

# Evaluacija procjene broja oštećenja na kanalizacijskoj mreži grada Petrinje nakon seizmičkog događaja u 2020. godini

---

Šurina, Tamara

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:305566>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom](#).

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-04**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,  
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Tamara Šurina

**Evaluacija procjene broja oštećenja na  
kanalizacijskoj mreži grada Petrinje nakon  
seizmičkog događaja u 2020. godini**

DIPLOMSKI RAD

Mentor: izv.prof.dr.sc. Ivan Halkijević

Komentor: doc.dr.sc. Domagoj Nakić

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Tamara Šurina

**Evaluation of the damage assessment on the  
sewage network of the city of Petrinja after  
the seismic event in 2020**

MASTER THESIS

Supervisor: izv.prof.dr.sc. Ivan Halkijević

Additional supervisor: doc.dr.sc. Domagoj Nakić

Zagreb, 2024.

## SAŽETAK

Ovaj diplomski rad analizira štete na kanalizacijskoj mreži grada Petrinje uzrokovane potresima krajem prosinca 2020. godine, s fokusom na oštećenja starije mreže i novije infrastrukture izgrađene kroz EU projekt. Potresi su prouzročili značajan broj oštećenja, pri čemu su najviše pogođene PVC cijevi, dok su GRP cijevi pretrpjele manji broj oštećenja. Razlike u broju oštećenja mogu se pripisati različitim svojstvima materijala i njihovoj otpornosti na seizmičke udare. Procjena šteta provedena je pomoću funkcija ranjivosti prema metodama ALA, HAZUS i Honegger-Eguchijevoj metodi, no rezultati su pokazali odstupanja jer ključni seizmički parametri nisu izravno mjereni na području Petrinje, već su korišteni podaci iz Zagreba. Ova nesigurnost u procjeni rezultirala je netočnim procjenama broja oštećenja. Kroz prilagodbu funkcija ranjivosti dobiveni su precizniji podaci, ali se pokazalo da je potrebno dodatno prilagoditi metode specifičnim lokalnim uvjetima. Tijekom snimanja zabilježen je i znatan broj oštećenja na kućnim priključcima i kontrolnim oknima, uz povećanje broja u odnosu na početne procjene. Ovi rezultati naglašavaju potrebu za sveobuhvatnom sanacijom mreže kako bi se osigurao njen učinkovit rad u budućnosti.

**Ključne riječi:** kanalizacijska mreža, potres, funkcije ranjivosti, Petrinja, oštećenja

## SUMMARY

This master thesis analyzes the damage to the sewage network of the city of Petrinja caused by earthquakes in late December 2020, focusing on damage to the older network and newer infrastructure built as part of an EU project. The earthquakes caused significant damage, with PVC pipes being the most affected, while GRP pipes sustained fewer damages. The differences in the extent of damage can be attributed to the varying properties of materials and their resistance to seismic impacts. Damage assessment was conducted using vulnerability functions according to the ALA, HAZUS, and Honegger-Eguchi methods. However, the results showed discrepancies as key seismic parameters were not directly measured in the Petrinja area, but instead data from Zagreb were used. This uncertainty in the assessment led to inaccurate damage estimates. After adjustments to the vulnerability functions, more accurate data were obtained, but the methods still need further adaptation to the specific local conditions. The inspection also recorded a considerable number of damages to household connections and manholes, with an increase in numbers compared to initial estimates. These findings highlight the need for comprehensive rehabilitation of the network to ensure its effective operation in the future.

**Key words:** sewage network, earthquake, vulnerability functions, Petrinja, damages

# SADRŽAJ

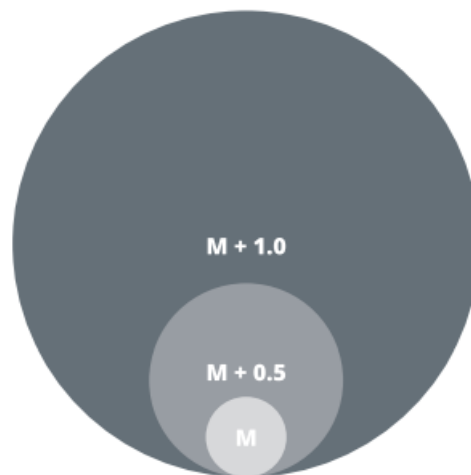
<b>SAŽETAK</b> .....	<b>iii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>iv</b>
<b>SADRŽAJ</b> .....	<b>5</b>
<b>1. UVOD</b> .....	<b>7</b>
1.1. Glavne karakteristike potresa.....	7
1.2. Seizmička aktivnost u Hrvatskoj.....	8
1.3. Potresi u Petrinji - karakteristike i utjecaj.....	9
1.4. Utjecaj potresa na infrastrukturu.....	11
<b>2. METODOLOGIJA PROCJENE BROJA OŠTEĆENJA NA KANALIZACIJSKOJ MREŽI GRADA PETRINJE</b> .....	<b>13</b>
2.1. Funkcije ranjivosti.....	14
2.1.1. Povijest funkcija ranjivosti.....	14
2.2. Primjena funkcija ranjivosti prema različitim metodama.....	17
2.2.1. ALA metoda.....	18
2.2.2. HAZUS (O'Rourke i Ayala) metoda.....	19
2.2.3. Honegger-Eguchijeva metoda.....	19
<b>3. ANALIZA ULAZNIH PODATAKA FUNKCIJA RANJIVOSTI</b> .....	<b>20</b>
3.1. Stanje postojeće „stare“ kanalizacijske mreže prije potresa.....	22
3.2. Stanje postojeće „nove“ kanalizacijske mreže prije potresa.....	24
<b>4. PROCJENA BROJA OŠTEĆENJA</b> .....	<b>26</b>
4.1. Procjena broja oštećenja na kanalizacijskoj mreži.....	26
<b>5. EVALUACIJA BROJA NASTALIH OŠTEĆENJA</b> .....	<b>31</b>
5.1. Čišćenje i provođenje CCTV inspekcije.....	32
5.2. Geodetska snimanja.....	32
5.3. Broj oštećenja na kanalizacijskoj mreži nakon CCTV inspekcije.....	33
5.4. Broj oštećenja na kućnim priključcima i kontrolnim oknima nakon CCTV inspekcije.....	33
5.5. Korekcija funkcija ranjivosti korištenih kod procjene broja oštećenja.....	35
5.5.1. ALA metoda.....	35
5.5.2. HAZUS (O'Rourke i Ayala) metoda.....	36

5.5.3. Honegger-Eguchijeva metoda.....	37
<b>6. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>38</b>
<b>POPIS LITERATURE.....</b>	<b>39</b>
<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>40</b>
<b>POPIS TABLICA.....</b>	<b>41</b>

# 1. UVOD

## 1.1. Glavne karakteristike potresa

Potres je prirodni fenomen koji se manifestira kao iznenadno i brzo podrhtavanje tla uzrokovano oslobađanjem energije iz Zemljine unutrašnjosti. Tijekom potresa nastaju dvije različite vrste seizmičkih valova koji putuju Zemljom i uzrokuju podrhtavanje njezine površine. Postoje tzv. P-valovi ili primarni valovi, koji su najbrži i prvi se osjete te S-valovi ili sekundarni valovi, koji dolaze nakon P-valova i uzrokuju više štete. Potresi su najčešće uzrokovani tektonskim poremećajima u litosferi i dijelom u Zemljinom plaštu (tektonski potres), također mogu biti uzrokovani i urušavanjem stijena (urušni), magmatskom aktivnošću (vulkanski), udarom meteorita (impaktni) te eksplozijom (umjetni). Jedna od glavnih karakteristika potresa je magnituda koja mjeri količinu oslobođene energije te ju je uveo Charles F. Richter 1935.godine. Najčešće se izražava pomoću Richterove ljestvice, a skala je logaritamska što znači da svaki stupanj predstavlja deset puta veću amplitudu valova (slika 1.). Intenzitet je također jedna od bitnih karakteristika. On se mjeri na temelju učinaka koje potres ima na ljude, građevine i prirodu na površini Zemlje. Najčešće se izražava Mercallijevom ljestvicom koja se sastoji od nekoliko stupnjeva označenih rimskim brojevima od I (neprimjetan potres) do XII (potpuno uništenje).



Slika 1. Odnos energije oslobođene u potresu za različite magnitudo M



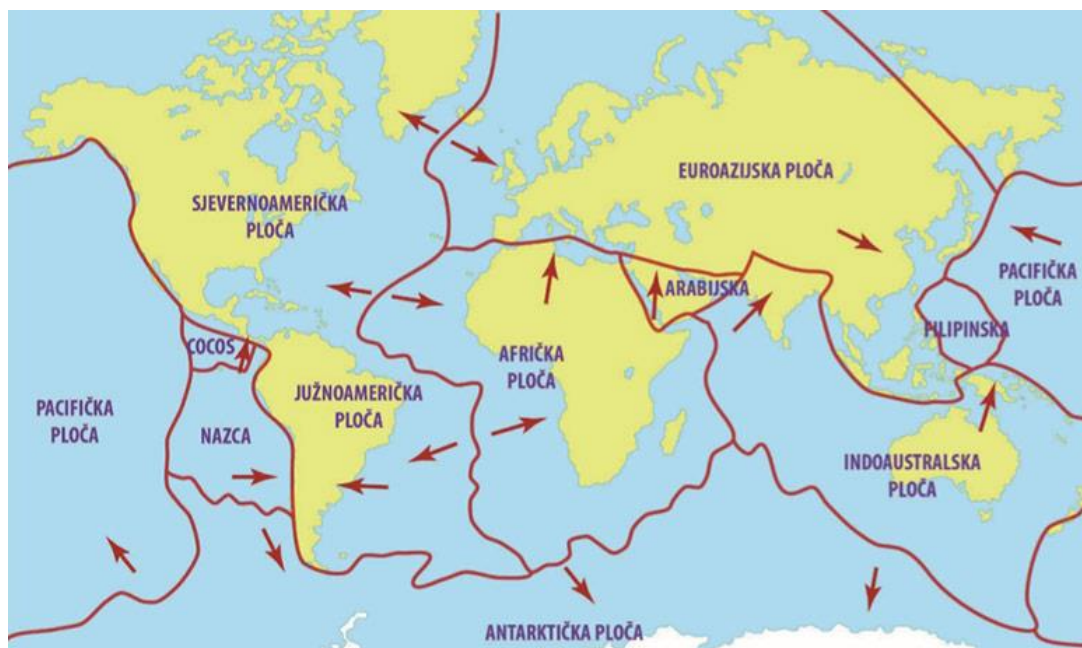
Mjesto nastanka potresa na površini Zemlje iznad mjesta gdje je potres nastao je epicentar, dok je hipocentar ili žarište potresa stvarno mjesto ispuštanja energije u dubini Zemlje. Hipocentar može biti neposredno ispod površine pa sve do dubine od 750 km. Ako je na dubini do 70 km, potres je plitak, srednje duboki hipocentar se nalazi između 70 i 300 km ispod površine Zemlje, a duboki hipocentar se nalazi na više od 300 km ispod Zemljine površine.

Potresi se registriraju pomoću instrumenata zvanih seizmografi, koji bilježe seizmičke valove izazvane potresom. Zapis koji seizmograf stvori naziva se seizmogram. Seizmogram prikazuje amplitude i frekvencije valova, omogućavajući znanstvenicima da analiziraju karakteristike potresa.

