

Identifikacija pokretača poplava u Gradu Zagrebu - analiza oborinskih događaja 2013. i 2014. godine

Hrastovski, Matija

Master's thesis / Diplomski rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:198731>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-20**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij geološkog inženjerstva

**IDENTIFIKACIJA POKRETAČA POPLAVA U
GRADU ZAGREBU – ANALIZA OBORINSKIH
DOGAĐAJA 2013. i 2014. GODINE**

Diplomski rad

Matija Hrastovski

GI - 170

Zagreb, 2016.

Zahvale:

Veliku zahvalu dugujem svojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Snježani Mihalić Arbanas na stručnim savjetima i velikoj pomoći prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem se i asistentici Sanji Bernat, mag. ing. geol. na stručnim savjetima i pomoći kada je trebalo riješiti neki problem.

Posebno se zahvaljujem Vatrogasnoj zajednici Grada Zagreba, Državnom hidrometeorološkom zavodu Republike Hrvatske i Gradskom uredu za strategijsko planiranje i razvoj Grada Zagreba na podacima koji su korišteni u ovom diplomskom radu.

Na kraju, zahvaljujem se svojoj cijeloj svojoj obitelji koja mi je bila velika potpora tijekom cijelog studija jer bez njih ovo sve ne bi bilo moguće. Veliko hvala svima koji su na neki način sudjelovali u mom studiju.

IDENTIFIKACIJA POKRETAČA POPLAVA UGRADU ZAGREBU – ANALIZA
OBORINSKIH DOGAĐAJA 2013. I 2014. GODINE

MATIJA HRASTOVSKI

Diplomski rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

U ovom diplomskom radu analizirani su Izvještaji s vatrogasnih intervencija na području Grada Zagreba vezani za ispumpavanja vode iz objekta i otvorenih prostora u 2013. i 2014. godini za vrijeme ekstremnih hidrometeoroloških uvjeta. Svrha rada bila je odrediti koji intenziteti i trajanje oborina su prouzročili pojavu poplava objekata i otvorenih prostora. Iskorišteno je 305 Izvještaja s intervencija iz 2013. godine i 1.018 Izvještaja s intervencija iz 2014. godine. Podaci o dnevnim količinama oborina za 2013. i 2014. godinu dobiveni su s 12 meteoroloških postaja na području Grada Zagreba i 3 meteorološke postaje na području Grada Velike Gorice. Na temelju ovih podataka identificirano je ukupno 216 oborinskih događaja koji su prouzročili analizirane poplave u Gradu Zagrebu, a također i 569 oborinskih događaja koji nisu prouzročili poplave u istom razdoblju. Na osnovi svih identificiranih oborinskih događaja određene su granične vrijednosti intenziteta i trajanja kritične oborine, i to minimalna i maksimalna vrijednost iznad kojih se pojavljuju poplave napodručju Grada Zagreba.

Ključne riječi: poplave, oborinski događaj, granične vrijednost oborine, Grad Zagreb.

Diplomski rad sadrži: 50 stranica, 21 sliku i 28 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: Izv. prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas

Pomoć pri izradi: Sanja Bernat, mag. ing. geol.

Ocjenjivači: Izv. prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, RGNF
Izv. prof. dr. sc. Kristijan Posavec, RGNF
Prof. dr. sc. Željko Arbanas, Građevinski fakultet Rijeka

Datum obrane: 19. veljače 2016. godine

IDENTIFICATION OF FLOOD TRIGGERS IN THE CITY OF ZAGREB – ANALYSIS OF
RAINFALL EVENTS FROM 2013 AND 2014

MATIJA HRASTOVSKI

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Geology and Geological Engineering
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Abstract

In the thesis the *Reports of Fire Department Interventions* at the area of the City of Zagreb, related to pumping water out of property and from open spaces in 2013 and 2014, during extreme hydrometeorological conditions were analysed. The objective of this study was to determine intensities and durations of rainfalls which caused the occurrence of facilities and open spaces floods. Totally 305 reports of the Fire Department interventions from 2013 and 1018 reports from 2014 were used. Data on daily precipitation amounts for 2013 and 2014 were obtained from the 12 meteorological stations in the City of Zagreb and 3 meteorological stations in the City of Velika Gorica. Based on data analysis of registered flood events and relevant precipitations, totally 216 rainfall events were identified which caused floods and 569 rainfall events which did not cause floods in the same period. On the basis of all identified rainfall events, threshold of the critical precipitation were determined by means of its minimal and maximal value. They present intensity-duration thresholds above which the rainfalls will cause floods at the area of the City of Zagreb.

Keywords: flood, precipitation event, threshold of precipitation, City of Zagreb

Thesis contains: 50 pages, 21 figures and 28 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: PhD Snježana Mihalić Arbanas, Associate Professor

Technical support and assistance: Sanja Bernat, mag. ing. geol.

Reviewers: PhD Snježana Mihalić Arbanas, Associate Professor, RGNF

PhD Kristijan Posavec, Associate Professor, RGNF

PhD Željko Arbanas, Full Professor, Civil engineering Rijeka

Date of defence: February 19th, 2016

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Inženjerskogološki uvjeti na području istraživanja	3
2.1. Značajke stijena i tla.....	4
2.2. Geomorfološki uvjeti i aktivni geomorfološki procesi.....	6
2.3. Hidrološki uvjeti.....	7
3. Poplave u Gradu Zagrebu	10
3.1. Općenito o poplavama	10
3.2. Povijest poplava u Gradu Zagrebu.....	12
3.3. Zaštita od poplava u Gradu Zagrebu.....	14
4. Ulazni podaci i metode istraživanja.....	16
4.1. Evidencija intervencija ispumpavanja	16
4.2. Podaci o oborinama	18
4.3. Alati za obradu i prikaz podataka imetoda istraživanja	19
5. Rezultati istraživanja	24
5.1. Identificirani oborinski događaji koji su uzrokovali poplave	24
5.2. Identificirani događaji koji nisu uzrokovali poplave.....	33
5.3. Granična vrijednost intenziteta oborine	34
6. Rasprava.....	36
7. Zaključak.....	39
LITERATURA:	41

POPIS TABLICA

Tablica 5-1. Oborinski događaji koji su izazvali poplave (označeni plavom bojom): (a) za meteorološku postaju Bijenik, (b) za meteorološku postaju Botinec	25
Tablica 5-2. Oborinski događaji koji su izazvali poplave (označeni plavom bojom): (a) za meteorološku postaju Brezovica, (b) za meteorološku postaju Čučerje	26
Tablica 5-3. Oborinski događaji koji su izazvali poplave (označeni plavom bojom): (a) za meteorološku postaju Grič, (b) za meteorološku postaju Kašina	27
Tablica 5-4. Oborinski događaji koji su izazvali poplave (označeni plavom bojom): (a) za meteorološku postaju Kosnica, (b) za meteorološku postaju Maksimir	28
Tablica 5-5. Oborinski događaji koji su izazvali poplave (označeni plavom bojom): (a) za meteorološku postaju Markuševac, (b) za meteorološku postaju Mikulići.....	29
Tablica 5-6. Oborinski događaji koji su izazvali poplave (označeni plavom bojom): (a) za meteorološku postaju Pleso, (b) za meteorološku postaju Rim	30
Tablica 5-7. Oborinski događaji koji su izazvali poplave (označeni plavom bojom): (a) za meteorološku postaju Sasi, (b) za meteorološku postaju Sesvete	31
Tablica 5-8. Oborinski događaji koji su izazvali poplave (označeni plavom bojom) za meteorološku postaju Šestine	32

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Administrativne granice Grada Zagreba (crvena linija) koja predstavlja područje istraživanja (izvor: Google Earth)	3
Slika 2-2. Litostratigrafska karta Grada Zagreba (Pišl, 2015)	5
Slika 2-3. Zone inženjerskogeoloških uvjeta prema Jurak i dr. (2008): a) gološka karta s generaliziranim stratigrafskim jedinicama; b) karta nagiba (modificirana prema Mihalić Arbanas i dr., 2012).....	6
Slika 2-4. Kumulativna oborina sedam meteoroloških postaja za razdoblje od 1. siječnja 2013. godine do 31. prosinca 2014. godine.....	8
Slika 3-1. Poplava brdskih potoka s Medvednice 1936. godine – pogled na Hrvatsko narodno kazalište i Frankopansku ulicu (izvor: Muzej Grada Zagreba)	12
Slika 3-2. Poplava 1964. godine (Pilar, 1994)	14
Slika 4-1. Vatrogasne intervencije ispumpavanja za razdoblje 2013. i 2014. godine	17

Slika 4-2. Položaj meteoroloških postaja na istraživanom području Grada Zagreba.....	18
Slika 4-3. Prikaz tablice za izračun kumulativnih oborina za sve dane u mjesecu na svim meteorološkim postajama.....	19
Slika 4-4. Interpretacija oborinskih događaja na primjeru meteorološke postaje Brezovica za odabrano razdoblje	21
Slika 4-5. Usporedba intenziteta oborine I i trajanja oborine D za oborinske događaje koji su uzrokovali klizišta od 2006. do 2014. godine u SZ Hrvatskoj s objavljenim regionalnim i globalnim graničnim vrijednostima (Bernat i dr., 2016).....	23
Slika 5-1. Broj oborinskih događaja koji nisu uzrokovali poplave (crveno) i oborinskih događaja koji jesu uzrokovali poplave (plavo); prikazan za svih 15 analiziranih meteoroloških postaja.....	33
Slika 5-2. Granične vrijednosti kritične oborine za 216 oborinskih događaja koji su prouzročili poplave na području Grada Zagreba 2013. i 2014. godine	34

POPIS FORMULA

Jednadžba 4-1. Intenzitet oborine.....	20
Jednadžba 4-2. Empirijska jednadžba za graničnu vrijednost oborine	22
Jednadžba 5-1. Minimalna granična vrijednost kritične oborine	35
Jednadžba 5-2. Maksimalna granična vrijednost kritične oborine.....	35

1. Uvod

Zadatak ovog diplomskog rada bio je identificirati pokretače poplava u Gradu Zagrebu kroz analiza oborinskih događaja iz 2013. i 2014. godine.

Poplava je pojava velike vode nakon što ona izađe iz određenog korita (Žugaj, 2015). Tema rada su poplave koje je uzrokovala voda koja otječe prema riječnom koritu, a ne voda koja se izlila iz korita potoka. Međutim, nije isključena mogućnost da je analiza rađena i na poplavama prilikom izlivanja vode iz korita potoka. Uz to, također je moguće da analizom nisu obuhvaćene sve poplave, pod čime se podrazumijevaju slučajevi poplavlivanja objekata kada u pomoć nisu pozvani vatrogasci.

