,84		Pleuger	DA
80	PPS Beder Javorek		u funkciji	2	6,50	455,23	7,50	Elektrokovine	DA
81	Prekrižje		u funkciji	2	79,00	260,17		Končar	DA
82	PS Anindol		izvan funkcije	2	7,00	203,41	22,00	Croatia Pumpe	
83	PS Anindol (nova)		u funkciji	2	7,00	201,40	22,00	Croatia Pumpe	DA
84	PS Baltin Jarek		u funkciji	2	13,00	188,02	30,00	Croatia Pumpe	
85	PS Bregana		u funkciji	2	6,00	157,14	22,00	Pleuger	DA
86	PS Bregana		u funkciji	2	6,00	157,14	22,00	Pleuger	DA
87	PS Brezje		u funkciji	3	10,00	151,66	13,00	Pleuger	DA
88	PS Cerje Samoborsko		u funkciji	3	2,00	365,92	3,00	Pleuger	
89	PS Črnc		u funkciji	3	20,00	301,01	7,50	Grundfos	
90	PS Deščevec		u funkciji	1	12,00				
91	PS Donji Dragonožec		u funkciji	2	4,00	138,51	4,00	Pleuger	DA
92	PS Falaščak		izvan funkcije	2	10,00	264,43	7,50	Croatia Pumpe	NE
93	PS Glavnica Donja		u funkciji		1,50				
94	PS Gradišće		u funkciji	2	10,00	319,29	15,00	Grundfos	DA
95	PS Grmoščica		u funkciji	1	1,50	154,86	3,70	Pleuger	NE
96	PS Hamor		u funkciji	3	5,70	197,30	11,00	Grundfos	DA
97	PS Jačkovina		u funkciji	2	78,00	181,06	110,00	Končar	DA



PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

Elaborat građevinarstvo - inženjerske građevine - podaci o konstrukcijskim sustavima mostova i hidrotehničkih građevina: Mapa 2

Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

R.Br.	Crpna stanica	God.	Status	Broj crpki	Kapacitet (l/s)	Kota crpne stanice m.n.m.	Snaga (Kw)	Proizvođač	VDF
98	PS Jelenšćak		u funkciji	2	2,00	168,64	3,70	Pleuger	DA
99	PS Kladje		u funkciji	3	10,00	164,78	7,50	Grundfos	
100	PS Klake		u funkciji	2	12,00	285,45	7,50	Grundfos	DA
101	PS Konščica		u funkciji	2	12,00	312,69	11,00	Grundfos	
102	PS Kupinečki Kraljevac		u funkciji	2	11,00	127,43	13,00	Pleuger	DA
103	PS Lešće		u funkciji						
104	PS Lončarićev put		u funkciji	2	31,00	268,94	45,00	Croatia Pumps	DA
105	PS Mala Mlaka		u funkciji	5	181,00	111,67	150,00		
106	PS Mala Rakovica		u funkciji	2	6,00	171,60	7,50	Pleuger	
107	PS Mala Rakovica 2		u funkciji	3	2,00	269,09	5,50	Grundfos	
108	PS Milke Trmine		u funkciji	4	2,00	182,12	3,00	Grundfos	DA
109	PS Noršić Selo		u funkciji	2	2,50	577,65	15,00	Croatia Pumpe	DA
110	PS Otruševac		u funkciji	2	4,00	177,77	15,00	Croatia Pumpe	DA
111	PS Prekvršje		u funkciji	3	6,00	173,88	4,00	Grundfos	DA
112	PS Rakov Potok		u funkciji	2	7,00	139,12	7,50	Pleuger	DA
113	PS Slapnica (Južno nselje)		u funkciji	3	150,00	145,04	46,00	Pleuger	DA
114	PS Slavagora		u funkciji	3	1,50	413,67	2,20	Grundfos	
115	PS Sokolovec		u funkciji	2	125,00	182,96	200,00	Croatia Pumpe	DA
116	PS Stojdraga		u funkciji	2	1,50	477,62	3,00	Croatia Pumpe	DA
117	PS Stražnik		u funkciji	2	7,00	205,27	37,00	Croatia Pumpe	DA
118	PS Susedgrad		u funkciji	3	6,00	139,39	7,50	Grundfos	DA
119	PS Sv. Leonard		u funkciji	2	1,50	478,39	2,70	Elektrokovina	
120	PS Svetonedeljski Breg		u funkciji	4	2,00	279,70	2,20	Grundfos	DA
121	PS Škrobotnik		u funkciji	2	3,50	246,10	11,00	Croatia Pumpe	DA
122	PS Teškovec		u funkciji	2	6,00	346,21	5,50	Vogel	
123	PS Vrapče		u funkciji	2		168,92	90,00	Pleuger	DA
124	PS Vrhovček		u funkciji	3	4,50	340,78	1,10	Elektrokovina	DA
125	Remete		u funkciji	2	63,00	259,25		Siemens	DA
126	Sabirno/prekidna komora Slapnica/Smerovišće		u funkciji	1		258,19		Grundfos	DA



PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB
Elaborat građevinarstvo - inženjerske građevine - podaci o konstrukcijskim
sustavima mostova i hidrotehničkih građevina: Mapa 2
Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

R.Br.	Crpna stanica	God.	Status	Broj crpki	Kapacitet (l/s)	Kota crpne stanice m.n.m.	Snaga (Kw)	Proizvođač	VDF
127	Sašnjak B1	1970	u funkciji	1	200,00	105,22	48,00	Pleuger	
128	Sašnjak B2	1970	u funkciji	1	200,00	105,42	48,00	Pleuger	
129	Sašnjak B3	1970	u funkciji	1		105,41			
130	Sašnjak B4	1970	u funkciji	1	200,00	105,71	48,00	Pleuger	
131	Sašnjak B5	1970	u funkciji	1	200,00	105,82	48,00	Pleuger	
132	Sašnjak B6	1970	u funkciji	1		105,36		Pleuger	
133	Strmec B4	1989	u funkciji	1	100,00	127,64	110,00	Croatia Pumpe Nova	
134	Strmec B5	1990	u funkciji	1	100,00	126,69	110,00	Croatia Pumpe Nova	
135	Strmec B6	2001	u funkciji	1	60,00	127,94	90,00	Croatia Pumpe Nova	
136	Strmec B7	2002	u funkciji	1	100,00	127,32	125,00	Pleuger	
137	Strmec B8		u funkciji	1	150,00	127,39	150,00	Pleuger	
138	Strmec B9		u funkciji	1	150,00	127,49	150,00	Pleuger	
139	Štefanovec		u funkciji	3		142,99		Pleuger	DA
140	Šubinov breg		u funkciji	2	6,00	161,91	5,50	Hydrovar	
141	Trsje		u funkciji	2	24,00	256,57	13,50		DA
142	Trtnjak		izvan funkcije						
143	Veliki vrh		u funkciji	3	1,00	216,76	7,50	Grundfos	DA
144	Vrbik		u funkciji	2		111,54		Litostroj	NE
145	Vugrovec gornji		u funkciji	5		185,73		Pleuger; Hydrovar	DA
146	Zaprude - B1	1984	u funkciji	1	180,00	111,20	250,00	Litostroj	NE
147	Zaprude - B2	1986	u funkciji	1	65,00	109,88	85,00	Pleuger	NE
148	Zaprude - B3	1986	u funkciji	1	65,00	110,51	85,00	Pleuger	DA
149	Žitnjak 1		izvan funkcije	1					
150	Žitnjak 2	1958	u funkciji	1	100,00	108,12	30,00		
151	Žlebec		u funkciji	1		349,70		Pleuger	NE