## **1.2. Seizmička aktivnost u Hrvatskoj**

Seizmička aktivnost u Hrvatskoj je prilično izražena zbog njezine lokacije između Euroazijske i Afričke tektonske ploče (slika 2.). Najaktivnije seizmičko područje u Hrvatskoj je priobalje i obalno zaleđe, posebice područja uz Dinaride, kao i južna Dalmacija i šire područje Dubrovnika.

Potresi u Hrvatskoj najčešće su srednjeg intenziteta, ali povremeno mogu biti i vrlo snažni, uzrokujući značajnu štetu. Povijesni zapisi bilježe nekoliko razarajućih potresa. Jedan od najpoznatijih je potres koji je pogodio Dubrovnik 1667. godine, gotovo potpuno razrušivši grad i odnijevši mnoge živote. Također značajni potresi dogodili su se u Zagrebu 1880. i 2020. godine te u Petrinji 2020. godine. Zagrebački potres 1880. godine imao je magnitudu 6.3 prema Richterovoj ljestvici i uzrokovao je velike materijalne štete te promijenio izgled grada. Potres u ožujku 2020. godine, s magnitudom 5.5, također je izazvao značajne štete u centru Zagreba, oštetivši brojne zgrade, uključujući kulturne i povijesne spomenike.



Slika 2. Tektonske ploče

### 1.3. Potresi u Petrinji - karakteristike i utjecaj

Umjereni potres magnitude 5.2 je pogodio 28.prosinca 2020.godine šire područje gradova Petrinje i Siska, a prethodio mu je niz slabijih potresa. Idućeg dana, 29. prosinca 2020. godine, dogodio se jedan od najjačih i najrazornijih potresa u novijoj povijesti Hrvatske. Ovaj potres imao je magnitudu 6.4 po Richterovoj ljestvici, s epicentrom u blizini grada Petrinje, oko 50 kilometara jugoistočno od Zagreba. Hipocentar potresa nalazio se na dubini od oko 10 kilometara, što ga čini plitkim potresom, a plitki potresi obično uzrokuju veću štetu na površini. Epicentralno područje je u pravcu konfliktnog pomicanja dinarida prema sjeveru i suprotnom gibanju panonske mikroploče prema jugu. Rasjed je upravo na granici bivšeg Panonskog mora. Petrinjski potres je nastao kao posljedica plitkog tlačno-posmičnog sudara unutar euroazijske ploče, na granici suprotnog gibanja dinarske i panonske mikroploče. Potres je trajao nekoliko sekundi, no njegovi razorni učinci osjetili su se diljem Hrvatske, pa čak i u susjednim zemljama. Važne parametre potresa Petrinja magnitude  $M_w$  6.4 procijenile su brojne institucije. Prema analizi Američkog geološkog zavoda, vršno ubrzanje tla (PGA) je iznosilo 114% gravitacije, a vršna brzina tla (PGV) je iznosila 0.813 m/s, sa žarištem potresa 13.5 km ispod Zemljine površine. Procijenjeno je da je PGA iznosila najmanje 50% gravitacije unutar radijusa od 9 km od epicentra (slika 3.), PGV najmanje 0.2 m/s unutar radijusa od 24 km (slika 4.) i PSA (vršno spektralno ubrzanje za  $T=0.3s$ ) najmanje 50% gravitacije unutar radijusa od 22km (slika 5.).



Slika 3. Vršno ubrzanje tla (PGA) za petrinjski potres



Slika 4. Vršna brzina tla (PGV)



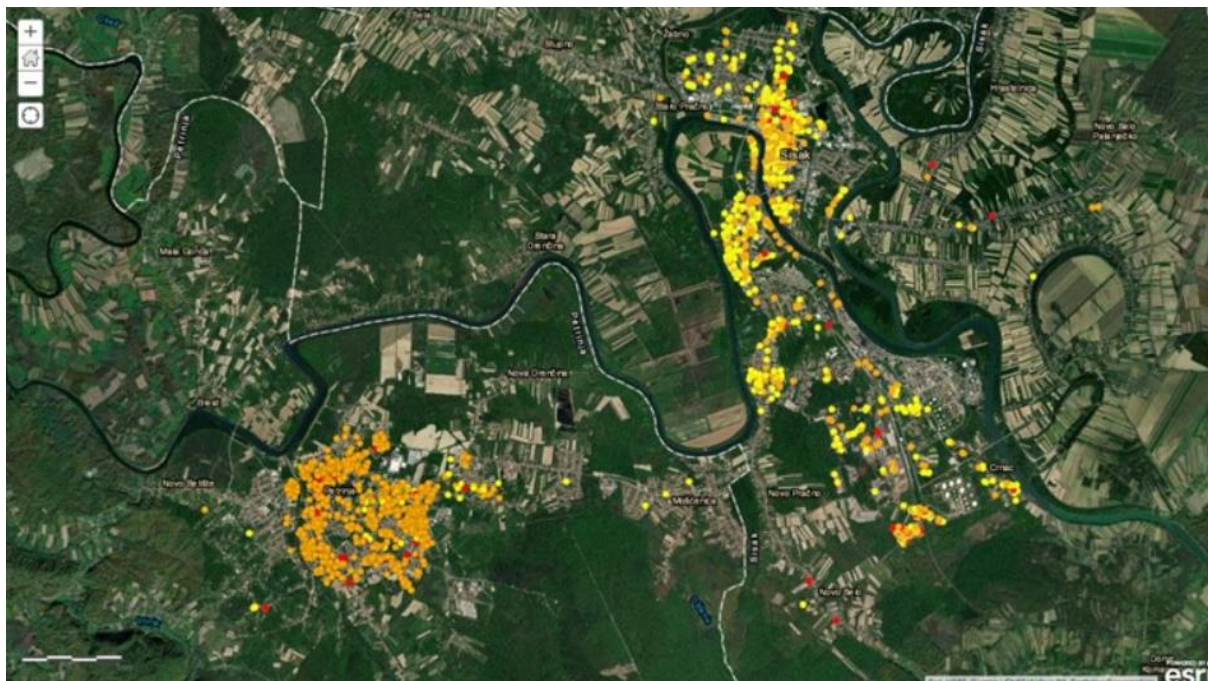
Slika 5. Vršno spektralno ubrzanje (PSA) za  $T=0.3s$

#### 1.4. Utjecaj potresa na infrastrukturu

Potres u Petrinji 29. prosinca 2020. godine imao je značajan i razoran utjecaj na infrastrukturu u pogođenom području. S magnitudom od 6.4, ovaj potres je prouzročio široko rasprostranjene štete na zgradama, cestama, mostovima i komunalnim uslugama. Jedna od najočitijih posljedica bila je razaranja stambenih i poslovnih objekata (slika 6.). Mnoge zgrade, uključujući stambene kuće, višestambene zgrade, škole, bolnice i kulturne spomenike, bile su potpuno uništene ili ozbiljno oštećene. U Petrinji, Sisku, Glini i okolnim selima, mnogi stanovnici ostali su bez krova nad glavom. Stradale su i povijesne građevine koje su bile simboli kulturne baštine tih područja, što je dodatno otežalo emocionalni i kulturni oporavak zajednice. Infrastruktura komunalnih usluga također je pretrpjela teške štete. Električna mreža, vodovod i kanalizacija bili su ozbiljno oštećeni, što je dovelo do prekida opskrbe električnom energijom, vodom i plinom u mnogim područjima. Popravci ovih sustava zahtijevali su brzu intervenciju kako bi se osigurao normalan život za pogođene stanovnike, no zbog razmjera štete, mnoge su usluge bile privremeno nedostupne ili su radile s ograničenim kapacitetom. Prekid komunikacijskih mreža dodatno je otežao koordinaciju hitnih službi i distribuciju pomoći. Cestovna infrastruktura također je pretrpjela znatne štete. Ceste su bile oštećene, mnoge su bile blokirane zbog urušenih zgrada i klizišta,



a mostovi su pretrpjeli strukturna oštećenja, što je otežalo ili onemogućilo prolaz vozilima hitnih službi i dostavu pomoći. Oštećenja cesta i mostova zahtijevala su opsežne popravke i obnovu kako bi se ponovno uspostavila normalna prohodnost i prometna povezanost između pogođenih područja. Uz sve navedene materijalne štete, potres je imao i značajan socioekonomski utjecaj.



Slika 6. Oštećeni objekti nakon potresa u Petrinji

## 2. METODOLOGIJA PROCJENE BROJA OŠTEĆENJA NA KANALIZACIJSKOJ MREŽI GRADA PETRINJE

Najčešći metodološki postupak procjene oštećenja na vodoopskrbnoj mreži uključuje primjenu vlastito razvijenih ili literaturno preuzetih „funkcija ranjivosti“. Funkcija ranjivosti je metoda kojom se pomoću empirijski utvrđenog izraza procjenjuje stupanj oštećenja cjevovodne mreže, a u pravilu se iskazuje kao broj oštećenja (puknuća i prekomjernih deformacija koje ne omogućuju ispravno funkcioniranje te zahtijevaju sanaciju tj. popravak) po jedinici duljine kanalske mreže. Funkcijom ranjivosti se, dakle, uspostavlja funkcijski odnos između broja oštećenja na kanalizacijskoj mreži i stupnja pobude tla uslijed seizmičkog događaja, najčešće putem vršne horizontalne brzine tla (PGV) ili vršnog horizontalnog ubrzanja tla (PGA).

Metodologija procjene oštećenja se sastoji od dva postupka koji podrazumijevaju izvođenje same funkcije ranjivosti te njenu primjenu. Procjena oštećenja primjenom izvedene funkcije ranjivosti se razlikuje ovisno o namjeni analize, pri čemu se u okviru protupotresnog projektiranja vodoopskrbne mreže razmatra više scenarija, a procjena se ostalih oštećenja nakon konkretnog seizmičkog događaja provodi prema izmjerenim parametrima seizmičke pobude. Procjenom oštećenja nakon konkretnog seizmičkog događaja nastoji se primjenom izvedenih funkcija ranjivosti ustanoviti broj novonastalih oštećenja.

Metodološki postupak izrade funkcije ranjivosti podrazumijeva:

- prikupljanje osnovnih tehničkih podataka o vodoopskrbnoj mreži, prvenstveno cijevnih materijala i promjera te trasa samih dionica
- prikupljanje parametara o seizmičkim događajima koji su se dogodili i s njima povezanim oštećenjima na vodoopskrbnoj mreži
- statističku analizu utjecaja parametara seizmičke pobude na javljanje evidentiranih oštećenja
- definiranje funkcija ranjivosti u ovisnosti deformacija tla (PGV, PGA i PGD)
- definiranje oblika i parametara funkcija ranjivosti za one tehničke karakteristike za koje je utvrđena statistička značajnost.

U svakom od navedenih koraka se primjenjuju statističke, grafičke i računalne metode te postupci čija primjena ovisi o dostupnosti i kakvoći relevantnih podataka. Postupak procjene oštećenja se sastoji od procjene specifičnog srednjeg broja oštećenja vodoopskrbne mreže funkcijama ranjivosti kroz jedan ili više scenarija seizmičkog događaja, s procjenom stupnja gubitka funkcionalnosti opskrbe, a ponekad i procjene nesigurnosti u procjeni srednjeg

stupnja oštećenosti s obzirom na korištene funkcije ranjivosti te procjene ukupne štete na vodoopskrbnoj mreži, tj. procjene troškova sanacije ili zamjene dijela vodoopskrbne mreže.