Svrha rada bila je odrediti koje oborine, odnosno intenziteti i trajanja oborina su prouzročila poplavlivanje objekata i otvorenih prostora. U tu svrhu nužno je provesti analize oborina s ciljem identifikacije oborinskih događaja koji su pokrenuli poplave u razdoblju 2013. i 2014. godine, te na temelju njih odrediti granične vrijednosti oborina iznad kojih se pojavljuju poplave.

U radu je prikazan kratki pregled područja istraživanja kroz geografske, geološke, geomorfološke i hidrološke značajke istraživanog područja. Područje istraživanja je područje Grada Zagreba, glavnog grada Republike Hrvatske. Grad Zagreb ima površinu od 641 km², a uključuje gradsko područje i 69 naselja u kojima živi 790.017 stanovnika, odnosno 18% ukupne populacije u Republici Hrvatskoj. Ovo područje zauzima 1,13% kopnenog teritorija Republike Hrvatske i ima status županije (Pišl, 2015).

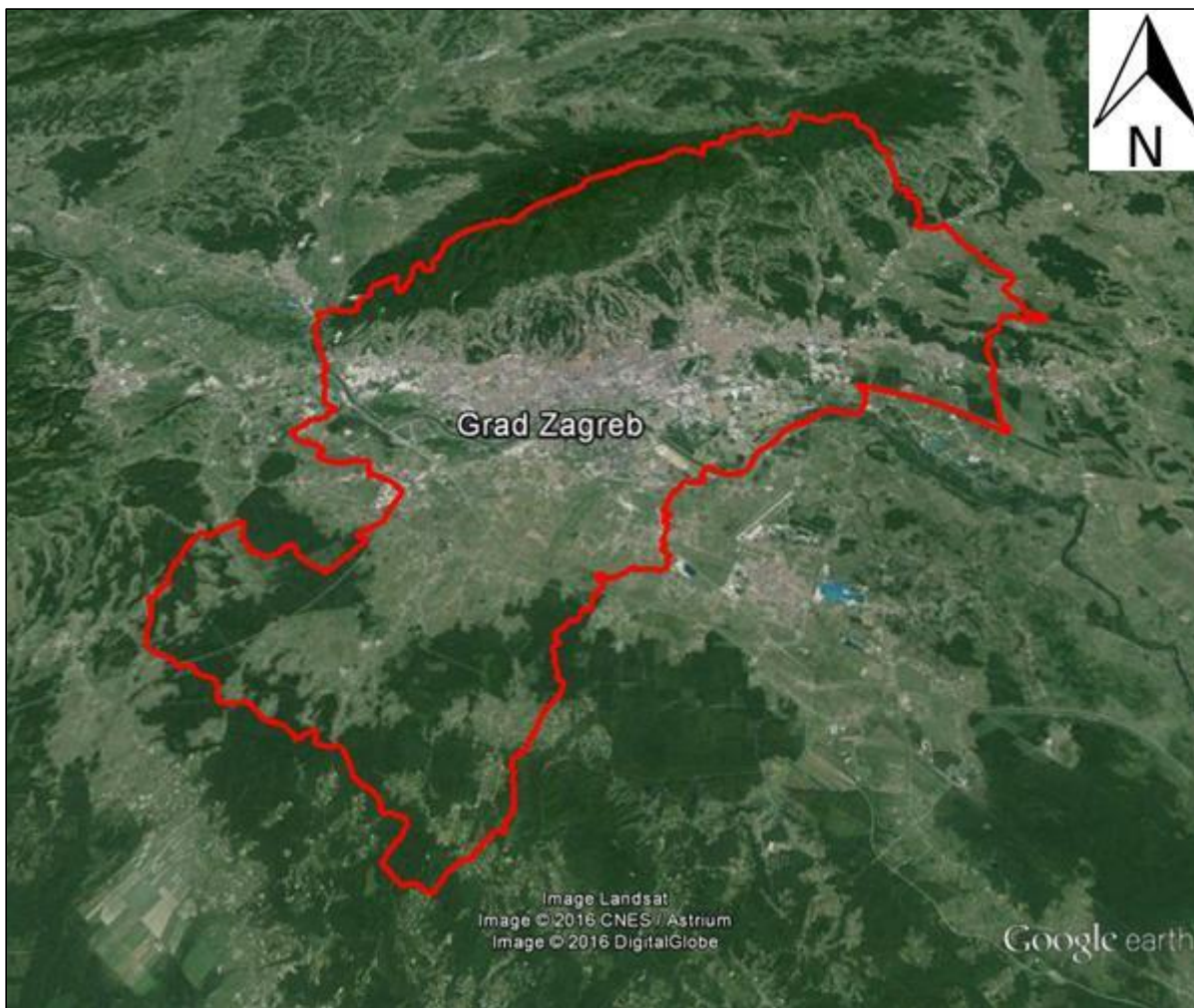
Izvor podataka za istraživanje provedeno u ovom diplomskom radu bili su tzv. Izvještaji s intervencija Vatrogasne zajednice Grada Zagreba i podaci o količinama dnevnih oborina za 2013. i 2014. godinu koje prikuplja Državni hidrometeorološki zavod Republike Hrvatske. U razdoblju od 2013. do 2014. godine na području Grada Zagreba zabilježeno je 1.323 vatrogasnih intervencija ispušavanja vode iz objekata i otvorenih prostora. Iz izvještaja s intervencija preuzeti su podaci o datumima i adresama intervencija ispušavanja vode iz objekata i otvorenih prostora, na osnovi čega je napravljena kartografska baza podataka intervencija, nužna za prostorne analize. Odabrano je 12 meteoroloških postaja koje se nalaze na području Grada Zagreba i 3 meteorološke postaje koje se nalaze na području Grada Velike Gorice za potrebe analize oborina, a sa svrhom identifikacije oborinskih događaja. Identificirani oborinski događaji uspoređeni su s evidencijom intervencija ispušavanja i uspostavljena je uzročno-posljedična veza među

njima. Na temelju oborinskih događaja koji su uzrokovali poplave određene su granične vrijednosti intenziteta oborine koje su uzrokovale poplave.

U diskusiji je dan osvrt na neke probleme s kojima se susrelo tijekom izrade rada, komentar o primijenjenoj metodi istraživanja, pravilnosti oborinskih događaja i graničnih vrijednosti, moguća primjena rezultata ovog diplomskog rada i prijedlog za nova istraživanja koja bi dovela do boljeg poznavanja uzročno-posljedične veze između oborina i poplava.

2. Inženjerskogeološki uvjeti na području istraživanja

Područje Grada Zagreba je po svom geomorfološkom i geostrukturnom položaju, smješteno je u mega-geomorfološkoj regiji europskog Panonskog bazena (Bognar, 2001), u zapadnom dijelu sjeverozapadne Hrvatske. Na Slici 2-1. prikazana je administrativna granica Grada Zagreba koji predstavlja područje istraživanja ukupne površine 641 km².



Silka2-1. Administrativna granica Grada Zagreba (crvena linija) koja predstavlja područje istraživanja (izvor: GoogleEarth)

Na području Grada Zagreba razlikuje se nekoliko tipova reljefa kao što su:

- dolinski (aluvijalna ravan rijeke Save),
- brežuljkasti (do 200 m.n.m.),
- nisko brdoviti (200-600 m.n.m.),
- visoko brdoviti reljef (600-1000 m.n.m.).

U Gradu Zagrebu prevladavaju tipovi reljefa do 200 m.n.m. dok se samo Medvednica (1.033 m.n.m.) i Vukomeričke gorice (255 m.n.m.) uzdižu iznad 200 m.n.m.. Prema svojoj visini Medvednica se ubraja u sredogorja. Na njoj su vrlo dobro izražene dvije padine i hrbat koji se duljinom od 42 km pruža u smjeru JZ-SI te tako odjeljuje Grad Zagreb od Hrvatskog Zagorja. Padine koje se nalaze prema Gradu Zagrebu su blago nagnute prema jugu.

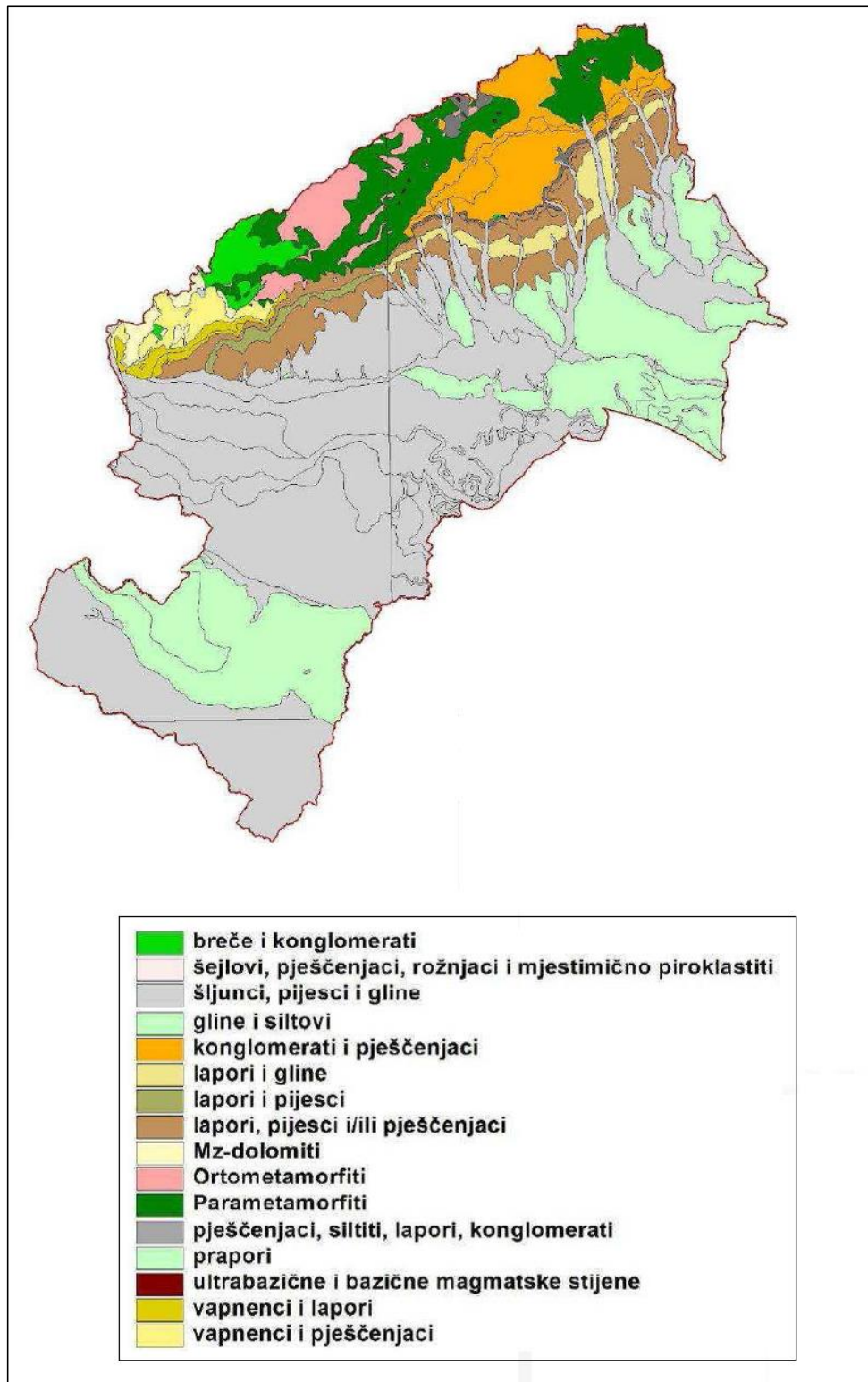
Područje Savske nizine na području Grada Zagreba omeđuju prigorske padine Medvednice na sjeveru, blago razvedene padine Vukomeričkih gorica na jugozapadu dok su granice na sjeverozapadu i jugoistoku određene administrativno. Širenjem naselja i poljodjelskih površina te razni hidrotehnički zahvati doveli su do velikih izmjena prirodnih obilježja ovoga područja.