9. Reference

1. Shinozuka M (ed) (1995) The Hanshin-Awaji earthquake of January 17, 1995, performance of lifelines. Technical report NCEER-95-0015, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY
2. Chung RM, Ballantyne DB, Comeau E et al (1996) January 17, 1995 Hyogoken-Nanbu (Kobe) earthquake: performance of structures, lifelines and fire protection system. NIST Special Publication 901 (ICSSC TR18), National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, p 573
3. Lew HS, Cooper J, Hacopian S, Hays W, Mahokey M (1994) The January 17, 1994, Northridge earthquake (California). In: Ranfaste NJ (ed), NIST special publication 871. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland
4. O'Rourke TD, Palmer MC (eds) (1994) The Northridge, California earthquake of January 17, 1994, performance of gas transmission pipelines. Technical report NCEER-94-0011, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY
5. Todd D, Carino N, Chung R, Lew HS, Taylor AW, Walton WD (1994) 1994 Northridge earthquake: performance of structures, lifelines and fire protection systems, NISTIR Publication 5396. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, p 171
6. EERI (1990) Loma Prieta earthquake of October 17, 1989: reconnaissance report. Earthquake Spectra, Supplement to vol. 6, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA
7. Salzano E, Iervolino I, Fabbrocino G (2003) Seismic risk of atmospheric storage tanks in the framework of quantitative risk analysis. J Loss Prev Process Ind 16:403–409
8. ASCE (1987) Planning, operation, rehabilitation and automation of irrigation water delivery systems. In: Zimbelman D (ed) Proceedings of a symposium sponsored by the irrigation and drainage division, Portland, Oregon, 28–30 July, p 391
9. Eiding J (1998) Lifelines, water distribution system in the Loma Prieta, California, Earthquake of October 17, 1989, performance of the build environment-lifelines. In: Schiff A (ed) US Geological Survey professional paper 1552-A, pp A63–A80
10. National Institute of Building Sciences (NIBS) (2004) Earthquake loss estimation methodology. HAZUS'04, technical manual, vol 1. Federal Emergency Management Agency (FEMA), Washington, DC
11. „SYNER-G: Typology Definition and Fragility Functions for Physical Elements at Seismic Risk“
12. O'Rourke MJ, Ayala G (1993), „ Pipeline damage due to wave propagation“ J.Geotech Eng, ASCE 119(9), pp. 1490–1498

13. Honegger DG, Eguchi RT (1992), „Determination of the relative vulnerabilities to seismic damage for San Diego country water authority (SDCWA) water transmission pipelines“
14. American Lifelines Alliance (2001a) Seismic fragility formulations for water systems. Part 1 – Guideline, ASCE-FEMA, p 104
15. American Lifelines Alliance (2001b) Seismic fragility formulations for water systems. Part 2 – Appendices, ASCE-FEMA, p 239
16. Grad Zagreb-Procjena rizika od velikih nesreća. Ured za upravljanje hitnim situacijama. Gradska skupština Grada Zagreba, 2019.
17. SRMLIFE (2007) Development of a global methodology for the vulnerability assessment and risk management of lifelines, infrastructures and critical facilities. Application to the metropolitan area of Thessaloniki. Research project, General Secretariat for Research and Technology, Greece
18. Okvirni program aktivnosti za unaprjeđenje upravljanja rizicima od poplava na urbanom području grada zagreba kroz mjere prilagodbe klimatskim promjenama, Predstudija, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, 2021
19. „Vodoprivredna osnova Grada Zagreba - Izmjene i dopune (IDVOGZ)“, Zagreb, 1992
20. „Izrada studijske dokumentacije za pripremu projekata zaštite od poplava na slivu 'Sjeverno zagrebačko Prisavlje' iz EU fondova“, WYG Savjetovanje i partneri, 2017.
21. „Provedbeni plan obrane od poplava branjenog područja 14: središnji dio područja maloga sliva Zagrebačko Prisavlje na Sektoru C - Gornja Sava“, Hrvatske vode, 2014.
22. 'Preliminarni geotehnički istražni radovi na lokaciji postojećih savskih nasipa na području VGO-a za gornju Savu: desni savski nasip od km 62,1 do 96,8 (km r. Save 680+145 do 715+000) i lijevi savski nasip od km 168 do 196,37 (km. r. Save 686+000 do 715+000'. Geokon, Zagreb, 2014.
23. Preliminarna kategorizacija savskih nasipa. Geokon, Zagreb, 2014.
24. Analize stabilnosti postojećih savskih nasipa u svrhu definiranja njihove sigurnosti na području Vodnogospodarskog odjela za gornju Savu. Geokon, Zagreb, 2014.
25. Detaljna kategorizacija nasipa na kritičnim dionicama savskih nasipa na području VGO-a za gornju Savu u 2014. godini. Geokon, Zagreb.
26. Analiza dostignutog stupnja sigurnosti od poplava bujičnih voda grada Zagreba izgradnom retencija i daljnje planiranje sustava. Hrvatske vode, 2014.
27. "ShakeMap Scientific Background. Rapid Instrumental Intensity Maps". Earthquake Hazards Program. U. S. Geological Survey.