## **2.1. Funkcije ranjivosti**

Funkcijama ranjivosti se mogu uzeti u obzir oštećenja nastala uslijed širenja seizmičkih valova te oštećenja uslijed deformacija tla koja se najčešće ogledaju kroz pojavu klizišta, rasjeda, slijeganja i likvefakcije tla. Drugačijim oblicima funkcija ranjivosti mogu se odrediti i vjerojatnosti postizanja ili prekoračenja nekog nepoželjnog stanja uvjetovanog stupnje pobude tla. Oštećenja kanalizacijske mreže uslijed potresa mogu se pripisati i privremenim i trajnim deformacijama tla. Privremene deformacije nastaju kao rezultat širenja različitih seizmičkih valova, pri čemu nastale štete uzimaju u obzir učinak širenja valova ili efekta podrhtavanja tla. Oštećenje cjevovoda 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. Relativni odnos ovih deformacija određuje koja će deformacija tla imati prevladavajući utjecaj. Privremene deformacije općenito uzrokuju mnogo manje razine naprezanja i deformacija cjevovoda, ali budući da obuhvaćaju šire područje oštećenja na cjevovodima, mogu biti dominantna. Ovakva oštećenja opažaju se kada postoji pulsacija vršne brzine tla ili gdje karakteristike tla utječu na povećanje pomaka cjevovoda. Obično se za cjevovodne 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 cijevi, oblikovnih komada i armatura te revizijskih okana. Također, uslijed trajnih deformacija, može se očekivati da će 80-85% oštećenja biti nova puknuća koja dovode do gubitka hidrauličkog potencijala kanalizacijske mreže.

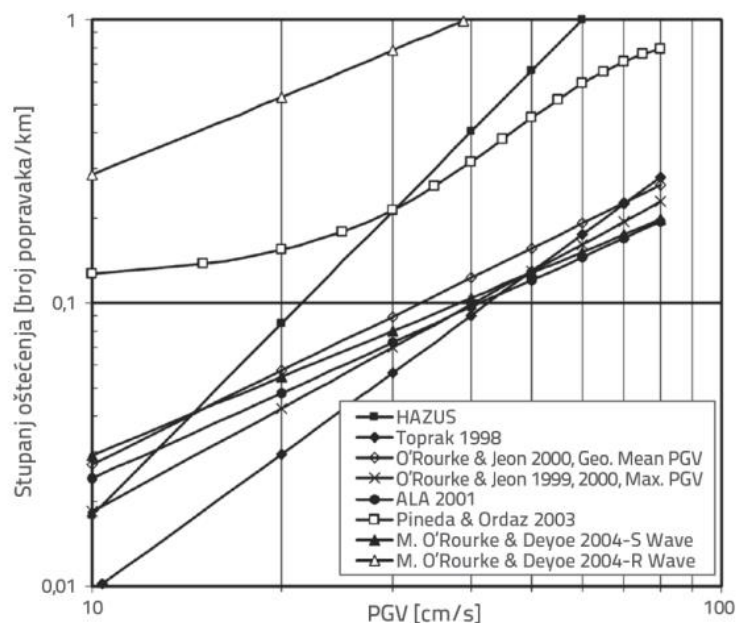
### **2.1.1. Povijest funkcija ranjivosti**

Katayama i suradnici su 1975.godine izveli jednu od najranijih korelacija između seizmičkih parametara, konkretno PGA i oštećenja cjevovoda, a pri čemu se nisu razlikovala oštećenja nastala od privremenih i trajnih deformacija tla. Eguchi i suradnici su 80-ih godina korelirali stupanj oštećenosti cjevovoda sa stupnjevima Mercallijevog intenziteta te preporučili da se vrednuju samo oštećenja od propagacije seizmičkih valova. Nadalje, njihove su funkcije ranjivosti razvijene za lijevano željezne i zavarene čelične cijevi. Također, pod pretpostavkom da će prevladavati kvarovi na spojevima, usvojeno je i to da će azbestnocementni cjevovodi i zavareni čelični cjevovodi imati sličan stupanj oštećenosti kao cjevovodi od sivog lijeva.

Barenberg je 1989. godine predložio da oštećenja cjevovoda budu u korelaciji s privremenim deformacijama tla u potresnom području niskog intenziteta, konkretno s vršnom horizontalnom brzinom tla, te u korelaciji s trajnim deformacijama u potresnom području s izraženim trajnim deformacijama kao što su vidljivi površinski rasjedi i likvefakcija. O'Rourke i Ayala su 1993. godine proširili Barenbergove rezultate s cjevovodima većih profila (DN 500 - DN 1800) od sivog lijeva, azbestcementnim cjevovodima te armiranobetonskim cjevovodima. Ova istraživanja usvojila je 1999. godine i američka Savezna agencija za upravljanje u kriznim situacijama u okviru Metodologije za procjenu šteta od katastrofa (engl. Methodology for Estimating Potential Losses from Disasters - HAZUS) kao metodu procjene nastalih oštećenja uslijed potresa. Honegger i Eguchi su 1992. godine na temelju analize podataka četiriju potresa definirali utjecaj trajnih deformacija tla na javljanje oštećenja na vodoopskrbnoj mreži, pri čemu su kroz deformacijsko ponašanje cijevnog materijala uzete u obzir krute i elastične cijevi. Toprak i O'Rourke su u radovima iz 1998. godine na temelju obrade većeg broja seizmičkih podataka i gotovo 12.000 km vodoopskrbne mreže na području Los Angelesa, utvrdili statistički najznačajnije korelacije između broja oštećenja i vršne horizontalne brzine tla. Izrazi su razvijeni prije svega za oštećenja cjevovoda od sivog lijeva, iako je napravljena i ograničena usporedba s oštećenjima za druge vrste cijevnih materijala. Također su uzeli u obzir i utjecaj promjera pa su izrazi grupirani za promjere  $DN \leq 600$  i za promjere  $DN > 600$ . Eidinger, J. je 2001. godine predložio dvije funkcije ranjivosti: jednu za utjecaj prolaska seizmičkih valova i drugu za utjecaj trajnih deformacija tla na pojavu novih oštećenja na mreži. Navedene funkcije ranjivosti dane su za prosječan broj oštećenja na 100 [m] vodoopskrbne mreže za različite cijevne materijale te male ( $\leq DN 300$ ) i velike ( $\geq DN 400$ ) promjere. U okviru projekta smanjenja rizika za komunalne i transportne sustave uslijed prirodnih opasnosti (engl. The American Lifelines Alliance - ALA), američki National Institute of Building Sciences je preuzimanjem Eidingerovih rezultata te analizom podataka seizmičkih događaja iz SAD-a, Japana i Meksika, razvio funkcije ranjivosti u ovisnosti vršne brzine tla, trajne deformacije tla, cijevnog materijala, promjera te korozivnosti tla. Te funkcije ranjivosti koristi i računalni program HAZUS-MH koji se za ovakve procjene uobičajeno koristi na području SAD-a. Također, izrađivači preporučuju razvijene funkcije ranjivosti kada nisu poznati tehnički podaci o materijalu cijevi, načinu spajanja, promjerima i stanju korozije. O'Rourke i Deyoe su 2004. godine istraživali razlike između funkcija ranjivosti koje su osmislili FEMA (HAZUS) i drugi autori, pri čemu su zaključili da su najznačajnije razlike rezultat korištenih skupova podataka koji se odnose na vrstu seizmičkog vala, konkretno na razlike između utjecaja sekundarnih (transverzalnih valova kod kojih čestice tla vibriraju okomito na smjer širenja vala) i Rayleighjevih valova (kod kojih se čestice gibaju u vertikalnoj ravnini, po eliptičnoj putanji u smjeru obrnutom od smjera širenja seizmičkog vala). O'Rourke i suradnici su 2014.



godine definirali funkcije ranjivosti za medijan potrebnih popravaka po 1 [km] azbestcementnih i lijevanoželjeznih cijevi izloženih privremenim deformacijama tla, a u zavisnosti srednje vrijednosti od dvije vršne horizontalne brzine tla svih relevantnih mjerenja. Halfaya i suradnici su predložili indeks ranjivosti vodoopskrbne mreže na temelju proširenja bilo koje funkcije ranjivosti korekcijskim koeficijentima kojima se u obzir uzimaju promjeri cijevi od DN 1100, različite vrste materijala i pripadajuće vrste spoja te postojanja likvefakcije tla. Lee i suradnici su 2020. godine predložili proširenu ALA metodu dodatnim koeficijentima kojima su uzeli u obzir vrstu cijevnog materijala, promjer cijevi, uvjete ugradnje te također postojanje likvefakcije tla. Ako se uspoređi procjena oštećenja navedenih najčešće korištenih funkcija ranjivosti s obzirom na privremene deformacije tla, dobiva se odnos prikazan na slici 7. Iz priloženog dijagrama vidi se da dvije funkcije ranjivosti (prema Pinedi i Ordazu te O'Rourke i Deyoeu za Rayleighjeve valove) znatno odstupaju u procjenama već za početne vrijednosti PGV, dok funkcija ranjivosti prema Topraku predviđa izrazito visoke vrijednosti oštećenja za veće vrijednosti PGV. Ostale funkcije ranjivosti u najvećem rasponu vrijednosti za PGV poprimaju relativno slične stupnjeve oštećenosti, a što implicira na veću sigurnost u izradi procjene oštećenja kada nije moguće definirati funkcije ranjivosti za konkretan vodoopskrbni sustav.



Slika 7. Grafički prikaz relativne usporedbe broja oštećenja na vodoopskrbnoj mreži prema najčešće korištenim funkcijama ranjivosti

## 2.2. Primjena funkcija ranjivosti prema različitim metodama

Funkcije ranjivosti koje su izložene prvenstveno su razvijene za specifične seizmičke događaje i određene tehničke karakteristike vodovodne mreže, stoga se ne mogu nekritički koristiti za procjenu štete u svim seizmičkim situacijama. Važno je napomenuti da su dostupne informacije o ovim funkcijama bile ograničene, uglavnom zbog relativno malog broja analiziranih potresa, pripadajućih oštećenja na vodovodnoj mreži, te prisutnosti izmjerenih seizmičkih parametara. Korelacija između broja nastalih oštećenja ili potrebnih popravaka i procijenjenih seizmičkih parametara, kao što je intenzitet prema Mercalli-Cancani-Siebergovoj (MCS) ljestvici, podložna je značajnim nesigurnostima. Intenzitet prema MCS ljestvici predstavlja subjektivnu mjeru seizmičkog događaja, a i opseg područja na kojem se određeni intenzitet primjećuje također je stvar subjektivne prosudbe. Među različitim zabilježenim seizmičkim parametrima, statistički su najznačajnije korelacije pronađene za vršne horizontalne brzine tla (PGV). Ove korelacije proizlaze iz aksijalnih deformacija tla uzrokovanih širenjem seizmičkih valova, pri čemu se cjevovod deformira u skladu s relativnim pomakom između njega i okolnog tla. PGV se definira na tri načina: kao veća od dviju horizontalnih komponenti brzine tijekom potresa, kao geometrijska sredina najvećih horizontalnih komponenti brzine, te kao najveća pojedinačno zabilježena horizontalna vrijednost brzine. Glavni razlog zašto je PGV bolji pokazatelj oštećenja cjevovoda u usporedbi s PGA leži u njegovoj povezanosti s deformacijom tla. PGV bolje odražava odziv tla tijekom vremena nego PGA, što ga čini pogodnim za upotrebu u determinističkim modelima. Stoga je PGV najčešće korišten seizmički parametar pri procjeni šteta na vodovodnim mrežama uzrokovanih seizmičkim djelovanjem. Zbog toga će se za procjenu oštećenja na dotičnom području analizirati samo funkcije ranjivosti temeljene na PGV. Drugi relevantni parametri koje treba uzeti u obzir u izvedenim funkcijama ranjivosti uključuju vrstu cijevnog materijala, vrstu spoja i promjere cijevi. Određene funkcije ranjivosti, posebno one razvijene u okviru metoda ALA i HAZUS, procjenjuju oštećenja prema ovim kriterijima. Dok za druge relevantne parametre poput starosti i fizičkog stanja vodovodne mreže, mehaničkih i kemijskih uvjeta tla, te tlačnih uvjeta, postoje posebne funkcije ranjivosti, za analizirano područje nisu dostupni odgovarajući podaci. Posljednjih dvadesetak godina, nova izgradnja te sanacija ili rekonstrukcija postojećih vodovodnih mreža temelje se na korištenju plastičnih cijevnih materijala, osobito polietilena visoke gustoće (PEHD), koji sve više zamjenjuje PVC. Iako do danas nema empirijskih dokaza o seizmičkim performansama plastičnih PE cijevi u vodovodnim sustavima, ograničena iskustva u plinskim distribucijskim sustavima pokazuju dobre rezultate. Ograničena ispitivanja PE cijevi pod tlakom pokazala su da njihovi deformacijski kapaciteti prije pucanja