Istraživano područje vrlo je složene geološke građe, a izgrađeno je od stijena različite stratigrafske i litološke pripadnosti. Po litologiji, zastupljene su magmatske, sedimentne i metamorfne stijene različitih tipova a po stratigrafskoj pripadnosti to su stijene paleozojske, mezozojske i kenozojske starosti.

2.1. Značajke stijena i tla

Na području Grada Zagreba (Pišl, 2015), starost naslaga proteže se od najstarijeg paleozoika do recentnih naslaga kvartarne starosti. Litostratigrafski odnosi prikazani su na Slici 2-2.. Najstarije naslage izbijaju na površinu u središnjem dijelu Medvednice i one pripadaju paleozojskim metamorfitima devonske starosti a dijele se na ortometamorfite i parametamorfite.

Ortometamorfitima pripadaju zeleni škriljavci, metamorfozirani gabri, dijabazi i doleriti dok parametamorfitima pripadaju škriljave grauvake, subgrauvake i siltiti, rekristalizirani vapnenci i dolomiti, slejtovi, filiti i različiti niskometamorfni škriljci. Osim metamorfita, među najstarije naslaga se ubrajaju još i tvrdi vapnenci, terigeni klastiti, dolomiti, šejlovi, konglomerati, breče, lapori i siltiti mezozojske starosti.



Slika 2-2. Litostratigrafska karta Grada Zagreba (Pišl, 2015)

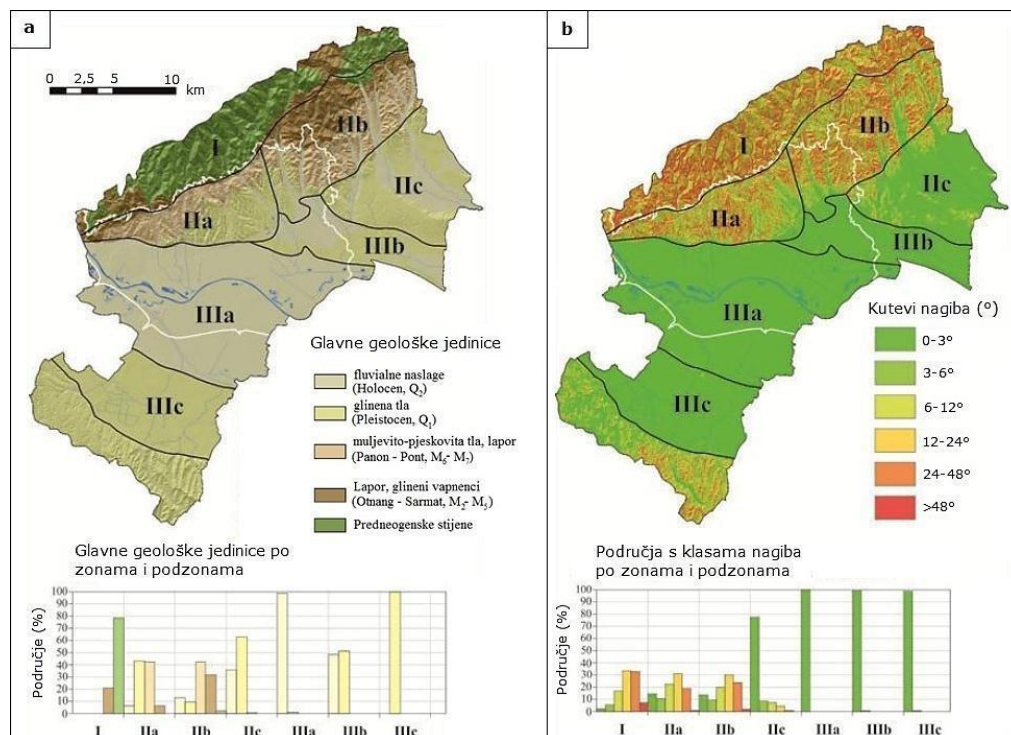
Dijelovi Medvednice na području Zagreba izgrađeni su uglavnom od tercijarnih naslaga dok se na hipsometrijski nižim položajima nalaze lapori tercijarne starosti. Na još nižim terenima nalaze se obronci s pleistocenskim ilovinama ispod kojih se nalaze šljunci,

pijesci i gline, a koje postupno prelaze u pleistocensku terasu, a zatim se stapaju s holocenskim dolinskim dijelom rijeke Save. Široka dolina Save se dominantno prostire područjem Grada Zagreba a formirana je od starijih i mlađih aluvijalnih zaravni koje su izgrađene od šljunkovito-pjeskovitih, ilovastih i glinovitih naslaga (Pišl, 2015).

Prema Pišlu (2015), pedološki sloj čine automorfna i hidromorfna tla koja su raširena u ovisnosti o postanku. Nagnuti tereni na gradskom području izloženi su procesu erozije vodom različitog intenziteta, ovisno o količini i intenzitetu oborina i svojstvima tla.

2.2. Geomorfološki uvjeti i aktivni geomorfološki procesi

Jurak i dr. (2008) podijelili su područje Grada Zagreba na tri glavne zone i šest podzona koje karakterizira određena geološka građa, morfologija i hidrološki uvjeti koji utječu na geotehničke uvjete i aktivne geomorfološke procese. Mihalić Arbanas i dr. (2012) dodali su zonu IV na području Vukomeričkih gorica jugozapadno od zone IIIc (Slika 2-3.). Ovo zoniranje područja korisno je za utvrđivanje prostorne distribucije različitih gaohazarda kao što su poplave i klizišta.



Slika 2-3. Zone inženjerskogeoloških uvjeta prema Jurak i dr. (2008): a) geološka karta s generaliziranim stratigrafskim jedinicama; b) karta nagiba (modificirano prema Mihalić Arbanas i dr., 2012)

Na Slici 2-3. a) prikazana je distribucija litoloških jedinica, a na Slici b) distribucija nagiba padina unutar inženjerskogeoloških zona prema Jurak i dr. (2008). Planinsko područje (zona I) i brdska područja (Zona IIa, IIb, IIc i IV) karakterizirana su pojavom klizišta i bujičnim poplavama kao glavnim geohazardom. U zoni I, koja obuhvaća Park prirode Medvednica i prekrivena je šumom, klizišta zahvaćaju samo prometnice, jer ta zona nije naseljena. Nasuprot tome, u zonama IIa, IIb i IV klizišta, kao aktivni geomorfološki procesi predstavljaju potencijalnu opasnost za zgrade (obiteljske kuće) i infrastrukturu. Većina klizišta je uzrokovana antropogenim djelovanjem. Bujične poplave su moguće samo u zonama IIa, IIb i sjeverozapadnom dijelu zone IIIb. Prema povijesnim podacima, bujične poplave pojavljuju se svakih 21 godinu a veća poplava se dogodila 1989. godine zbog obilnih kiša. U zoni IIIa, u povijesti su se događale poplave uzrokovane izlivanjem rijeke Save (1876., 1880., 1923. i 1964.) sve dok nije uspostavljena zaštita od poplava na području Grada Zagreba izgradnjom rasteretnog kanala, retencija i nasipa (Mihalić Arbanas, 2012).

Osim klizišta i bujičnih poplava brdskih potoka i poplava rijeke Save, na istraživanom području javljali su se i potresi. Seizmičnost Sjeverozapadne Hrvatske je umjerena s jako rijetkom pojavom potresa magnitude veće od 6 (Herak i dr. 2009).

2.3. Hidrološki uvjeti

Opis hidroloških uvjeta preuzet je iz Elaborata zaštite okoliša (Pišl, 2015). Grad Zagreb obiluje površinskim vodama. Najveći vodotok je rijeka Sava koja je u svom dijelu toka kroz Zagreb duljine 18,5 km. Ona je nizinska rijeka varijabilnog vodostaja sa sezonskim bujicama. Visoki vodostaji javljaju se u proljeće i jesen, a niski ljeti. Na području Grada Zagreba u rijeku Savu se ne ulijeva veći vodotok već samo pojedini medvednički potoci.

Na istraživanom području nalaze se dva jezera, a to su Jarun i Bundek.

Ostale površinske vode na području Grada Zagreba čine potoci i izvori južnih, prigorskih padina Medvednice te manjim dijelom potoci Vukomeričkih gorica.