10. Popis slika

Sl. 1 Amplifikacija potresnog gibanja na površini (izvor: Markušić, S., Stanko, D., Korbar, T. et al., The Zagreb (Croatia) M5.5 Earthquake on 22 March 2020, Geosciences (2020), 10, 252)...	6
Sl. 2 Amplifikacija potresnog gibanja na rezonantnom periodu (izvor: Markušić, S., Stanko, D., Korbar, T. et al., The Zagreb (Croatia) M5.5 Earthquake on 22 March 2020, Geosciences (2020), 10, 252).....	7
Sl. 3 Površinski pomaci tla izmjereni satelitskom radarskom interferometrijom nakon potresa 22. 3. 2020. godine (izvor: Markušić, S.; Stanko, D.; Korbar, T.; Belić, N.; Penava, D.; Kordić, B. The Zagreb (Croatia) M5.5 Earthquake on 22 March 2020. Geosciences 2.....	9
Sl. 4 Krivulje osjetljivosti za vodocrpilišta (zdenci) sa usidrenim komponentama, armirano betonski niske građevine sa niskom (lijevo) i visokom (desno) protupotresnom otpornosti.....	18
Sl. 5 Krivulje osjetljivosti za uređaje za obradu vode (usidrene komponente), [11]	20
Sl. 6 Krivulje osjetljivosti za crpne stanice sa usidrenim komponentama, armirano betonske niske građevine sa niskom (lijevo) i visokom (desno) protupotresnom otpornosti, [11]	22
Sl. 7 Krivulje osjetljivosti za nadzemne armirano-betonske vodospreme izložene propagaciji valova [14, 15].....	24
Sl. 8 Podjela sustava prema koncepciji odvodnje	43
Sl. 9 Cjevovodi u sustavu prema razdoblju izgradnje.....	44
Sl. 10 Cjevovodi u sustavu prema razdoblju izgradnje.....	51
Sl. 11 Krivulje osjetljivosti za uređaje za pročišćavanje otpadnih voda s usidrenim komponentama, niskokatna armirano-betonska građevina s niskom (lijevo) i visokom (desno) protupotresnom otpornosti, [11].....	53
Sl. 12. Krivulje osjetljivosti za crpne stanice s usidrenim komponentama, niskokatna armirano-betonska građevina s niskom (lijevo) i visokom (desno) protupotresnom otpornosti, [11].....	54
Sl. 13 Dio kanalizacijske mreže izdvojen za CCTV inspekciju.....	63
Sl. 14. Glavni objekti obrane od poplava na urbanom području grada Zagreba [18]	68
Sl. 15 Granica sliva Sjeverno zagrebačko prisavlje s prikazom podjele sliva na zapadno (zeleno), centralno (narančasto) i istočno (plavo) područje, preuzeto iz studije [20]	69
Sl. 16 Granica BP14	70
Sl. 17 Glavni elementi obrane od poplava na BP14, izvor Hrvatske vode	71
Sl. 18 Izvedene retencije na području sliva Sjeverno zagrebačko prisavlje, preuzeto iz studije [20]	72
Sl. 19 Prikaz lokacija kritičnih dionica nasipa [23]	77
Sl. 20 Krivulje osjetljivosti za cestovne nasipe primijenjene za obrambene nasipe	80
Sl. 21 Situacija izvorišta Petruševec (Izvor: Nacrt strategije razvoja vodoopskrbe i odvodnje, 2012.).....	93
Sl. 22 Situacija izvorišta Mala Mlaka (Izvor: Nacrt strategije razvoja vodoopskrbe i odvodnje, 2012.).....	94