premašuju nominalne vrijednosti za 25% pri vlačnom i 10% pri tlačnom naprezanju, što ukazuje na relativno dobru seizmičku otpornost. Također, samo nekoliko istraživanja o utjecaju seizmičkih događaja procjenjivalo je otpornost PE cijevi na oštećenja u odnosu na druge materijale. Rezultati pokazuju da je stupanj oštećenosti za PE cijevi manji od 0.5 [1/km], dok je za nodularni lijev 1.0 [1/km], za čelik između 2.4 i 2.6 [1/km], za PVC 2.6 [1/km], za sivi lijev 3.3 [1/km], a za azbestcement 4.5 [1/km]. Osim toga, PE nije podložan koroziji, no postoje neke zabrinutosti oko zdravstvenih posljedica dugotrajne upotrebe. Za procjenu oštećenja na vodovodnim mrežama preporučuju se metode HAZUS-a i Honegger-Eguchijeva metoda.

### 2.2.1. ALA metoda

Funkcije ranjivosti prema ALA metodi se definiraju izrazima:

$$R_p = K_1 \cdot 0.002416 \cdot PGV$$

$$R_t = K_2 \cdot 2.5831 \cdot PGD^{0.309}$$

gdje su:  $R_p$  - prosječan broj oštećenja uslijed privremenih deformacija tla na 1 [km] mreže,  $R_t$  - prosječan broj oštećenja uslijed trajnih deformacija tla na 1 [km] mreže,  $PGV$  - vršna horizontalna brzina tla u [cm/s],  $PGD$  - trajno pomicanje tla nakon potresa u [m] i  $K_1$  i  $K_2$  su koeficijenti koji u obzir uzimaju vrstu cijevnog materijala, spojeva, korozivnost tla i promjer cijevi (tablica 1.)

Tablica 1. Vrijednosti koeficijenata  $K_1$  i  $K_2$  prema Eidingeru uz dopunu prema drugim autorima

MATERIJAL	SPOJ	TLO	PROMJER	$K_1$	$K_2$
Sivi lijev	cement	sva tla	≤ DN 300	1.0	1.0
	cement	korozivno	≤ DN 300	1.4	1.0
	cement	nekorozivno	≤ DN 300	0.7	1.0
	gumena brtva	sva tla	≤ DN 300	0.8	0.8
	mehaničke spojnice	sva tla	≤ DN 300	0.7	0.7
Čelik	zavareni preklop	sva tla	≤ DN 300	0.6	0.15
	zavareni preklop	korozivno	≤ DN 300	0.9	0.15
	zavareni preklop	nekorozivno	≤ DN 300	0.3	
	zavareni preklop	sva tla	≥ DN 400	0.15	0.15
	gumena brtva	sva tla	≤ DN 300	0.7	0.7
	vijčani spoj	sva tla	≤ DN 300	1.3	
	zakovice	sva tla	≤ DN 300	1.3	
Azbest cement	cement	sva tla	≤ DN 300	1.0	1.0
	gumena brtva	sva tla	≤ DN 300	0.8	0.8
Arm. beton (čelič. cilindar)	zavareni preklop	sva tla	≥ DN 400	0.7	0.6
	cement	sva tla	≥ DN 400	1.0	1.0
	gumena brtva	sva tla	≥ DN 400	0.8	0.7
PVC	gumena brtva	sva tla	≤ DN 300	0.5	0.8
Nodularni lijev (duktil)	gumena brtva	sva tla	≤ DN 300	0.5	0.5

### 2.2.2. HAZUS (O'Rourke i Ayala) metoda

Ova metoda je preporučena za procjenu oštećenja nastalih uslijed privremenih deformacija tla,  $R_p$  [1/km], koristeći izraz:

$$R_p = K_3 \cdot 0.0001 \cdot PGV^{2.25}$$

gdje je: PGV - vršna horizontalna brzina tla u [cm/s] te  $K_3$  koeficijent ovisan o deformacijskom ponašanju cijevnog materijala koji prima vrijednost 1.0 za krute cijevne materijale (sivi lijev, beton, azbestcement) te 0.3 za elastične cijevne materijale (nodularni lijev, polivinil-klorid, čelik).

### 2.2.3. Honegger-Eguchijeva metoda

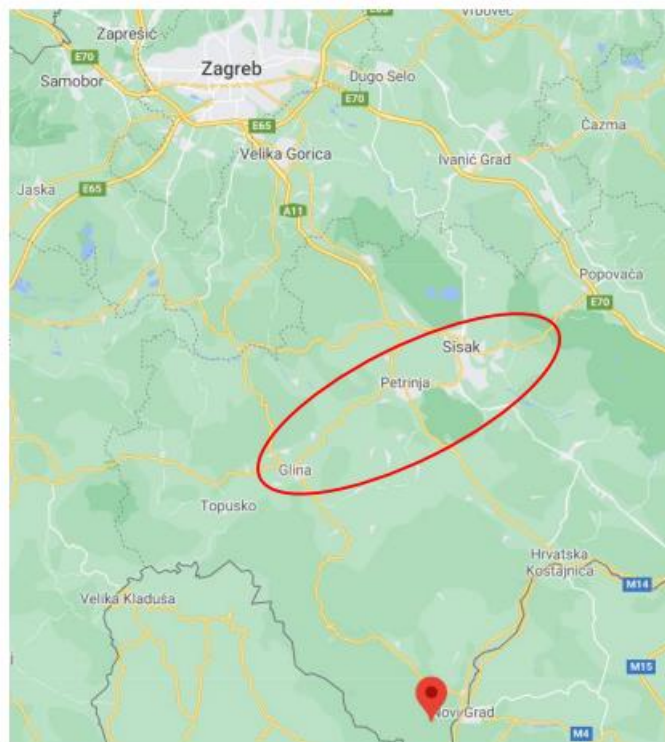
Ova metoda se koristi za procjenu oštećenja nastalih uslijed trajnih deformacija tla,  $R_t$  [1/km], prema izrazu:

$$R_t = K_3 \cdot 7.821 \cdot PGD^{0.56}$$

gdje je PGD trajno pomicanje tla nakon potresa u [cm], a koeficijent  $K_3$  poprima vrijednost kao u HAZUS metodi.

### 3. ANALIZA ULAZNIH PODATAKA FUNKCIJA RANJIVOSTI

Za potrebe ovog rada korištena su izvješća o potresima od 28. i 29. prosinca 2020., koje je objavila Seizmološka služba pri Geofizičkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Zagrebu. Vrijednosti parametara seizmičke pobude zabilježene su na mjernoj stanici Čerkezovac te na akcelerografima na šest mjernih stanica u području grada Zagreba.



Slika 8. Lokacija mjerne stanice Čerkezovac u odnosu na Sisak, Petrinju i Zagreb

Vrijednosti maksimalnih horizontalnih akceleracija i brzina na području epicentra potresa te gradova Petrinje, Siska i Gline nisu zabilježene jer na navedenim područjima ne postoje mjerne stanice. Udaljenosti spomenutih mjernih stanica od epicentra seizmičkih događaja na tom području navedene su u tablici 2.

Tablica 2. Podaci seizmičkih mjernih stanica Grada Zagreba s vrijednostima parametara PGA, PGV i PGD na temelju zapisa akcelorograma

Mjerna stanica	Geo. širina j [°N]	Geo. dužina I [°E]	Nadmorska visina [km]	Epicentralna udaljenost [km]	Komponenta zapisa (smjer gibanja tla) gore-dolje (Z), sjever-jug (N) i istok-zapad (E)	$PGA_{corr}$ [cm/s <sup>2</sup> ]	$PGV_{corr}$ [cm/s]	$PGD_{corr}$ [cm]
Zagreb 1	45,777	15,993	0,1	45,462	Z	45,482	2,160	0,859
					N	93,358	7,792	2,768
					E	79,973	<b>8,490</b>	<b>4,214</b>
Zagreb 2	45,827	15,987	0,179	50,775	Z	57,450	2,664	0,796
					N	97,696	5,240	1,791
					E	106,458	<b>6,399</b>	<b>2,954</b>
Zagreb 3	45,914	16,103	0,264	57,795	Z	122,490	3,574	0,664
					N	243,165	<b>9,586</b>	1,021
					E	162,763	6,072	0,937
Zagreb 4	45,808	15,999	0,115	48,503	Z	42,681	2,427	0,862
					N	124,275	5,960	2,309
					E	95,777	<b>6,234</b>	<b>2,870</b>
Zagreb 5	45,811	15,879	0,122	52,754	Z	36,999	1,743	0,500
					N	112,538	6,728	1,372
					E	127,554	<b>7,483</b>	<b>2,508</b>
Zagreb 6	45,907	15,968	0,994	59,654	Z	19,697	1,244	0,549
					N	38,826	1,776	0,797
					E	27,842	2,340	1,247

Za izradu procjene oštećenja vodoopskrbne mreže korištene su izmjerene vrijednosti potresa magnitude 6.2. 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 prikazani u tablici 2. U nastavku teksta će se ove korigirane vrijednosti, kao i do sada, navoditi kao PGA, PGV i PGD.

Na mjernoj stanici Čerkezovac najveća vrijednost PGA na površini je zabilježena za komponentu istok-zapad u iznosu 0.5 [m/s<sup>2</sup>], tj. oko 5% akceleracije sile teže, a što je višestruko manje zabilježeno ubrzanje nego ubrzanje zabilježeno na području grada Zagreba (mjerna stanica Zagreb 3 s iznosom PGA od 2.4 [m/s<sup>2</sup>]). Budući da nisu dostupni podaci o prostornom rasporedu vrsta tla u analiziranom području i njihovom utjecaju na širenje i deformacije seizmičkih valova, a što bi omogućilo preciznije određivanje vrijednosti PGV i PGD, koristit će se maksimalno zabilježene vrijednosti sa šest mjernih stanica na području grada Zagreba za procjenu. Pri tome će se pretpostaviti dvostruko veća vrijednost, s obzirom da veća vrijednost PGV i PGD reflektira veće vrijednosti intenziteta na tom području. Ova pretpostavka možda ne odgovara stvarnim uvjetima, odnosno ne može se potvrditi relevantnim mjerenjima. Međutim, na temelju objavljenih studija koje su analizirale odnos između vršnog ubrzanja tla i intenziteta, pretpostavlja se da razlika u intenzitetu od dva do tri stupnja rezultira najmanje dvostrukom razlikom u vrijednosti PGA. Uz ovu računsku pretpostavku, oštećenja na vodovodnoj mreži mogu se smatrati kao donja i gornja

granica oštećenja, odnosno konzervativna procjena i procjena najvećeg broja oštećenja. Ovakav pristup je prihvaćen kako bi se obuhvatio raspon mogućih oštećenja i pružila što realnija procjena. Na temelju navedenog, oštećenja će se zasnivati na najvećoj zabilježenoj vrijednosti PGV od 9.6 [cm/s] i pretpostavljenoj vrijednosti od 19.2 [cm/s], odnosno na najvećoj zabilježenoj vrijednosti PGD od 4.2 [cm] i pretpostavljenoj vrijednosti od 8.4 [cm].