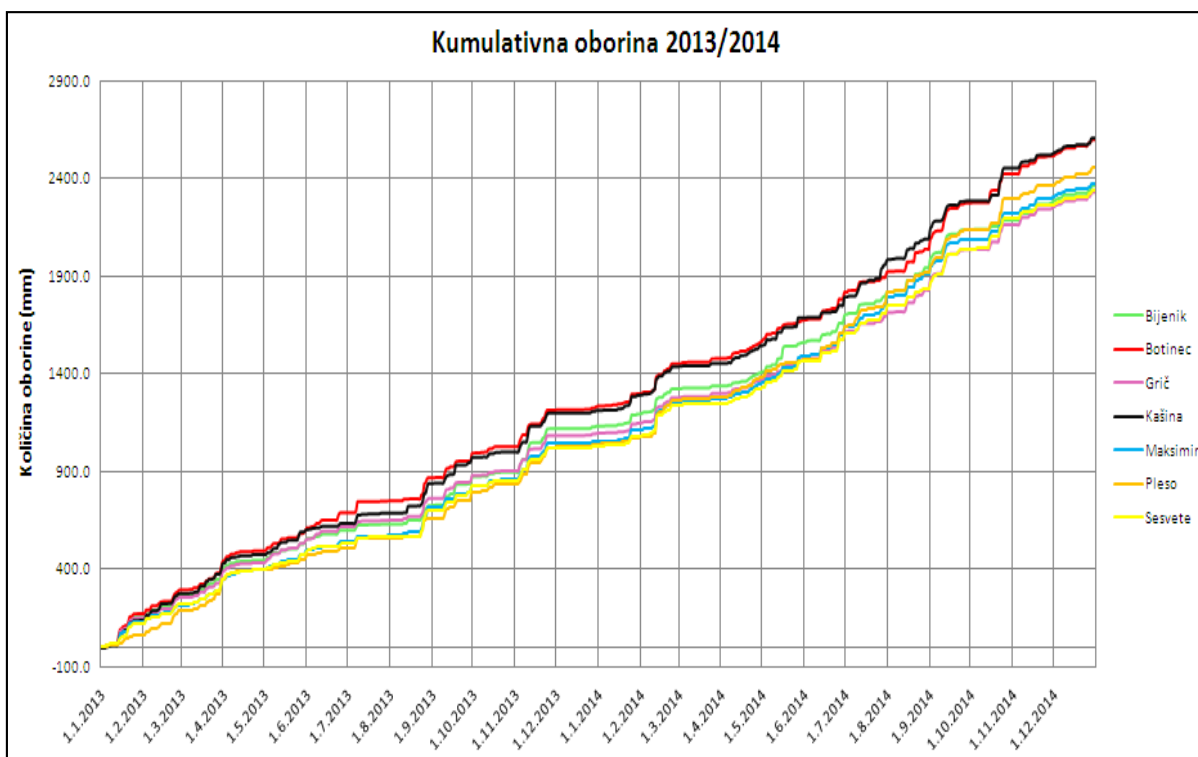
U središnjem dijelu južnih padina Medvednice, na škriljalcima koji su nepropusni, javlja se 60-ak izvora. Navedeni izvori formiraju brojne potoke izrazito brdskog tipa sa

strmim gornim tokom i položenim donjim tokom. Zbog brojnih izvora i sakupljanja oborinskih voda, potoci su bogati vodom tijekom cijele godine, a neki od potoka dopiru i u samu gradsku jezgru. Jedan od takvih potoka je potok Črnomerec.

Prema geografskom smještaju Zagreb spada u umjerenu širinu zbog čega ima umjerenu kontinentalnu klimu s četiri godišnja doba.

U dugogodišnjem prosjeku godišnje količine oborina, Grad Zagreb pripada tipu hoda oborina u kojem je najmanja količina zabilježena u hladnom dijelu godine. Srednja godišnja količina oborina iznosi 840 mm, najviše oborine padne u lipnju (95,3 mm) a najmanje u veljači (38,9 mm). Količina oborina opada od zapada prema istoku (Pišl, 2015).

Na Slici 2-4. prikazane su kumulativne oborine sedam meteoroloških postaja (Bijenik, Botinec, Grič, Kašina, Maksimir, Pleso i Sesvete) za razdoblje od 1. siječnja 2013. godine do 31. prosinca 2014. godine.



Slika 2-4. Kumulativna oborina sedam meteoroloških postaja za razdoblje od 1. siječnja 2013. do 31. prosinca 2014. godine

Iz Slike 2-4. je vidljivo da su u analiziranom razdoblju najveće kumulativne oborine bile na meteorološkim postajama Kašina (istočni dio grada) i Botinec (južni dio

Grada), a najniže na meteorološkim postajama Grič (središnji dio Grada) i Sesvete (istočni dio Grada).

Godišnji hod srednjeg mjesečnog tlaka vodene pare prati hod temperature zraka s maksimumom ljeti i minimumom u siječnju. U Zagrebu hod relativne vlažnosti ima glavni maksimum u prosincu (84,8%) i sekundarni slabi maksimum u lipnju, te dva minimuma u travnju i srpnju (Pišl, 2015).

Srednja godišnja temperatura u Zagrebu iznosi 11,2°C. Najviša prosječna temperatura je u srpnju do 19,5°C do 21,3°C, ponekad s tendencijom zakašnjenja i pojavom najviših srednjih temperatura u kolovozu. Najniža temperatura je u siječnju od -1°C do +1°C (Pišl, 2015).

Područje Grada Zagreba ima manje od 40 dana sa snježnim pokrivačem dok područja južno od grada imaju više od 40 dana snježni pokrivač.

3. Poplave u Gradu Zagrebu

U ovom poglavlju definirane su poplave i njihovi glavni uzročnici, ukratko je opisana povijest poplava na području Grada Zagreba i zaštita od poplava na području Grada Zagreba.

3.1. Općenito o poplavama

Na početku ovog poglavlja navode se definicije oborina, otjecanja, velikih voda i poplava prema Žugaju (2015) i Bačani (2006). Oborina ili padalina je tekući ili čvrsti proizvod kondenzacije vodene pare koji pada iz oblaka ili se iz zraka taloži na tlo. Postoje horizontalne i vertikalne oborine. Horizontalne oborine se pojavljuju u obliku inja, mraza, magle i rose a vertikalne oborine se pojavljuju u obliku kiše, snijega i tuče (grada).

Na količinu oborine na nekom području djeluje pet glavnih čimbenika:

1. Utjecaj zemljopisne širine – povećanjem zemljopisne širine količina oborine opada.
2. Utjecaj mora – povećanjem udaljenosti od mora količina oborine opada (primjerice: oborine u Rijeci i u Karlovcu).
3. Utjecaj konfiguracije tla – ovaj utjecaj naročito dolazi do izražaja u planinskim predjelima zbog hlađenja zračnih masa bogatih vlagom. Na padinama orijentiranim prema moru, gdje pušu vjetrovi s većom količinom vlage, dolazi do pojave većih oborina.
4. Utjecaj šuma – ovaj utjecaj može biti značajan, ali je dosta raznolik. Veliko prostranstvo šuma uglavnom djeluje na apsolutnu količinu oborina i povećava ju za 9 – 13% u odnosu na slobodni prostor na istoj zemljopisnoj širini i topografskoj visini.
5. Utjecaj velikih gradova – jaka industrijalizacija je izvor velikih količina higroskopičnih jezgri na kojima se provodi kondenzacija vlage. Zbog toga su u velikim gradovima količine oborina 10 - 12% veće nego na slobodnoj površini na istoj zemljopisnoj širini i topografskoj visini. Ovdje treba spomenuti da je u gradovima, zbog razlika na pojedinim lokacijama, potrebno postaviti više kišomjernih stanica nego na slobodnom prostoru. Primjerice u Zagrebu se količine oborina na stanicama Grič, Borčec, Maksimir i Pleso značajno međusobno razlikuju, a velike razlike u količinama oborine bile su ustanovljene čak i na vrlo

bliskim lokacijama. Jedan takav primjer zabilježen je na meteorološkoj postaji Zagreb-Grič i na kišomjeru u dvorištu samostana u Frankopanskoj ulici (koji je prije desetak godina ukinut).

Reljef zemljišta također znatno utječe sa svojom visinom i oblicima na meteorološke elemente. Količine oborina povećavaju se sa visinom, dok se temperatura snižava. Srebrenović (1970) po značajnosti navodi klimatske elemente ovim redom: oborine, isparavanje, temperatura, vlažnost zraka, vjetrovi, naoblaka, itd.

Otjecanje je dio oborine koji se pojavljuje kao vodotok (Bačani, 2006). Tema ovog rada je otjecanje koje uzrokuje poplave. Poplava je pojava velike vode nakon što ona izađe iz određenog korita. U uvodu je objašnjeno da tema ovog rada nisu poplave koje su uzrokovane izlivanjem vode iz korita već poplave koje je uzrokovala voda koja je otjecala prema vodotoku. Poplava nastaje kao rezultat velike vode. Prema UNESCO-vu (engl. United Nation Education, Scientific and Cultural Organization) i WMO-vu (engl. World Meteorological Organization) riječniku hidroloških pojmova (1992), velika voda može se definirati na tri načina:

1. kao povišenje – obično naglo – vode u vodotoku do najviše vrijednosti, od koje razina vode počinje polagano opadati,
2. kao veliki tok vode mjereno visinom vodostaja ili veličinom protoka,
3. kao rastuća plima.

Iako se u ovom diplomskom radu promatraju poplave kojima uzrok nije izlivanje vode iz korita, uzroci nastajanja velikih voda u riječnome toku su jednaki kao i kod poplava prilikom otjecanja a to su: jake kiše, topljenje snijega ili obje pojave zajedno.

Isto tako, raspored i veličina velikih voda ovisi i o sezonama, odnosno sušnome i vodnome razdoblju unutar godine. Uvjeti i uzroci otjecanja se, ovisno o sezoni, mogu međusobno vrlo razlikovati. Ljeti se, primjerice, velike vode javljaju pretežno uslijed pljuskova jakih intenziteta. Za zimu je, pak, karakteristično zadržavanje oborina na slivu u obliku snježnog pokrivača. Porastom temperature dolazi do topljenja snijega pa, ovisno o njegovoj količini na slivu i intenzitetu topljenja, dolazi do povećanja otjecanja. U odgovarajućim prilikama mogu se otjecanje uslijed topljenja snijega i otjecanje uslijed kiše pojaviti zajedno i izazvati vrlo jake velike vode. Pojavama velikih voda pogoduju

odgovarajući geološki sastav sliva (nepropusnost), topografski uvjeti (veliki koeficijent koncentriranosti sliva i veliki padovi sliva) i stupanj obraštenosti (Žugaj, 2015).

3.2. Povijest poplava u Gradu Zagrebu

Grad Zagreb je tijekom svoje povijesti doživio niz poplava ne zbog velikih voda rijeke Save, kao i zbog nabujalih potoka s Medvednice. Prvo zabilježeno plavljenje područja grada Zagreba zbog nabujale Save dogodilo se 1469. godine, dok je prva poplava koju su izazvali medvednički potoci zabilježena 1645. godine. Nekoliko godina kasnije, točnije 26.srpnja 1651. godine, zabilježena je poplava koja je odnijela 52 života na području grada, a 1656. godine na grad su se sručile vode potoka s Medvednice (Vujasinović, 2015).