Sl. 23 Situacija izvorišta Sašnjak (Izvor: Nacrt strategije razvoja vodoopskrbe i odvodnje, 2012.)	96
Sl. 24 Situacija izvorišta Zapruđe (Izvor: Nacrt strategije razvoja vodoopskrbe i odvodnje, 2012.)	97
Sl. 25 Situacija izvorišta Žitnjak (Izvor: Nacrt strategije razvoja vodoopskrbe i odvodnje, 2012.)	98
Sl. 26 Situacija izvorišta Strmec (Izvor: Elaborat zaštitnih zona vodocrpilišta Strmec, Šibice i Bregana, RGN, 2009. Zagreb)	99

11. Popis Tablica

Tabl. 1 Prikaz osnovnih informacija o glavnom i najjačem naknadnom potresu 22.3.2020. godine	7
Tabl. 2 Parametri definirani na temelju korigiranih akcelerograma potresa magnitude $M=5,5$ (gore) i potresa magnitude $=4,9$ (dolje)	8
Tabl. 3 Potresni parametri za dva zagrebačka potresa i sintetički zagrebački potres povratnog perioda od 475 godina	10
Tabl. 4 Izdane vodopravne dozvole po pojedinim izvorištima, te izdašnost izvorišta	11
Tabl. 5 Duljina i udio cjevovoda u vodoopskrbnom sustavu prema vrsti materijala	12
Tabl. 6 Duljina i udio cjevovoda u vodoopskrbnom sustavu prema promjeru	13
Tabl. 7 Duljina i udio cjevovoda u vodoopskrbnom sustavu prema godini izgradnje	13
Tabl. 8 Popis vodosprema s osnovnim podacima	14
Tabl. 9 Parametri krivulja osjetljivosti za vodocrpilišta (zdence), [11]	19
Tabl. 10 Opis stupnja oštećenja za vodocrpilišta (zdence), [11]	19
Tabl. 11 Parametri krivulja osjetljivosti za uređaje za obradu vode, [11]	20
Tabl. 12 Opis stupnja oštećenja uređaja za obradu vode, [11]	20
Tabl. 13 Parametri krivulja osjetljivosti za crpne stanice, [11]	21
Tabl. 14 Opis stupnja oštećenja crpne stanice, [11]	22
Tabl. 15 Krivulje osjetljivosti za armirano-betonske vodospreme sa sidrenjem na razini tla (propagacija valova), [14, 15]	24
Tabl. 16 Tablica troškova popravka određene kategorije oštećenja iskazane u postotku ukupne građevinske vrijednosti	25
Tabl. 17 Tablica troškova obnove oštećenja na vodocrpilištima grada Zagreba za prvi zagrebački potres ($M=5.5$)	25
Tabl. 18 Tablica troškova obnove oštećenja na vodocrpilištima grada Zagreba za drugi zagrebački potres ($M=4.9$)	26
Tabl. 19 Tablica troškova obnove oštećenja na vodocrpilištima grada Zagreba za sintetički zagrebački potres ($PGA=0.29$ g)	26