### **3.1. Stanje postojeće „stare“ kanalizacijske mreže prije potresa**

Grad Petrinja ima kanalizacijski sustav mješovitog tipa koji se sastoji od više manjih podsustava koji izravno ispuštaju sanitarno-fekalne, industrijske otpadne i oborinske vode u rijeke Kupu i Petrinjčicu, otvorene kanale melioracijske i oborinske odvodnje, te prirodne depresije. Ukupno je izgrađeno oko 44 km glavnih i sekundarnih kanala, uglavnom od betonskih i armirano-betonskih cijevi, dok je u proteklih pet godina izvedeno 3.8 km termoplastičnih cijevi (PVC i PEHD) izvan EU projekata. Postojeći sustav odvodnje ima prosječnu visoku starost. U tablici 3. prikazani su profili betonskih kanala s odgovarajućim duljinama u sustavu, pri čemu je najveći udio glavnih kolektora profila DN 500, dok je najveći udio na sekundarnoj mreži s profilom DN 400. Postepena izgradnja sustava javne odvodnje često je bila bez odgovarajućih hidrauličkih proračuna i konzistentnog koncepta, što je rezultiralo slabom funkcionalnošću kanalizacijskog sustava, osobito u svjetlu novonastalih potresnih šteta i implementacije EU projekta. Pri intenzivnim oborinama kanalizacija u gradskoj jezgri Petrinje često radi na rubu kapaciteta, što uzrokuje povremena plavljenja i prijetnju ljudskom zdravlju i imovini. Od 2006. godine, tvornica "Gavrilović" ima izgrađen zaseban sustav odvodnje otpadnih voda s uređajem za djelomičnu obradu, a u planu je i izgradnja vlastitog sustava kanalizacije te UPOV-a s ispuštanjem u rijeku Kupu odvojeno od ostalih otpadnih voda u aglomeraciji Petrinja. Svi industrijski pogoni moraju za svoje otpadne vode osigurati vlastite sustave i uređaje ili ih dovesti do razine prikladne za javni sustav odvodnje. Na postojećem sustavu odvodnje nema crpnih stanica niti sustava za pročišćavanje otpadnih voda, a do sada nisu provedena nikakva mjerenja različitih parametara. Otpadne vode se ispuštaju izravno u rijeke Kupu i Petrinjčicu. Postojeći sustav pokriva oko 63% naselja Petrinja s priključenjem oko 89%, odnosno 3123 priključka na javni sustav odvodnje, pokrivajući oko 8983 stanovnika. Prema studiji izvodljivosti iz 2016. godine, kako bi se pokrivenost povećala na 100%, potrebno je izgraditi kompletne sustave odvodnje u naseljima Novo Selište, Moščenica, Nova Drenčina, Brest Pokupski, Mala Gorica, Hrastovica i Taborište. Izgradnja ovih sustava trenutno je u tijeku u sklopu EU projekta aglomeracije Petrinja. Postojalo je nekoliko glavnih problema detektiranih na postojećem sustavu odvodnje na području grada Petrinje prije potresnih razaranja, a koji bi se trebali u

većoj mjeri učinkovito riješiti izgradnjom i rekonstrukcijom cjelovitog sustava u sklopu EU projekta i njegovim puštanjem u pogon:

- Intenzivne oborine uzrokuju poplavljanje terena, što predstavlja rizik za ljudsko zdravlje i imovinu. Glavni uzroci su nedovoljni hidraulički kapaciteti dijelova postojeće kanalizacijske mreže i uspori u protoku zbog visokih vodostaja rijeke Kupe i Petrinjčice.
- Nedostatak kišnih preljeva i kišnih retencija koji bi omogućili rasterećenje sustava odvodnje i privremeno zadržavanje dijela vodnog vala pri intenzivnijim oborinama dovodi do opterećenja nizvodnih dijelova sustava.
- Povećana infiltracija stranih voda u sustav odvodnje rezultat je činjenice da je većina kanalske mreže u gradu Petrinji izgrađena od betonskih cijevi s utor-pero spojem, starijih su konstrukcija. Kada se podzemne vode podižu, veće količine podzemnih voda ulaze u sustav.

Iako u gradu postoje nasipi za zaštitu od poplava uz glavne vodotoke Kupu i Petrinjčicu, na ušću Petrinjčice u Kupu neizbježan je nastanak usporavanja i povrata voda unutar sustava. Na postojećem sustavu odvodnje nedostaju retencijski objekti, što uzrokuje brže dosezanje kapaciteta kanalske mreže pri većem intenzitetu oborina. Kao rezultat, otpadne vode izljevaju se iz sustava odvodnje kroz poklopce kontrolnih okana i slivnike, što dovodi do plavljenja ulica. U slučaju da otpadne vode istječu kroz sifone u podrumskim i prizemnim prostorijama stambenih objekata, može doći do plavljenja samih objekata.



Tablica 3. Profili kanala s pripadnim duljinama u postojećem sustavu odvodnje

Broj	Promjer (mm)	Duljina mreže			Ukupna duljina (m)
		Beton	Azbest-cement	PVC/PE/PP	
<b>GLAVNI KOLEKTORI SUSTAVA ODVODNJE I KOLEKTORI PODSLIVNIH PODRUČJA</b>					
1	Ø 200	88,65			88,65
2	Ø 300	331,24			331,24
3	Ø 400	1.706,65			1.706,65
4	Ø 400/500	369,82			369,82
5	Ø 400/600	1.392,94			1.392,94
6	Ø 500	3.951,34			3.951,34
7	Ø 500/700	528,09			528,09
8	Ø 500/750	2.030,21			2.030,21
9	Ø 600	720,23			720,23
10	Ø 700	905,82			905,82
11	Ø 700/1050	456,03			456,03
12	Ø 800	297,64			297,64
13	Ø 800/1200	576,50			576,50
14	Ø 900	176,38			176,38
15	Ø 900/1350	1.220,91			1.220,91
16	Ø 1000	1.493,06			1.493,06
17	Ø 1200/1800	654,35			654,35
<b>UKUPNO:</b>		<b>16.899,85</b>			<b>16.899,85</b>
<b>SEKUNDARNA MREŽA SUSTAVA ODVODNJE</b>					
18	Ø 300	1.952,49			1.952,49
19	Ø 350	114,12			114,12
20	Ø 400	14.438,21			14.438,21
21	Ø 400/600	1.203,02			1.203,02
22	Ø 500	3.022,38			3.022,38
23	Ø 500/750	619,35			619,35
24	Ø 600	1.693,84			1.693,84
25	Ø 700	194,44			194,44
26	Ø 800	93,38			93,38
<b>UKUPNO:</b>		<b>16.899,85</b>			<b>16.899,85</b>
<b>SVEUKUPNO:</b>		<b>40.231,08</b>			<b>40.231,08</b>

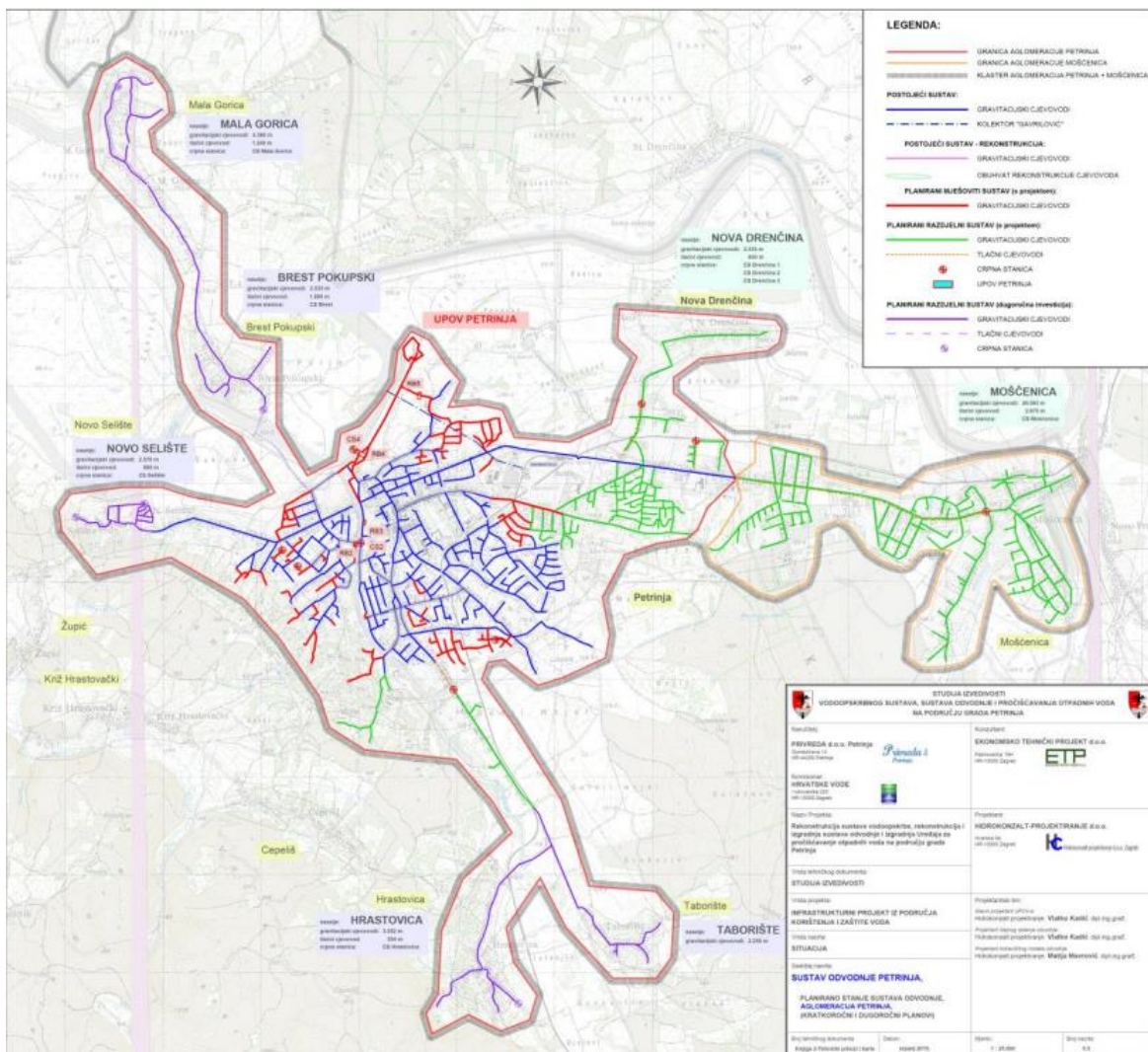
### 3.2. Stanje postojeće „nove“ kanalizacijske mreže prije potresa

Kako bi se unaprijedio postojeći sustav javne odvodnje u aglomeraciji Petrinja, provodi se EU projekt. Temelj za realizaciju ovog projekta čini dokument „Poboljšanje vodno-komunalne infrastrukture aglomeracije Petrinje – Studija izvodljivosti“ (Ekonomsko tehnički projekt d.o.o., Zagreb, 2016), u kojem su definirane tehničke mjere, procjena troškova i njihov utjecaj na financijsko poslovanje nadležnog isporučitelja vodnih usluga. Prije potresa bila je u tijeku izgradnja predviđenih tehničkih mjera, pri čemu je većina planiranih aktivnosti već provedena. Ističu se sljedeće aktivnosti:

- Izgradnja cjelovitih sustava razdjelne kanalizacije u naseljima Novo Selište, Moščenica, Nova Drenčina, Brest Pokupski, Mala Gorica, Hrastovica i Taborište, koja je trenutno u tijeku u sklopu EU projekta.
- Nadogradnja postojećeg mješovitog sustava javne odvodnje u gradu Petrinji.
- Rekonstrukcija i sanacija postojećeg mješovitog sustava javne odvodnje u gradu Petrinji.