Rijeka Sava ponovno je plavila grad 1716. godine. Tijekom 1750., 1751., i 1770. zabilježene su poplave potoka Medveščak, nakon čega slijedi niz poplavnih godina svih potoka s Medvednice, i to 1845., 1850., 1859. i 1864. godine. Slika 3-1. prikazuje jedan prizor koji je bio česta pojava u to vrijeme jer nije postojao sustav obrane od poplava brdskih potoka Medvednice.



Slika 3-1. Poplava brdskih potoka s Medvednice 1936. godine – pogled na Hrvatsko narodno kazalište i Frankopansku ulicu (izvor: Muzej Grada Zagreba)

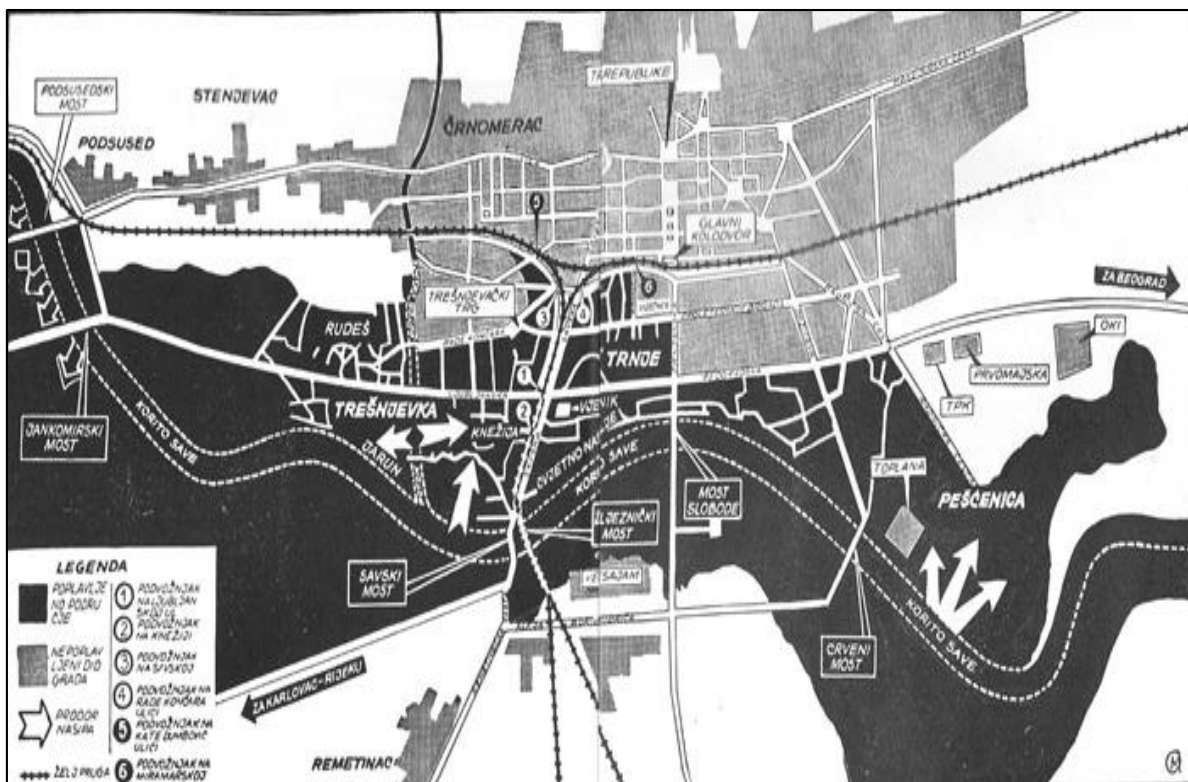
U nizu poplava do kojih su dovele velike vode rijeke Save posebno je ostala zapamćena poplava grada Zagreba 1876. godine. Slijedi poplava cijele Posavine 1880. godine, dvije poplave u 1895. godini te poplava iz 1925. godine. Do katastrofalne poplave iz 1964. godine dogodilo se niz većih i manjih poplava (Vujsinović, 2015).

Za razliku od većine gradova, stari dio Zagreba se nije razvio uz rijeku, već na uzvišenim dijelovima starog Griča i Kaptola. Postupnim širenjem i naseljavanjem, grad se širio prema Savi, da bi poslije Drugog svjetskog rata započelo naseljavanje predjela preko rijeke Save, gdje nastaje Novi Zagreb i brojna nova naselja kao što su Siget, Sopot, Zapruđe i druga (Vujsinović, 2015).

Razvoj Grada Zagreba tipičan je primjer gradnje grada u području uz rijeku, ugroženom poplavama. Još u početku prošlog stoljeća, grad, smješten na višim dijelovima nizine uz rijeku Savu, ne trpi velike štete od izlivenih voda rijeke. Postupno širenje grada u nizinu uz rijeku, te intenzivnije korištenje zemljišta, zbog mogućih šteta, iziskuje i potrebu planiranja i gradnje objekata za eliminiranje štetnog djelovanja voda. Prvi veći radovi na Savi izvedeni su u početku 20. stoljeća zbog poplave iz 1895. godine i nestabilnog korita i meandriranja toka Save. Osim regulacijskih radova, kojim se Sava treba svesti u korito fiksnog položaja i trase, građeni su i prvi nasipi za zaštitu zaobalja. Godine 1923. počela je gradnja lijevoobalnog nasipa uza Savu a 1953. počeo se graditi i nasip na desnoj obali Save. Proces naseljavanja, gradnje i korištenja inundacijskih površina uz Savu tekao je znatno brže no što su se gradili objekti za zaštitu od poplava što je rezultiralo katastrofalnom poplavom u listopadu 1964. godine (Vujsinović, 2015).

Grad Zagreb je u noći s 25. na 26. listopada 1964. godine doživio jednu od najvećih prirodnih katastrofa od kada postoje pisani podatci o raznim katastrofama koje su zadesile grad. Prikaz situacije poplave dan je na Slici 3-2.. Uzrok ove poplave bile su obilne šestodnevne oborine u uzvodnom dijelu sliva u Sloveniji, koje su pale na saturirano tlo koje nije moglo prihvatiti svu tu količinu, te je oborinska voda tekla u Savu. Tek dijelom sagrađen zaštitni sustav, neodgovarajući, nekonzistentan i ranjiv, nije mogao izdržati nalet velike vode, te su poplavljene velike površine grada, pretežno na lijevoj obali. U toj je poplavi izgubljeno 17 ljudskih života, 40.000 ljudi ostalo je bez krova nad glavom. Uništeno je 10.000 stanova, 3.297 gospodarskih zgrada te je oštećeno 120 poduzeća. Također je uništeno 2 km autocesta, 81 trafostanica, a izgubljeno je i 65% gradskog materijala iz građevinskih skladišta zemljišta i još mnogo drugog materijala. Dugačko 14

km i široko 4 km, poplavljeno područje obuhvaćalo je 6.000 ha, a procijenjena šteta bila je tadašnjih 160.000 milijardi dinara, što je bilo oko 9,18% republičkog BDP-a (Vujasinović, 2015).



Slika 3-2. Poplava 1964. godine (Pilar, 1994)

3.3. Zaštita od poplava u Gradu Zagrebu

Važno je naglasiti da apsolutne sigurnosti od poplave nema, jer troškovi gradnje i održavanja takvog sustava bili bi golemi i opet ne bi pružali potpunu sigurnost. Termin smanjenja šteta od poplava je bolji izraz, jer poplave se ne može spriječiti, ali se nizom mjera mogu smanjiti štete. Rješenja koja se predlažu i realiziraju moraju predvidjeti posljedice za uzvodni i nizvodni dio toka u odnosu na mjesto na kojem se izvode radovi na vodotoku. Neposredne mjere gradnje i stvaranja sustava za manipulaciju velikim vodama sastoje se u gradnji ovih objekata: akumulacija, retencija, otvorenih kanala, ekspanzijskih površina i nasipa, kao i ustava, čepova, čuvarnica, skladišta i dr. (Tropan, 1994).

U današnje vrijeme, zaštitu Zagreba, osim nasipa, osigurava i oteretni kanal Odra, preko kojeg se kod Jankomira obavlja redukcija velikih voda Save. Kanal Odra ima zahvat

u desnom nasipu Save kod Jankomira, a ušće u Savu je kod Strelečkog uzvodno od Siska. Osim toga, sagrađeni su ili rekonstruirani nasipi uz Savu nizvodno od Podsuseda na cijelom području grada. Paralelno s gradnjom nasipa izvedeni su nužni radovi za stabilizaciju korita i objekti koji omogućuju odvodnju zaobalja (Pilar, 1994).

Evolucija hidrotehničke misli o obrani Grada Zagreba od voda brdskih potoka, počela je šezdesetih godina, prošlog stoljeća, dvojbama oko koncepcije rješenja između varijante s lateralnim kanalima i rješenja sustavom retencija (Bezić i Havović, 1994).

Prevladala je ipak koncepcija uređenja vodotoka gradnjom retencijskih pregrada koja je proizašla iz povijesnog aspekta regulacije otjecanja, determiniranog urbanističkim razvojem prostora, mogućnosti realizacije raspoloživih regulativnih zahvata što ih ostavlja slobodan prostor i procjenom da je gradnja retencija povoljnija od gradnje korita na nereduciranu protoku (Bezić i Havović, 1994).