Tabl. 20 Tablica troškova obnove oštećenja uređaja za obradu vode grada Zagreba za prvi zagrebački potres (PGA=0.22 g).....	27
Tabl. 21 Tablica troškova obnove oštećenja uređaja za obradu vode grada Zagreba za drugi zagrebački potres (PGA=0.06 g).....	28
Tabl. 22 Tablica troškova obnove oštećenja uređaja za obradu vode grada Zagreba za sintetički zagrebački potres (PGA=0.29 g).....	28
Tabl. 23 Tablica troškova obnove oštećenja crpnih stanica grada Zagreba za prvi zagrebački potres (PGA=0.22 g).....	29
Tabl. 24 Tablica troškova obnove oštećenja crpnih stanica grada Zagreba za drugi zagrebački potres (PGA=0.06 g).....	30
Tabl. 25 Tablica troškova obnove oštećenja crpnih stanica grada Zagreba za sintetički zagrebački potres (PGA=0.29 g).....	30
Tabl. 26 Procjena broja oštećenja na cjevovodu vodoopskrbne mreže za najveće izmjerene vrijednosti PGV seizmičkog događaja magnitude M = 5,5 (za prvi zagrebački potres).....	31
Tabl. 27 Procjena broja oštećenja na cjevovodu vodoopskrbne mreže za najveće izmjerene vrijednosti PGD seizmičkog događaja magnitude M = 5,5 (za prvi zagrebački potres).....	31
Tabl. 28 Procjena broja oštećenja na cjevovodu vodoopskrbne mreže za najveće izmjerene vrijednosti PGV seizmičkog događaja magnitude M = 4,9 (za drugi zagrebački potres).....	32
Tabl. 29 Procjena broja oštećenja na cjevovodu vodoopskrbne mreže za najveće izmjerene vrijednosti PGD seizmičkog događaja magnitude M = 4,9 (za drugi zagrebački potres).....	32
Tabl. 30 Procjena broja oštećenja na cjevovodu vodoopskrbne mreže za vrijednosti PGV sintetičkog seizmičkog događaja.....	33
Tabl. 31 Procjena broja oštećenja na cjevovodu vodoopskrbne mreže za vrijednosti PGD sintetičkog seizmičkog događaja.....	33
Tabl. 32 Procjena ukupnih troškova obnove na cjevovodu vodoopskrbne mreže za prvi zagrebački potres.....	35
Tabl. 33 Procjena ukupnih troškova obnove na cjevovodu vodoopskrbne mreže za drugi zagrebački potres.....	36
Tabl. 34 Procjena ukupnih troškova obnove na cjevovodu vodoopskrbne mreže za sintetički zagrebački potres.....	37
Tabl. 35 Tablica operativnosti vodosprema grada Zagreba za prvi zagrebački potres (PGA=0.22 g).....	38
Tabl. 36 Tablica operativnosti vodosprema grada Zagreba za drugi zagrebački potres (PGA=0.06 g).....	38
Tabl. 37 Tablica operativnosti vodosprema grada Zagreba za sintetički zagrebački potres povratnog razdoblja od 475 godina (PGA=0.29 g).....	39
Tabl. 38 Iskaz troškova obnove po pojedinim elementima vodoopskrbnog sustava.....	40
Tabl. 39 Osnovni podatci o uređaju za pročišćavanje otpadnih voda Zagreb.....	45
Tabl. 40 Raspored promjera cjevovoda prema duljini.....	50
Tabl. 41. Udio pojedinih materijala u ukupnoj duljini:.....	50
Tabl. 42 Parametri krivulja osjetljivosti za uređaje za pročišćavanje otpadnih voda, [11].....	52