Izgradnja centralnog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda aglomeracije Petrinja na području grada Petrinje uključuje sljedeće planirane i djelomično provedene aktivnosti:

- Rekonstrukcija postojećeg mješovitog sustava: Planirano je rekonstrukciju 5.3 km mreže, od čega je oko 3.1 km izvedeno, a oko 2.1 km pušteno u pogon.
- Nadogradnja mješovitog sustava odvodnje: Planirano je proširenje na 10.2 km, uključujući 3 crpne stanice, 5 retencijskih bazena, 5 kišnih preljeva i oko 400 kućnih priključaka, a do sada je izvedeno 7.2 km s 2 crpne stanice, 4 retencijska bazena, 4 kišna preljeva i oko 375 kućnih priključaka, ali još uvijek nisu pušteni u pogon.
- Nadogradnja razdjelnog sustava odvodnje: Planirano je proširenje sustava na 63.3 km, uključujući 14 crpnih stanica i 3725 kućnih priključaka. Do sada je izvedeno 60.6 km s 3725 kućnih priključaka, ali sustav još uvijek nije pušten u pogon.



Slika 9. Situacijski prikaz postojeće i planirane mreže sustava javne odvodnje aglomeracije Petrinja

## 4. PROCJENA BROJA OŠTEĆENJA

### 4.1. Procjena broja oštećenja na kanalizacijskoj mreži

U ovom poglavlju se prikazuje procijenjeni broj oštećenja na postojećoj kanalizacijskoj mreži grada Petrinje i Općine Lekenik. Procjena se temelji na odgovarajućim funkcijama ranjivosti koristeći najveće izmjerene vrijednosti vršne horizontalne brzine tla, PGV te trajnih deformacija tla, PGD na mjernim stanicama u Zagrebu. Procjena broja oštećenja koristeći te najveće izmjerene vrijednosti je prikazana u tablicama 5., 7. i 9. koristeći različite metode. Uz to, uzimaju se u obzir i pretpostavljene vrijednosti PGV i PGD za područje koje se razmatra, a to je prikazano u tablicama 6., 8. i 10. Rezultati koji se odnose na procjenu broja oštećenja na postojećoj kanalizacijskoj mreži prema pretpostavljenim vrijednostima PGV i PGD na razmatranom području imaju oznaku zvjezdice (\*) pored naziva metode procjene oštećenja. U navedenim tablicama procjena broja oštećenja dana je prema vrsti cijevnog materijala i pripadnim duljinama kanalizacijske mreže.

Od ukupno oko 115 kilometara postojeće kanalizacijske mreže, 71 kilometar čini novija mreža izgrađena u sklopu EU projekta aglomeracije Petrinja tijekom posljednjih nekoliko godina. Preostalih 44 kilometra odnosi se na "staru" kanalizacijsku mrežu, koja je uglavnom izgrađena od betonskih i armiranobetonskih cijevi, dok je manji dio, oko 3 kilometra, izveden od termoplastičnih cijevi (PVC i PEHD). Novija kanalizacijska mreža je u potpunosti izrađena od termoplastičnih (PEHD) i duroplastičnih (GRP) cijevi.

Tablica 4. Sumarni prikaz duljina postojeće kanalizacijske mreže prema vrstama cijevnog materijala

POSTOJEĆA KANALIZACIJSKA MREŽA		
Materijal	Duljina [km]	Postotak [%]
BETON	41	36
PVC/PEHD	63.6	55
GRP/PEHD	10.3	9
Sveukupno:	114.9	100

Za ALA metodu, koeficijenti K<sub>1</sub> i K<sub>2</sub> za betonske kanale preuzeti su na temelju vrijednosti koje su koristili drugi autori u svojim istraživanjima utjecaja seizmičkih događaja na oštećenja cjevovoda. Iako se ALA metoda prema preporukama Europske komisije primarno koristi za procjenu oštećenja na naftovodima i plinovodima, u ovom slučaju je primijenjena kako bi se procijenio raspon broja oštećenja na kanalizacijskoj mreži.

Tablica 5. Procjena broja oštećenja na kanalizacijskoj mreži sustava javne odvodnje aglomeracije Petrinja uslijed privremenih i trajnih deformacija tla prema ALA metodi za najveće izmjere vrijednosti PGV i PGD

Materijal	Duljina [km]	ALA					
		K <sub>1</sub> [1]	K <sub>2</sub> [1]	R <sub>p</sub> [1/km]	R <sub>t</sub> [1/km]	R <sub>p</sub> [1]	R <sub>t</sub> [1]
BETON	41	1.0	1.0	0.023	4.083	1	167
PVC/PEHD	63.6	0.5	0.8	0.012	3.266	1	208
GRP/PEHD	10.3	0.5	0.7	0.012	2.858	0	29
<b>Σ =</b>						<b>2</b>	<b>405</b>

Tablica 6. Procjena broja oštećenja na kanalizacijskoj mreži sustava javne odvodnje aglomeracije Petrinja uslijed privremenih i trajnih deformacija tla prema ALA metodi za procijenjene vrijednosti PGV i PGD na predmetnom području

Materijal	Duljina [km]	ALA*					
		K <sub>1</sub> [1]	K <sub>2</sub> [1]	R <sub>p</sub> [1/km]	R <sub>t</sub> [1/km]	R <sub>p</sub> [1]	R <sub>t</sub> [1]
BETON	41	1.0	1.0	0.046	4.695	2	192
PVC/PEHD	63.6	0.5	0.8	0.023	3.756	1	239
GRP/PEHD	10.3	0.5	0.7	0.023	3.286	0	34
<b>Σ =</b>						<b>3</b>	<b>465</b>

Procjena broja oštećenja koristeći dvostruko veće vrijednosti pretpostavljenih PGV i PGA u usporedbi s izmjerenim vrijednostima pokazuje da to povećanje ima manji utjecaj na ukupno povećanje broja oštećenja. Razlika u broju oštećenja procijenjenih na temelju pretpostavljenih vrijednosti PGV i PGD u odnosu na izmjerene vrijednosti iznosi oko 15%.

Tablica 7. Procjena broja oštećenja na kanalizacijskoj mreži sustava javne odvodnje aglomeracije Petrinja uslijed privremenih deformacija tla prema HAZUS metodi za najveće izmjere vrijednosti PGV

Materijal	Duljina [km]	HAZUS (O'Rourke - Ayala)		
		$K_3$ [1]	$R_p$ [1/km]	$R_p$ [1]
BETON	41	1.0	0.016	1
PVC/PEHD	63.6	0.3	0.005	0
GRP/PEHD	10.3	0.3	0.005	0
			$\Sigma =$	1

Tablica 8. Procjena broja oštećenja na kanalizacijskoj mreži sustava javne odvodnje aglomeracije Petrinja uslijed privremenih deformacija tla prema HAZUS metodi za procijenjene vrijednosti PGV na predmetnom području

Materijal	Duljina [km]	HAZUS (O'Rourke - Ayala)*		
		$K_3$ [1]	$R_p$ [1/km]	$R_p$ [1]
BETON	41	1.0	0.077	3
PVC/PEHD	63.6	0.3	0.023	1
GRP/PEHD	10.3	0.3	0.023	0
			$\Sigma =$	5

Rezultati dobiveni korištenjem prikazanih metoda procjene oštećenja privremenih deformacija tla pokazuju da prolaskom seizmičkih valova, pa čak i "L" valova koji uzrokuju većinu oštećenja površinskih objekata, ne treba očekivati značajnija oštećenja na kanalizacijskoj mreži. Zapravo nam to govori da privremene deformacije tla utječu na ukupni broj oštećenja na mreži s manje od 1%. Važno je napomenuti da se ove procjene temelje isključivo na usvojenim metodama i funkcijama ranjivosti.

Tablica 9. Procjena broja oštećenja na kanalizacijskoj mreži sustava javne odvodnje aglomeracije Petrinja uslijed trajnih deformacija tla prema Honneger-Eguchi metodi za najveće izmjerene vrijednosti PGD

Materijal	Duljina [km]	Honneger - Eguchi		
		$K_3$ [1]	$R_t$ [1/km]	$R_t$ [1]
BETON	41	1.0	17.470	716
PVC/PEHD	63.6	0.3	5.241	333
GRP/PEHD	10.3	0.3	5.241	54
			$\Sigma =$	<b>1104</b>

Prema procjeni broja novonastalih oštećenja temeljenoj na metodi Honnegera i Eguchija, može se zaključiti da su trajne deformacije tla prouzročile većinu oštećenja na predmetnoj kanalizacijskoj mreži. Uzimajući u obzir konzervativni pristup s najvećim izmjerenim vrijednostima deformacije tla, procjenjuje se da je na kanalizacijskoj mreži nastalo oko 1100 novih oštećenja. Prema procjeni izrađivača, većina tih oštećenja zahtijevat će zemljane radove, uključujući iskope, kako bi se omogućila sanacija.

Tablica 10. Procjena broja oštećenja na kanalizacijskoj mreži sustava javne odvodnje aglomeracije Petrinja uslijed trajnih deformacija tla prema Honneger-Eguchi metodi za procijenjene vrijednosti PGD na predmetnom području

Materijal	Duljina [km]	Honneger - Eguchi*		
		$K_3$ [1]	$R_t$ [1/km]	$R_t$ [1]
BETON	41	1.0	25.755	1056
PVC/PEHD	63.6	0.3	7.726	491
GRP/PEHD	10.3	0.3	7.726	80
			$\Sigma =$	<b>1627</b>

Ako se uzme u obzir prostorno povećanje vrijednosti parametara seizmičke pobude, odnosno PGD, prema epicentru analiziranog seizmičkog događaja, može se očekivati porast broja oštećenja na kanalizacijskoj mreži. Predviđa se da bi broj oštećenja mogao porasti za 47% u odnosu na konzervativnu procjenu koja se temelji na izmjerenim vrijednostima na području Grada Zagreba. Za razliku od ALA metode, Honneger-Eguchijeva metoda pokazuje znatno veći porast broja oštećenja s povećanjem vrijednosti PGD, što je u skladu s očekivanjima zato što između dviju vrijednosti magnitude potresa postoji logaritamski odnos, pri čemu svako povećanje magnitude oslobađa višestruko veće količine elastične energije, što dovodi do povećanja oštećenja na kanalizacijskoj mreži.