4. Ulazni podaci i metode istraživanja

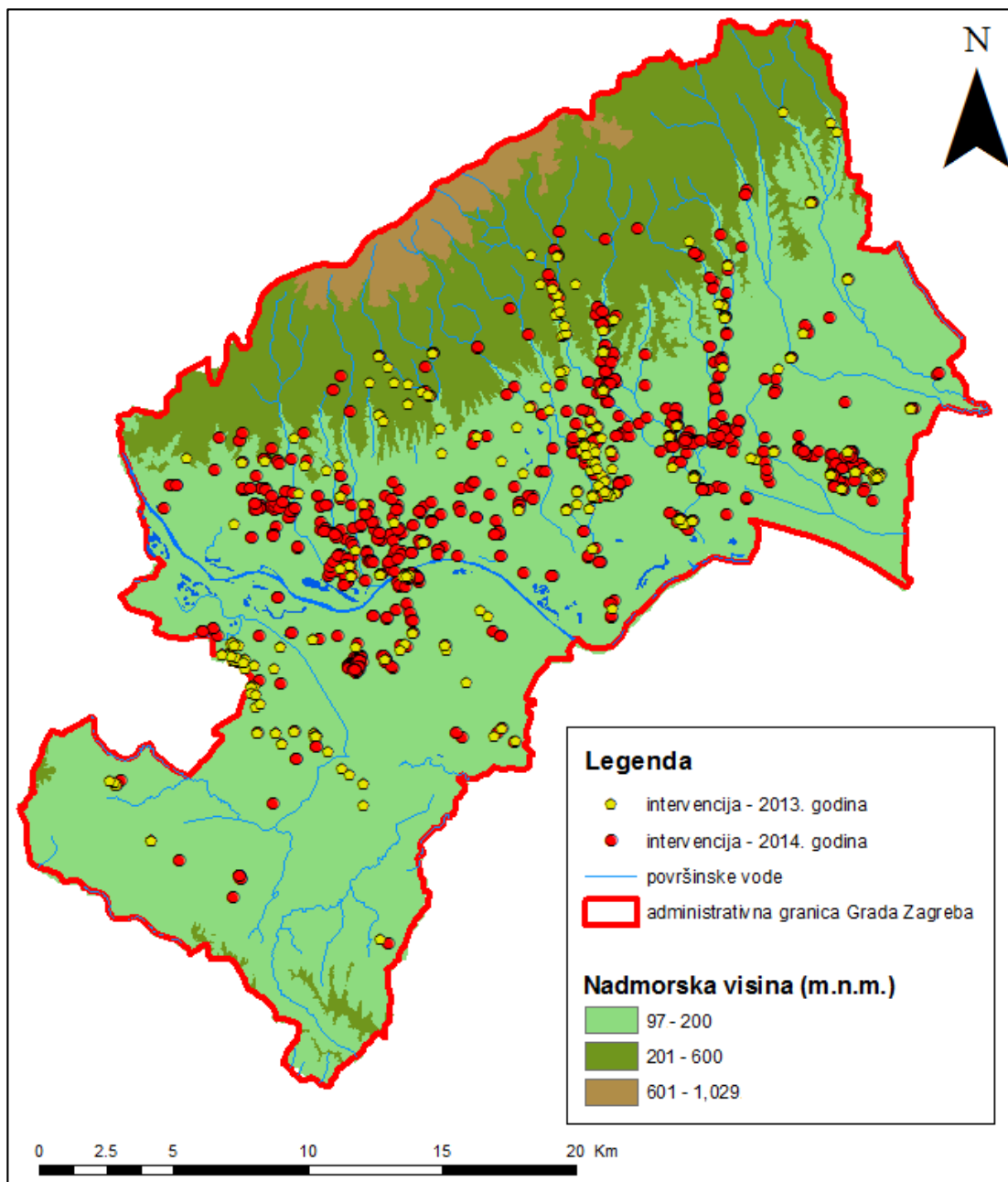
Kao ulazni podaci korišteni su datumi i adrese intervencija ispumpavanja i visine oborina za razdoblje 2013. i 2014. godine koje su izmjerene na meteorološkim postajama na području Grada Zagreba. Uz to, korišteni su prostorni podaci od Gradskog ureda za strategijsko planiranje i razvoj Grada Zagreba, kao što su digitalni model reljefa (DEM – engl. Digital Elevation Model), administrativna granica Grada Zagreba i površinske vode. Podaci o datumima i adresama intervencija ispumpavanja preuzeti su od Vatrogasne zajednice Grada Zagreba koja je ustupila uvid u Izvještaje s intervencija za intervencije ispumpavanja za dvije navedene godine. Podatke o oborina ustupio je Državni hidrometeorološki zavod Republike Hrvatske. Zbog potrebe analize podataka, ulazni podaci su organizirani u zasebne tablice i na njima je provedena analiza kako bi se identificirali pokretači poplava, odnosno odredile kritične količine oborina koje su uzrokovale poplave na kojima su intervenirali vatrogasci.

4.1. Evidencija intervencija ispumpavanja

Podaci o datumima i adresama vatrogasnih intervencija ispumpavanja vode iz objekata ili s otvorenih prostora za 2013. i 2014. godinu dobiveni su od Vatrogasne zajednice Grada Zagreba, iz Izvještaja s intervencije koji se ispunjavaju nakon svake vatrogasne intervencije. Osim datuma i adresa, u Izvještaju su još navedena vremena dolaska na intervenciju, vrijeme završetka intervencije, broj vatrogasaca i vozila koji su sudjelovali na intervenciji, količina vode koje je ispumpana i drugi podaci. Za analize provedene u okviru ovog diplomskog rada korišteni su samo datumi i adrese intervencija koji su dodatno sistematizirani s obzirom na prostorni položaj. Na intervencijama su sudjelovali Javna vatrogasna postrojba Zagreb i Dobrovoljna vatrogasna društva na prostoru Grada Zagreba.

Slika 4-1. prikazuje prostornu raspodjelu intervencija u 2013. i 2014. godini. Žutim oznakama su prikazane intervencije u 2013. godini a crvenim oznakama su prikazane intervencije iz 2014. godine.

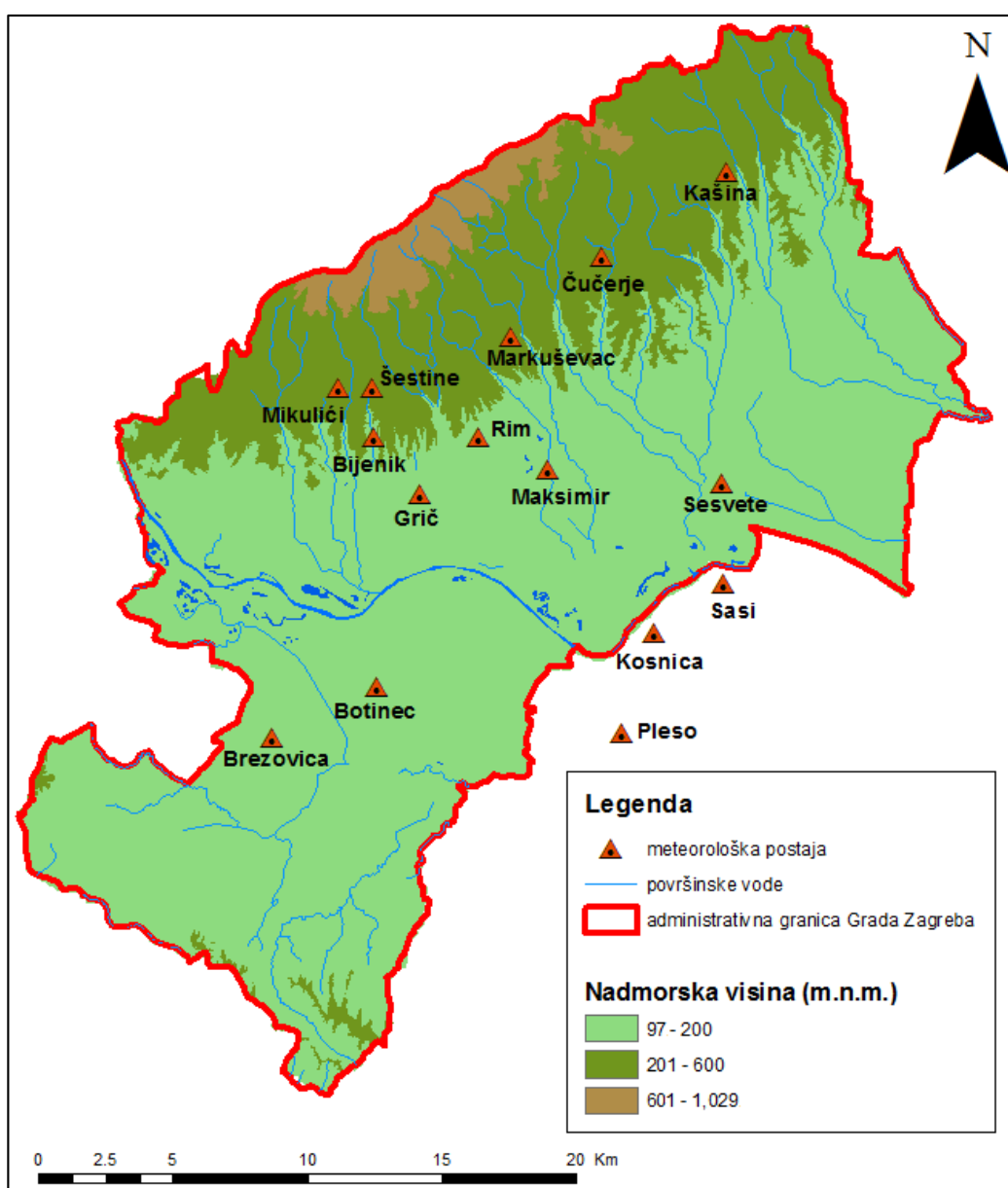
Koristeći datume, intervencije su grupirane u događaje intervencija i dodijeljena im je zajednička oznaka kako bi se svakom događaju intervencija mogle pridružiti količine oborina koje su izmjerene u najbližim meteorološkim postajama. Preko adresa, dobivene su koordinate intervencija i pripadajući „Mjesni odbor“ na temelju čega su određene najbliže meteorološke postaje koje pripadaju određenoj adresi intervencije. Za svaku intervenciju posebno je naznačeno radi li se o ispumpavanju s otvorenih prostora ili iz objekata. Ovi podaci nisu korišteni u analizi, ali mogli bi poslužiti za buduće prostorne analize intervencija ispumpavanja.



Slika 4-1. Vatrogasne intervencije ispumpavanja vode za razdoblje 2013./2014. godine

4.2. Podaci o oborinama

Osim vatrogasnih intervencija ispušavanja, kao ulazni podaci korištene su i količine oborina izmjerene u razdoblju od 2013. i 2014. godine na 12 meteoroloških postaja na području Grada Zagreba i na 3 meteorološke postaje koje se nalaze u susjednoj županiji ali su korištene u analizi zbog svoje blizine. Slika 4-2. prikazuje prostorni položaj meteoroloških postaja na istraživanom području. Meteorološke postaje Pleso, Kosnica i Sasi uzete su u analizu zbog malog broja meteoroloških postaja na prostoru južnog i jugoistočnog Zagreba.