Tabl. 43 Opis stupnja oštećenja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, [11].....	53
Tabl. 44 Parametri krivulja osjetljivosti za crpne stanice, [11].....	54
Tabl. 45 Opis stupnja oštećenja crpne stanice, [11].....	55
Tabl. 46 Tablica troškova popravka određene kategorije oštećenja iskazane u postotku ukupne građevinske vrijednosti	55
Tabl. 47 Tablica troškova obnove oštećenja na UPOV-a grada Zagreba za prvi zagrebački potres (M=5.5)	56
Tabl. 48 Tablica troškova obnove oštećenja na UPOV-a grada Zagreba za drugi zagrebački potres (M=4.9)	57
Tabl. 49 Tablica troškova obnove oštećenja na UPOV-a grada Zagreba za sintetički zagrebački potres (PGA=0.29 g)	57
Tabl. 50 Tablica troškova obnove oštećenja na crpnih stanica otpadnih voda grada Zagreba za prvi zagrebački potres (M=5.5).....	58
Tabl. 51 Tablica troškova obnove oštećenja na crpnih stanica otpadnih voda grada Zagreba za drugi zagrebački potres (M=4.9).....	59
Tabl. 52 Tablica troškova obnove oštećenja na UPOV-a grada Zagreba za sintetički zagrebački potres (PGA=0.29 g)	59
Tabl. 53 Procjena broja oštećenja na cjevovodu kanalizacijske mreže za najveće izmjerene vrijednosti PGV seizmičkog događaja magnitude M = 5,5 (za prvi zagrebački potres).....	60
Tabl. 54 Procjena broja oštećenja na cjevovodu kanalizacijske mreže za najveće izmjerene vrijednosti PGD seizmičkog događaja magnitude M = 5,5 (za prvi Zagrebački potres).....	61
Tabl. 55 Procjena broja oštećenja na cjevovodu kanalizacijske mreže za najveće izmjerene vrijednosti PGV seizmičkog događaja magnitude M = 4,9 (za drugi zagrebački potres).....	61
Tabl. 56 Procjena broja oštećenja na cjevovodu kanalizacijske mreže za najveće izmjerene vrijednosti PGD seizmičkog događaja magnitude M = 4,9 (za drugi zagrebački potres).....	61
Tabl. 57 Procjena broja oštećenja na cjevovodu kanalizacijske mreže za vrijednosti PGV sintetičkog seizmičkog događaja.....	62
Tabl. 58 Procjena broja oštećenja na cjevovodu kanalizacijske mreže za vrijednosti PGD sintetičkog seizmičkog događaja.....	62
Tabl. 59 Procjena ukupnih troškova obnove na cjevovodu kanalske mreže za prvi zagrebački potres	64
Tabl. 60 Procjena ukupnih troškova obnove na cjevovodu kanalske mreže za drugi zagrebački potres	65
Tabl. 61 Procjena ukupnih troškova obnove na cjevovodu kanalske mreže za sintetički seizmički događaj PP=475g.....	65
Tabl. 62 Iskaz troškova obnove po pojedinim elementima kanalizacijskog sustava	66
Tabl. 63 Najznačajniji vodotoci	69
Tabl. 64 Popis retencija s osnovnim podacima	71
Tabl. 65 Popis ostalih relevantnih građevina na slivu Sjeverno zagrebačko prisavlje	73
Tabl. 66 Dionice obrane od poplava na branjenom području 14 (BP14).....	74
Tabl. 67 Kritične dionice nasipa s opisom stanja i preporučenih akcija	78



Tabl. 68 Definicija graničnih stanja oštećenja za nasipe i brane prema [17].....	79
Tabl. 69 Parametri numeričkih krivulja osjetljivosti za cestovne nasipe primijenjeni za obrambene nasipe.....	81
Tabl. 70 Tablica troškova popravka određene kategorije oštećenja iskazane u postotku ukupne građevinske vrijednosti	81
Tabl. 71 Tablica troškova obnove oštećenja na nasipima grada Zagreba za prvi zagrebački potres (M=5.5)	82
Tabl. 72 Tablica troškova obnove oštećenja na nasipima grada Zagreba za drugi zagrebački potres (M=4.9).....	82
Tabl. 73 Tablica troškova obnove oštećenja na nasipima grada Zagreba za sintetički zagrebački potres	83
Tabl. 74 Iskaz troškova obnove po pojedinim elementima nasipa	84
Tabl. 75 Podaci o zdencima na izvorištu Petruševac (preuzeto iz dokumenta Studija izvodljivosti 2020.).....	94
Tabl. 76 Podaci o zdencima na izvorištu Mala Mlaka (preuzeto iz dokumenta Studija izvodljivosti 2020.).....	95
Tabl. 77 Podaci o zdencima na izvorištu Sašnjak (preuzeto iz dokumenta Studija 2020.).....	96
Tabl. 78 Podaci o zdencima na izvorištu Zapruđe (preuzeto iz dokumenta Studija izvodljivosti 2020.).....	97
Tabl. 79 Podaci o zdencima na izvorištu Strmec (preuzeto iz dokumenta Studija izvodljivosti 2020.).....	99
Tabl. 80 Popis crpnih s osnovnim karakteristikama	100