Raspon vrijednosti između analiziranih metoda nam govori da razlika u očekivanom broju oštećenja na kanalizacijskoj mreži može biti i do četiri puta veća. Donja granica iznosi oko 400 novonastalih oštećenja nakon analiziranog potresa, dok gornja granica iznosi oko 1600. Ako se uzme u obzir činjenica da je analiziranom potresu od 29. prosinca prethodio još jedan značajan potres magnitude 5.0 s epicentrom kod Petrinje 28. prosinca, te dva dodatna potresa magnitude 4.7 i 4.1 istog dana, može se pretpostaviti da je niz seizmičkih događaja rezultirao brojem oštećenja koji odgovara gornjoj granici procjena. Potrebno je napomenuti da stanje kanalizacijske mreže prije ovih seizmičkih događaja nije poznato.

Sva novonastala oštećenja se ne odnose isključivo na puknuća cjevovoda, već obuhvaćaju sva oštećenja na mreži, uključujući diferencijalne pomake na spojevima cijevi, spojevima s revizijskim oknima, te oštećenja na kućnim priključcima. Može se zaključiti da je nakon potresa 28. i 29. prosinca 2020. godine na predmetnom kanalizacijskom sustavu nastalo oko 1500 novih oštećenja.

## 5. EVALUACIJA BROJA NASTALIH OŠTEĆENJA

Potresna razaranja na području Grada Petrinje od kraja prosinca 2020. godine do danas, rezultirala su znatnim štetama na sustavu odvodnje u Petrinji, kako na "staroj" mreži tako i na novoj izgrađenoj u sklopu EU projekta, koja između ostalog do tog trenutka nije niti puštena u pogon. Štetu je također pretrpio i veliki broj objekata te dionica kanalske mreže. Dosadašnjim terenskim ispitivanjima provedenim od strane djelatnika isporučitelja vodnih usluga (Privreda d.o.o., Petrinja) ustanovljeno je da je tijekom potresnih razaranja došlo do urušavanja dijela kanalske mreže i objekata, njihove denivelacije te se stvaraju lokalni uspori s izdizanjem tlačne linije čiji značaj postaje veći pri pojavi oborina. Također su obavljene i CCTV inspekcije koje su omogućile detaljan pregled stanja cjevovoda i identifikaciju potencijalnih oštećenja. Snimanje hidrauličkih parametara izvršeno je na velikom broju različitih lokacija, čime su prikupljeni ključni podaci za analizu rada sustava. Također, provedena je geodetska izmjera koja je osigurala precizne podatke o položaju i visinskim karakteristikama mreže, što će biti od vitalnog značaja za daljnje planiranje i održavanje infrastrukture.



Slika 10. Urušavanje priključaka na sustavu odvodnje u Ulici V.Nazora



## 5.1. Čišćenje i provođenje CCTV inspekcije

Jedna od ključnih mjera u okviru predstojećih aktivnosti je temeljito utvrđivanje trenutnog stanja i šteta na cijelom izgrađenom sustavu odvodnje aglomeracije Petrinje, bez obzira na to jesu li određene dionice već puštene u pogon ili ne. Kanalska mreža mora biti detaljno ispitana iznutra, što je moguće jedino putem snimanja kamerom postavljenom na robotu koji prolazi kroz kanale (CCTV inspekcija). Za slobodan prolaz robota s kamerom, potrebno je najprije temeljito očistiti kanalsku mrežu od urušenih dijelova i nakupljenih krupnih tvari te je isprati. Tek nakon čišćenja i ispiranja mreže, može se pristupiti CCTV inspekciji. Nakon procjene oštećenja je donesena odluka da se provedu CCTV inspekcije cijele kanalske mreže. Duljina "stare" mreže iznosi približno 44 km, dok je novoizgrađena mreža duga oko 68 km. Pretpostavlja se da nije došlo do značajnog urušavanja i nakupljanja krute tvari u cijeloj mreži te da će čišćenje i ispiranje biti potrebno na otprilike 50% mreže, odnosno na oko 56 km. Jedinična cijena usluge čišćenja i ispiranja kanalske mreže je u trenutku provođenja iznosila 7.5 kn/m' odnosno 1 €/m'. Prosječne jedinične cijene za CCTV inspekciju dobivene su na temelju ponuda tvrtki prisutnih na tržištu. Jedinična cijena CCTV inspekcije na novoizgrađenoj mreži je u trenutku provođenja iznosila 13 kn/m' odnosno 1.73 €/m', dok je cijena na "staroj" mreži iznosila 17 kn/m' odnosno 2.26 €/m'. Razlika u cijeni na staroj mreži objašnjava se otežanim uvjetima snimanja zbog oštećenja kanala, razmaknutih spojeva, nakupljenog materijala i povremenih poteškoća s kretanjem robota. Nakon provedene CCTV inspekcije utvrđeno je da duljina novoizgrađene mreže iznosi 63 km u odnosu na procijenjenih 68 km te je s time čišćenje i ispiranje na izvedeno na 51.5 km ukupne mreže.

## 5.2. Geodetska snimanja

Geodetsko snimanje izgrađene kanalske mreže i pratećih objekata bilo je potrebno provesti na cijelom sustavu, uključujući i stari i novi dio. Prema relevantnim stručnim procjenama, cijelo područje Grada Petrinje je nakon potresa denivelirano, s minimalnim spuštanjem od 10 cm, a mjestimično je denivelacija izraženija, čak do 0.5 m. Zbog toga je sustav odvodnje na staroj i novoj mreži također deniveliran te je nužno bilo provesti geodetsku izmjeru cijelog sustava, uključujući prateće objekte. Jedinična cijena geodetske izmjere kanalske mreže je iznosila 4.0 kn/m' odnosno 0.53 €/m', što uključuje i snimanje pratećih objekata. Ukupna duljina kanalske mreže koja se treba geodetski snimiti je oko 110 km. Dodatni trošak geodetske izmjere na lokaciji planiranog UPOV-a procjenjuje se na 25 000 kn odnosno 3318.07 €.

### **5.3. Broj oštećenja na kanalizacijskoj mreži nakon CCTV inspekcije**

Nakon analize CCTV snimaka, utvrđen je značajan broj oštećenja na cijevima kanalizacijske mreže. Procijenjena duljina PVC cijevi, korištena za prvu procjenu broja oštećenja, iznosila je 63.6 km. Međutim, nakon snimanja je evidentirana stvarna duljina od 60.1 km, što predstavlja smanjenje od 3.5 km u odnosu na početnu duljinu. Na PVC cijevima je registrirano ukupno 1201 oštećenje. Što se tiče GRP cijevi, prva procjena duljine iznosila je 10.3 km, dok je snimanje pokazalo stvarnu duljinu od samo 2.3 km, što je razlika od 8 km. Unatoč kraćoj duljini, otkriveno je značajnih 79 oštećenja na GRP cijevima. Ova razlika u broju oštećenja između PVC-a i GRP-a može biti posljedica različitih svojstava materijala, njihove otpornosti na specifične uvjete kojima su cijevi izložene, ali i razlika u kvaliteti instalacije te održavanja cijevi kroz vrijeme.

Važno je napomenuti da je ova analiza bila fokusirana isključivo na novije dijelove kanalizacijske mreže. Stariji betonski dijelovi mreže nisu bili predmet istraživanja, stoga su svi rezultati koncentrirani na cijevi od polivinilklorida (PVC) i poliesterskih (GRP) materijala. Pri usporedbi broja oštećenja dobivenih pomoću funkcija ranjivosti i stvarnog broja oštećenja utvrđenog analizom snimki, Honeger-Eguchijeva metoda pokazala se kao najtočnija.

Dodatno, analiza je pokazala da materijali poput PVC-a, zbog svoje fleksibilnosti i lakše instalacije, mogu biti podložniji oštećenjima tijekom duljih perioda, dok su GRP cijevi, iako kraće, pokazale visoku otpornost s obzirom na manje oštećenja po kilometru. Ovi nalazi pružaju korisne informacije za optimizaciju budućih instalacija i odabir materijala u sličnim uvjetima rada.

### **5.4. Broj oštećenja na kućnim priključcima i kontrolnim oknima nakon CCTV inspekcije**

Tijekom snimanja kanalizacijske mreže zabilježen je i znatan broj oštećenja na kućnim priključcima i kontrolnim oknima, uz evidentirano značajno povećanje broja oštećenja u odnosu na početne procjene. Što se tiče kućnih priključaka, prvotna procjena je bila da postoji oko 300 oštećenja. Međutim, detaljno snimanje je pokazalo da je zabilježeno čak 449 oštećenja. Ovaj rezultat je potvrđen priložima i elaboratima koji su sastavljeni nakon snimanja. Slična situacija je zabilježena i kod kontrolnih okana. Prema početnoj procjeni, očekivalo se oko 500 oštećenja, no nakon obavljenog snimanja zabilježeno je ukupno 597 oštećenja, što je također potvrđeno odgovarajućim elaboratima. U tablici 11. je također

prikazana početna procjena štete te oštećenja dobivena nakon provedenog snimanja. U tablici 12. je po prilogima prikazan točan broj oštećenja na kućnim priključcima i na kontrolnim oknima.

Tablica 11. Početne procjene oštećenja na kućnim priključcima i kontrolnim oknima i stvarna oštećenja nakon CCTV inspekcije

STAVKA	PROCJENA OŠTEĆENJA				NAKON CCTV INSPEKCIJE
	POSTOJEĆA "STARA" KANALSKA MREŽA	NOVO IZGRAĐEN MJEŠOVITI SUSTAV ODVODNJE	NOVO IZGRAĐEN RAZDJELNI SUSTAV ODVODNJE	UKUPNO	NOVO IZGRAĐEN SUSTAV
Kvarovi na kućnim priključcima	118	19	163	300	449.00
Kvarovi na kontrolnim oknima	197	32	271	500	597.00

Tablica 12. Oštećenja na kućnim priključcima i kontrolnim oknima po dionicama

PRILOG	KUĆNI PRIKLJUČCI	KONTROLNA OKNA
10_1 SLATINA I	22	73
10_2 SLATINA II	60	1
10_3 NOVO SELIŠTE	4	0
10_4 KOLEKTOR 14	1	12
10_5 TRANSPORTNI KOLEKTOR T1	1	4
10_6 MOŠĆENICA	34	421
10_7 NOVA DRENČINA	56	5
10_8 SLIVOV I 2,3,4,5,7	53	17
10_9 SLIVOV I 1,9,10,11,12,14	161	50
10_10 KOLEKTOR 7 I 8	24	0
10_11 DOGRADNJA PETRINJA	33	14
<b>Σ=</b>	<b>449</b>	<b>597</b>

Ovi rezultati pokazuju da je stvarno stanje infrastrukture lošije od prvotnih očekivanja, što može zahtijevati dodatne resurse i mjere za sanaciju ovih oštećenja.

## 5.5. Korekcija funkcija ranjivosti korištenih kod procjene broja oštećenja

Na kraju su funkcije ranjivosti prilagođene kako bi svaka metoda dala broj oštećenja koji odgovara stvarno utvrđenom stanju nakon snimanja. S obzirom da koeficijenti PGV, PGD,  $K_1$ ,  $K_2$  i  $K_3$  nisu smjeli biti mijenjani, jedina mogućnost bila je prilagodba preostalih koeficijenata i brojeva u formulama. Dimenzije mreže također su ažurirane prema podacima dobivenim nakon snimanja, a korištene su isključivo PGV i PGD vrijednosti izmjerene na području Grada Zagreba. Pretpostavljene vrijednosti za analizirano područje nisu uključene u ovu korekciju, jer bi zbog promjena u velikom broju koeficijenata rezultati bili znatno manje precizni.