Slika 4-2. Položaj meteoroloških postaja na istraživanom području Grada Zagreba

Podaci o izmjerenim količinama oborina dobiveni su iz mjesečnih izvještaja u kojima su navedene dnevne oborine zbog čega je bilo potrebno na temelju tih podataka izračunati kumulativne oborine. Na Slici 4-3. prikazana je tablica u kojoj su navedeni tipovi kumulativnih oborina izračunati za potrebe daljnje analize. Izračunate su kumulativne oborine za tzv. „Oborinski događaj“ i kumulativne oborine za 5, 10, 15 i 30 dana. Pod oborinskim događajem podrazumijeva se prethodna kumulativna oborina za proizvoljno interpretirano razdoblje kontinuiranih oborina. Stupci s kumulativnim oborinama odnose se na svaki datum, a izračunate su kumulativne oborine za 5, 10, 15 i 30 dana. Stupac „Kumulativna oborina 5 dana“ zbraja dnevnu oborinu određenog datuma i četiri dana prije. Isto se odnosi i na ostale stupce s kumulativnim oborinama. Ovako organizirani stupci kumulativnih oborina služe kao potvrda za određeni oborinski događaj.

1	NAZIV METEOROLOŠKE POSTAJE									
	DATUM	DNEVNA OBORINA (mm)	OBORINSKI DOGAĐAJ	TRAJANJE OBORINE (sati)	UKUPNA OBORINA (mm)	INTENZITET OBORINE (mm/h)	KUMULATIVNA OBORINA 5 DANA (mm)	KUMULATIVNA OBORINA 10 DANA (mm)	KUMULATIVNA OBORINA 15 DANA (mm)	KUMULATIVNA OBORINA 30 DANA (mm)
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										

Slika 4-3. Prikaz tablice za izračun kumulativnih oborina za sve dane u mjesecu na svim meteorološkim postajama

4.3. Alati za obradu i prikaz podataka imetoda istraživanja

U diplomskom radu korišteni su softveri Microsoft Excel (Microsoft) i ArcGIS – ArcMap (ESRI).

Microsoft Excel je program kojeg je razvila tvrtka Microsoft i čini sastavni dio programskog paketa Microsoft Office i kao takav služi za analizu i obradu podataka te njihovo grafičko prikazivanje. Međutim, sadrži razne funkcije i mogućnosti organizacije podataka, stvaranja baze podataka, rješavanje matematičkih i statističkih zadataka i slično.

Ovaj program je korišten za organizaciju podataka o količinama oborina za meteorološke postaje, organizaciju podataka o evidencijama ispumpavanja, računanje kumulativnih oborina, izrade grafičkih prikaza i za određivanje granične vrijednosti kritičnog intenziteta oborine.

ArcMap je glavna komponenta ESRI (ESRI – engl. Enviromental System Research Institute) ArcGIS paketa geoprostornih programa za obradu podataka, a najviše se koristi za pregled, uređivanje stvaranje i analiziranje prostornih podataka. Također, ArcMap omogućuje korisniku da istraži podatke unutar skupa podataka, simbolizira njihove značajke i stvori pripadajuće karte koje je kasnije moguće prebaciti i koristiti u drugim programima u grafičkom i negrafičkom obliku. U ovom radu je korišten za prikaz lokacija meteoroloških postaja na području Grada Zagreba i za procjenu utjecaja meteoroloških postaja.

Grupiranje podataka o intervencijama i količinama oborina omogućilo je interpretaciju podataka u svrhu identifikacije oborinskih događaja. Pod oborinskim događajem smatra se razdoblje u kojem je zabilježena kontinuirana oborina. Oborinski događaji je vremensko razdoblje u kojemu razmak između oborina može biti dva dana ili četiri dana, ovisno o godišnjem dobu. Tako za oborinski događaj u razdoblju od listopada do svibnja, najveći razmak između oborina može biti četiri dana, dok za razdoblje od svibnja do listopada je taj razmak dva dana (Melillo i dr. 2015). Primjer identifikacije oborinskih događaja prikazan je na Slici 4-4. za meteorološku postaju Brezovica. Za sve oborinske događaje određeno je trajanje oborine i ukupna oborina, te intenzitet oborine koji je kasnije korišten u identifikaciji pokretača poplava uzrokovanih određenom količinom oborina.

Intenzitet oborine i , koji se definira kao kvocijent količine oborine P u određenome vremenu t_k (t_k je trajanje kiše) prikazan je jednadžbom (Jednadžba 4-1.) (Žugaj, 2015):

$$i = P / t_k \text{ (mm/sat)} \quad (4-1)$$

Kumulativne oborine za 5, 10, 15 i 30 danas izračunate za sve datume u 2013. i 2014. godini, a i poslužile su kao neka vrsta provjere oborinskih događaja. Osim toga one ukazuju na mogućnost podzemnog dotoka vode koja je uzrokovala poplavu.

BREZOVICA									
datum	oborinski događaj	trajanje (sati)	ukupna oborina (mm)	intenzitet oborine (mm/h)	dnevna oborina (mm)	kumulativna oborina 5 dana	kumulativna oborina 10 dana	kumulativna oborina 15 dana	kumulativna oborina 30 dana
16. 4. 2013					2.8	2.8	10.5	44.3	159.7
17. 4. 2013					2.8	5.6	10.5	41.7	159.7
18. 4. 2013					0.0	5.6	10.5	22.9	144.3
19. 4. 2013					0.0	5.6	9.5	22.9	144.0
20. 4. 2013					0.0	5.6	2.9	22.9	133.7
21. 4. 2013					0.0	5.6	2.8	10.5	133.7
22. 4. 2013	5	48.00	3.50	0.07	2.2	2.2	4.8	12.7	135.9
23. 4. 2013					1.3	3.5	3.5	14.0	133.9
24. 4. 2013					3.5	3.5	3.5	13.0	130.8
25. 4. 2013					3.5	3.5	3.5	6.4	114.7
26. 4. 2013					3.5	3.5	3.5	6.1	112.1
27. 4. 2013					1.3	3.5	3.5	6.1	112.1
28. 4. 2013					0.0	3.5	3.5	3.5	112.1
29. 4. 2013					0.0	3.5	3.5	3.5	98.9
30. 4. 2013					0.0	3.5	3.5	3.5	57.1
1. 5. 2013					0.0	3.5	3.5	3.5	47.8
2. 5. 2013					1.5	1.5	2.8	5.0	48.7
3. 5. 2013					6.2	7.7	7.7	11.2	34.1
4. 5. 2013					7.7	7.7	7.7	11.2	34.1
5. 5. 2013	8	188	35.8	0.21	1.0	8.7	8.7	12.2	35.1
6. 5. 2013					11.2	19.9	19.9	23.4	33.9
7. 5. 2013					11.1	29.5	31.0	32.3	45.0
8. 5. 2013					4.8	28.1	35.8	35.8	49.8
9. 5. 2013					28.1	28.1	35.8	35.8	48.8
10. 5. 2013					27.1	35.8	35.8	35.8	42.2
11. 5. 2013					0.9	16.8	38.7	38.7	42.8
12. 5. 2013	7	72	17.8	0.25	3.9	9.8	39.1	40.6	48.7
13. 5. 2013					13.0	17.8	45.9	53.8	57.1
14. 5. 2013					17.8	17.8	45.9	53.8	57.1
15. 5. 2013					17.8	17.8	44.9	53.8	57.1
16. 5. 2013					16.9	16.9	33.7	53.8	57.1
17. 5. 2013					3.4	16.4	28.0	55.5	60.5
18. 5. 2013	8	98.00	10.20	0.12	5.0	8.4	28.2	54.3	65.5
19. 5. 2013					8.4	8.4	28.2	54.3	65.5
20. 5. 2013					1.8	10.2	28.0	55.1	67.3

Slika 4-4. Interpretacija oborinskih događaja na primjeru meteorološke postaje Brezovica za odabrano razdoblje

Nakon identifikacije oborinskih događaja, uspoređivani su oborinski događaji s datumima intervencija kako bi mogli odrediti koji su oborinski događaji uzrokovali intervencije ispumpavanja. To je bilo potrebno provesti kako bi se eliminirali oborinski događaji koji nisu uzrokovali poplave. Osim datuma intervencije, korištene su i adrese intervencija kako bi se za svaku intervenciju mogao odrediti intenzitet oborine s relevantne meteorološke postaje. Na ovaj način su identificirani oborinski događaji koji su uzrokovali poplave.

Kritični intenzitet oborine predstavlja najmanji intenzitet oborine iznad kojega dolazi do pojave poplava. Kritični intenzitet oborine određuje se na temelju grafičkog prikaza trajanja i intenziteta svakih identificiranih oborinskih događaja. U grafičkom prikazu na ordinati se unose trajanja oborinskog događaja (u satima), a na apscisi vrijednosti intenziteta oborine (u mm/sat) kao što je prikazano na Slici 4-5..

Radi bolje rezolucije, kod izrade dijagrama korišteno je logaritamsko mjerilo. Granična vrijednost kritičnog intenziteta oborine predstavlja krivulju ispod koje se nalaze oborine koje ne uzrokuju poplave, a iznad te krivulje su oborine koje uzrokuju poplave. Kao dozvoljeno odstupanje, uzeto je u obzir 15% od ukupnog broja oborinskih događaja

koji su uzrokovali ili nisu uzrokovali poplave. Određene su sve granične vrijednosti kritičnih oborina za svaku pojedinu meteorološku postaju koja je analizirana, zatim su sve kritične oborine objedinjene u zajedničkom dijagramu sa svrhom određivanja kritičnog intenziteta za Grad Zagreb.