Tablica 13. Sumarni prikaz duljina nove kanalizacijske mreže prema vrstama cijevnog materijala nakon provedenog snimanja

NOVA KANALIZACIJSKA MREŽA		
Materijal	Duljina [km]	Postotak [%]
PVC/PEHD	60.1	58
GRP/PEHD	2.3	2
Sveukupno:	103.4	100

### 5.5.1. ALA metoda

Formule za dobivanje broja oštećenja uzrokovanih privremenim i trajnim deformacijama tla pri korištenju PVC cijevi u ALA metodi korigirane su na sljedeći način:

$$R_t = K_2 \cdot 3.62 \cdot PGD^{1.339}$$

$$R_p = K_1 \cdot 0.0416 \cdot PGV$$

Formule za oštećenja pri korištenju GRP cijevi su korigirane na sljedeći način:

$$R_t = K_2 \cdot 3.85 \cdot PGD^{1.749}$$

$$R_p = K_1 \cdot 0.12416 \cdot PGV$$

Tom korekcijom dobiven je broj oštećenja koji je zabilježen tijekom snimanja, a rezultati su prikazani u tablici 14.

Tablica 14. Broj oštećenja na kanalizacijskoj mreži sustava javne odvodnje aglomeracije Petrinja uslijed privremenih i trajnih deformacija tla prema korigiranoj ALA metodi za izmjerene vrijednosti PGD i PGV

Materijal	Duljina [km]	ALA					
		K <sub>1</sub> [1]	K <sub>2</sub> [1]	R <sub>p</sub> [1/km]	R <sub>t</sub> [1/km]	R <sub>p</sub> [1]	R <sub>t</sub> [1]
PVC/PEHD	60.1	0.5	0.8	0.200	19.785	12	1189
GRP/PEHD	2.3	0.5	0.7	0.596	33.161	1	78
<b>Σ =</b>						<b>13</b>	<b>1267</b>

### 5.5.2. HAZUS (O'Rourke i Ayala) metoda

Formula za dobivanje broja oštećenja prilikom korištenja HAZUS metode uz upotrebu PVC cijevi je prilagođena na sljedeći način:

$$R_p = K_3 \cdot 0.00416 \cdot PGV^{2,25}$$

Također je prilagođena formula za dobivanje broja oštećenja po istoj metodi, ali uz upotrebu GRP cijevi i to na sljedeći način:

$$R_p = K_3 \cdot 0.01 \cdot PGV^{2,25}$$

Tom korekcijom dobiven je broj oštećenja koji je zabilježen tijekom snimanja, a rezultati su prikazani u tablici 15.

Tablica 15. Broj oštećenja na kanalizacijskoj mreži sustava javne odvodnje aglomeracije Petrinja uslijed privremenih deformacija tla prema korigiranoj HAZUS metodi za izmjerenu vrijednost PGV

Materijal	Duljina [km]	HAZUS (O'Rourke - Ayala)		
		K <sub>3</sub> [1]	R <sub>p</sub> [1/km]	R <sub>p</sub> [1]
PVC/PEHD	60.1	0.3	0.202	12
GRP/PEHD	2.3	0.3	0.487	1
<b>Σ =</b>				<b>13</b>

### 5.5.3. Honegger-Eguchijeva metoda

Honegger-Eguchijeva formula prilikom upotrebe PVC cijevi je korigirana prema sljedećem prikazu:

$$R_t = K_3 \cdot 9.65 \cdot PGD^{1.339}$$

Ista formula, ali prilikom upotrebe GRP cijevi je korigirana prema sljedećem izrazu:

$$R_t = K_3 \cdot 9.7 \cdot PGD^{1.7}$$

Tim korekcijama dobiven je broj oštećenja koji je zabilježen tijekom snimanja, a rezultati su prikazani u tablici 16.

Tablica 16. Broj oštećenja na kanalizacijskoj mreži sustava javne odvodnje aglomeracije Petrinja uslijed trajnih deformacija tla prema korigiranoj Honegger-Eguchi metodi za izmjerenu vrijednost PGD

Materijal	Duljina [km]	Honegger - Eguchi		
		$K_3$ [1]	$R_t$ [1/km]	$R_t$ [1]
PVC/PEHD	60.1	0.3	19.778	1189
GRP/PEHD	2.3	0.3	33.375	78
			$\Sigma =$	<b>1267</b>

## 6. ZAKLJUČAK

Na temelju provedenih analiza, jasno je da procijenjene vrijednosti nisu u potpunosti zadovoljavajuće te da odstupaju od stvarnih rezultata dobivenih snimanjem kanalizacijske mreže. Ova odstupanja mogu se djelomično objasniti činjenicom da stvarno stanje kanalizacijske mreže prije snimanja nije bilo poznato. Također, vrijednosti ključnih seizmičkih parametara, poput vršne brzine tla (PGV) i trajnog pomaka tla (PGD), nisu bile izravno mjerene na predmetnom području, već su preuzete s mjernih stanica u Zagrebu, što dodatno doprinosi nesigurnosti u procjenama. Jedan od glavnih razloga što nije jedna funkcija ranjivosti nije dala 100% točan rezultat je ograničenost koeficijenata unutar tih metoda, koji su fiksirani isključivo na temelju vrste materijala cijevi i ne omogućuju fleksibilnost te prilagodbu stvarnim uvjetima na terenu.

Također, s obzirom da se procjene temelje na općenitim funkcijama ranjivosti i pretpostavkama koje nisu prilagođene specifičnostima predmetnog područja, postoji visok stupanj nesigurnosti u konačne rezultate. Stoga je jasno da su funkcije ranjivosti, kao alat za procjenu oštećenja, ograničene kada je riječ o ovako specifičnim i složenim situacijama.

Unatoč svim parametrima, od kojih su neki smanjivali točnost rezultata, početna procjena od otprilike 1500 oštećenja nije se pokazala znatno pogrešnom u odnosu na stvarni broj oštećenja.

## POPIS LITERATURE

- [1] Halkijević, I., Vouk, D., Posavčić, H. i Mostečak, H. (2021). Procjena oštećenja na vodoopskrbnim mrežama uslijed seizmičkih događaja primjenom funkcija ranjivosti, Građevinar, <https://doi.org/10.14256/JCE.3185.2021>
- [2] Radnić, J., et al. (2021). Potres Petrinja magnitude Mw 6.4: glavni parametri potresa, utjecaj na građevine i preporuka za njihovu obnovu, Građevinar, <https://doi.org/10.14256/JCE.3243.2021>
- [3] Mostečak, H. (2021). Nalaz i mišljenje sudskog vještaka-Utvrđivanje visine nastale štete na sustavu javne odvodnje Petrinja (Elaborat), Privreda d.o.o., Petrinja
- [4] Vlada Republike Hrvatske (2021). Potres u Hrvatskoj iz prosinca 2020. - Brza procjena šteta i potreba, [https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/Potres/RDNA\\_2021\\_07\\_02\\_web\\_HR.pdf](https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/Potres/RDNA_2021_07_02_web_HR.pdf)
- [5] Interaktivna mapa sa podacima za vršnu brzinu tla, vršno spektralno ubrzanje i vršno ubrzanje, <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000d3zh/executive>
- [6] SOLMEX d.o.o. (2022.) Elaborat funkcionalnog stanja sustava odvodnje – mreža i transportni kolektori u sklopu Aglomeracije Petrinja (prilozi 10.1-10.11)



## POPIS SLIKA

Slika 1. Odnos energije oslobođene u potresu za različite magnitude M.....	7
Slika 2. Tektonske ploče.....	9
Slika 3. Vršno ubrzanje tla (PGA) za petrinjski potres.....	10
Slika 4. Vršna brzina tla (PGV).....	10
Slika 5. Vršno spektralno ubrzanje (PSA) za $T=0.3s$ .....	11
Slika 6. Oštećeni objekti nakon potresa u Petrinji .....	12
Slika 7. Grafički prikaz relativne usporedbe broja oštećenja na vodoopskrbnoj mreži prema najčešće korištenim funkcijama ranjivosti.....	16
Slika 8. Lokacija mjerne stanice Čerkezovac u odnosu na Sisak, Petrinju i Zagreb.....	20
Slika 9. Situacijski prikaze postojeće i planirane mreže sustava javne odvodnje aglomeracije Petrinja.....	25
Slika 10. Urušavanje priključaka na sustavu odvodnje u Ulici V.Nazora.....	31

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Vrijednosti koeficijenata K1 i K2 prema Eidingeru uz dopunu prema drugim autorima.....	18
Tablica 2. Podaci seizmičkih mjernih stanica Grada Zagreba s vrijednostima parametara PGA, PGV i PGD na temelju zapisa akcelerograma .....	21
Tablica 3. Profili kanala s pripadnim duljinama u postojećem sustavu odvodnje.....	24
Tablica 4. Sumarni prikaz duljina postojeće kanalizacijske mreže prema vrstama cijevnog materijala.....	26
Tablica 5. Procjena broja oštećenja na kanalizacijskoj mreži sustava javne odvodnje aglomeracije Petrinja uslijed privremenih i trajnih deformacija tla prema ALA metodi za najveće izmjere vrijednosti PGV i PGD.....	27
Tablica 6. Procjena broja oštećenja na kanalizacijskoj mreži sustava javne odvodnje aglomeracije Petrinja uslijed privremenih i trajnih deformacija tla prema ALA metodi za procijenjene vrijednosti PGV i PGD na predmetnom području.....	27
Tablica 7. Procjena broja oštećenja na kanalizacijskoj mreži sustava javne odvodnje aglomeracije Petrinja uslijed privremenih deformacija tla prema HAZUS metodi za najveće izmjere vrijednosti PGV.....	28
Tablica 8. Procjena broja oštećenja na kanalizacijskoj mreži sustava javne odvodnje aglomeracije Petrinja uslijed privremenih deformacija tla prema HAZUS metodi za procijenjene vrijednosti PGV na predmetnom području .....	28
Tablica 9. Procjena broja oštećenja na kanalizacijskoj mreži sustava javne odvodnje aglomeracije Petrinja uslijed trajnih deformacija tla prema Honneger-Eguchi metodi za najveće izmjerene vrijednosti PGD .....	29
Tablica 10. Procjena broja oštećenja na kanalizacijskoj mreži sustava javne odvodnje aglomeracije Petrinja uslijed trajnih deformacija tla prema Honneger-Eguchi metodi za procijenjene vrijednosti PGD na predmetnom području.....	29
Tablica 11. Početne procjene oštećenja na kućnim priključcima i kontrolnim oknima i stvarna oštećenja nakon CCTV inspekcije.....	34
Tablica 12. Oštećenja na kućnim priključcima i kontrolnim oknima po dionicama .....	34
Tablica 13. Sumarni prikaz duljina nove kanalizacijske mreže prema vrstama cijevnog materijala nakon provedenog snimanja.....	35
Tablica 14. Broj oštećenja na kanalizacijskoj mreži sustava javne odvodnje aglomeracije Petrinja uslijed privremenih i trajnih deformacija tla prema korigiranoj ALA metodi za izmjerene vrijednosti PGD i PGV .....	36

Tablica 15. Broj oštećenja na kanalizacijskoj mreži sustava javne odvodnje aglomeracije Petrinja uslijed privremenih deformacija tla prema korigiranoj HAZUS metodi za izmjerenu vrijednost PGV.....	36
Tablica 16. Broj oštećenja na kanalizacijskoj mreži sustava javne odvodnje aglomeracije Petrinja uslijed trajnih deformacija tla prema korigiranoj Honneger-Eguchi metodi za izmjerenu vrijednost PGD .....	37