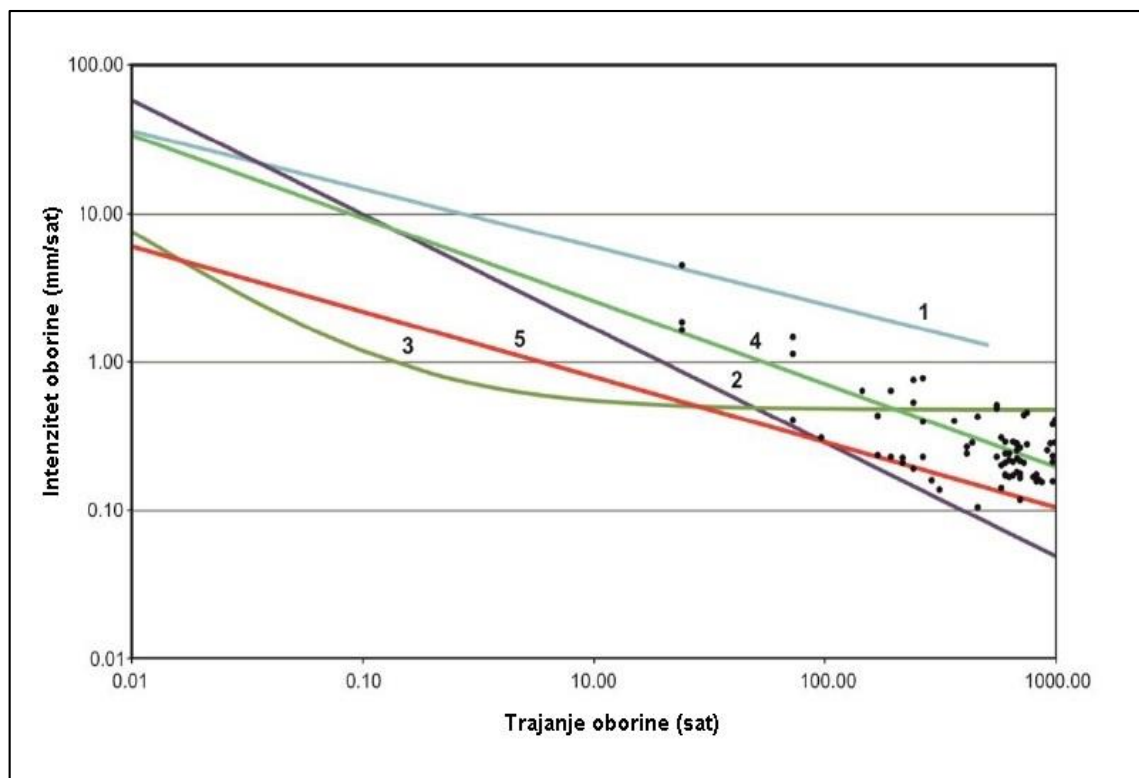
Granične vrijednosti kritične oborine ili intenziteta i trajanja identificiranih oborinskih događaja mogu se koristiti u analizama pokretača klizišta, npr. za predviđanje opasnosti toka debrisa (Neary i dr., 1987; Annunziati i dr., 1996; Crosta i Frattini, 2000) te u prognoziranju poplava ili upozoravanja (Carpenter i dr., 1999; Mancini i dr., 2002; Georgakakos, 2006; Martina i dr., 2006). U kontekstu upozoravanja na poplave, ako dođe do prekoračenja granične vrijednosti, mogu se očekivati poplave (Montesarchio, 2009). Granična vrijednost određuje količinu oborine određenog vremena trajanja oborine koja dovodi do poplave. Na Slici 4-5. dan je primjer grafičkog prikaza oborinskih događaja koji su uzrokovali klizišta (Bernat i dr., 2014) s pet primjera graničnih vrijednosti kritičnih oborina iz svjetske literature.

Empirijska jednadžba za graničnu vrijednost oborine najčešće se predstavlja izrazom (Jednadžba 4-2.) prema Caine (1980):

$$I = \alpha D^{\beta} \quad (4-2)$$

gdje je I srednji intenzitet oborine za određeni oborinski događaj, D je vrijeme od početka oborine do aktivacije klizišta a α i β su empirijski dobiveni parametri. Na sličan način, određena je granična vrijednost za poplave.

Empirijska jednadžba granične vrijednosti za trajanje oborine i intenzitet oborine prikazuje nelinearno opadanje intenziteta oborine uz povećanje trajanja oborine.



Br.	Autor	Vrsta klizišta	Primjena	Područje istraživanja	Jednadžba granične vrijednosti	Raspon
1	Caine (1980)	Plitka klizišta, tokovi debrisa	Globalna	Svijet	$I = 14.82D^{-0.39}$	$0.167 < D < 500$
2	Clarizia i dr. (1996)	Klizanje tla	Globalna	Svijet	$I = 10D^{-0.77}$	$0.1 < D < 1000$
3	Crosta i Frattini (2001)	Plitka klizišta	Globalna	Svijet	$I = 0.48 + 7.2D^{-1.0}$	$0.1 < D < 1000$
4	Guzzetti i dr. (2007)	Svi tipovi	Nacionalna	CADSES	$I = 9.40D^{-0.56}$	$0.1 < D < 4000$
5	Guzzetti i dr. (2008)	Plitka klizišta, tokovi debrisa	Globalna	Svijet	$I = 2.20D^{-0.44}$	$0.1 < D < 1000$

Slika 4-5. Usporedba intenziteta oborine I i trajanja oborine D za oborinske događaje koji su uzrokovali klizišta od 2006. do 2014. godine u SZ Hrvatskoj s objavljenim regionalnim i globalnim graničnim vrijednostima (Bernat i dr., 2016)

5. Rezultati istraživanja

U ovom poglavlju navedeni su rezultati istraživanja koji su dobiveni analizom ulaznih podataka. Rezultati istraživanja su identificirani oborinski događaji i kritična oborina koja je uzrokovala poplave na kojima su intervenirali vatrogasci.

5.1. Identificirani oborinski događaji koji su uzrokovali poplave

Na temelju identifikacije i sistematizacije oborinskih događaja za svih 15 meteoroloških stanica za 2013. i 2014. godinu dobiveni su parametri oborinskih događaja koji su uzrokovali poplave. Za svaki identificirani oborinski događaj određen je period, trajanje, ukupna oborina i intenzitet oborinskog događaja. U Tablicama 5-1., 5-2., 5-3., 5-4., 5-5, 5-6., 5-7. i 5-8. prikazani su parametri oborinskih događaja koji su uzrokovali poplave. Ukupno je identificirano 216 oborinskih događaja koji su izazvali poplave (označenih plavom bojom u Tablicama 5-1., 5-2., 5-3., 5-4., 5-5., 5-6., 5-7. i 5-8.):

- 13 oborinskih događaja na meteorološkoj postaji Bijenik (Tablica 5-1.a)
- 15 oborinskih događaja na meteorološkoj postaji Botinec (Tablica 5-1.b)
- 17 oborinskih događaja za meteorološku postaju Brezovica (Tablica 5-2.a)
- 10 oborinskih događaja za meteorološku postaju Čučerje (Tablica 5-2.b)
- 14 oborinskih događaja za meteorološku postaju Grič (Tablica 5-3.a)
- 14 oborinskih događaja za meteorološku postaju Kašina (Tablica 5-3.b)
- 17 oborinskih događaja za meteorološku postaju Kosnica (Tablica 5-4.a)
- 14 oborinskih događaja za meteorološku postaju Maksimir (Tablica 5-4.b)
- 10 oborinskih događaja za meteorološku postaju Markuševac (Tablica 5-5.a)
- 13 oborinskih događaja za meteorološku postaju Mikulići (Tablica 5-5.b)
- 15 oborinskih događaja za meteorološku postaju Pleso (Tablica 5-6.a)
- 17 oborinskih događaja za meteorološku postaju Rim (Tablica 5-6.b)
- 17 oborinskih događaja za meteorološku postaju Sasi (Tablica 5-7.a)
- 16 oborinskih događaja za meteorološku postaju Sesvete (Tablica 5-7.b)
- 14 oborinskih događaja za meteorološku postaju Šestine (Tablica 5-8.)

Tablica 5-1. Oborinski događaji koji su izazvali poplave (označeni plavom bojom): (a) za meteorološku postaju Bijenik, (b) za meteorološku postaju Botinec

BIJENIK		
TRAJANJE OBORINSKOG DOGAĐAJA (sati)	UKUPNA OBORINA (mm)	INTENZITET OBORINE (mm/sat)
624.00	153.60	0.25
624.00	107.70	0.17
936.00	177.40	0.19
48.00	5.00	0.10
384.00	51.40	0.13
264.00	32.80	0.12
72.00	26.20	0.36
216.00	23.50	0.11
48.00	20.30	0.42
48.00	27.60	0.58
24.00	0.20	0.01
24.00	2.40	0.10
48.00	0.30	0.01
48.00	5.20	0.11
48.00	15.70	0.33
144.00	74.20	0.52
48.00	3.20	0.07
144.00	57.90	0.40
144.00	49.10	0.34
144.00	38.90	0.27
384.00	22.60	0.06
696.00	223.70	0.32
1944.00	209.00	0.11
72.00	9.60	0.13
744.00	99.70	0.13
24.00	9.30	0.39
192.00	95.60	0.50
336.00	28.30	0.08
120.00	33.50	0.28
48.00	12.40	0.26
72.00	42.80	0.59
96	50.1	0.52
216	49.9	0.23
48.00	13.80	0.29
144.00	45.90	0.32
96.00	7.40	0.08
96.00	53.00	0.55
24.00	31.20	1.30
120.00	33.60	0.28
168.00	78.70	0.47
216.00	94.20	0.44
168.00	22.20	0.13
144.00	1.30	0.01
288.00	47.40	0.16
408.00	82.20	0.20
360.00	48.20	0.13
24.00	7.60	0.32
96.00	38.30	0.40

a

BOTINEC		
TRAJANJE OBORINSKOG DOGAĐAJA (sati)	UKUPNA OBORINA (mm)	INTENZITET OBORINE (mm/sat)
648.00	169.70	0.26
624.00	122.00	0.20
936.00	194.00	0.21
48.00	5.00	0.10
552.00	68.00	0.12
72.00	21.00	0.29
72.00	29.50	0.41
120.00	23.00	0.19
48.00	15.50	0.32
72.00	38.50	0.53
48.00	56.00	1.17
24.00	1.00	0.04
24.00	2.00	0.08
24.00	1.00	0.04
48.00	10.00	0.21
24.00	0.50	0.02
144.00	108.50	0.75
48.00	0.50	0.01
144.00	55.50	0.39
144.00	28.50	0.20
120.00	42.00	0.35
384.00	33.50	0.09
552.00	186.50	0.34
24.00	1.50	0.06
408.00	22.00	0.05
576.00	24.00	0.04
696.00	153.50	0.22
216.00	18.20	0.08
48.00	4.50	0.09
72.00	24.50	0.34
504.00	94.50	0.19
24.00	6.00	0.25
192.00	46.50	0.24
24.00	3.00	0.13
264.00	23.00	0.09
216.00	54.00	0.25
72.00	47.50	0.66
96.00	44.50	0.46
120.00	44.00	0.37
48.00	8.00	0.17
144.00	45.00	0.31
120.00	2.00	0.02
96.00	48.00	0.50
96.00	51.50	0.54
48.00	14.00	0.29
168.00	94.00	0.56
192.00	115.00	0.60
72.00	21.50	0.30
48.00	5.50	0.11
72.00	2.50	0.03
288.00	147.00	0.51
840.00	132.00	0.16
24.00	10.00	0.42
96.00	32.50	0.34

b

Tablica 5-2. Oborinski događaji koji su izazvali poplave (označeni plavom bojom): (a) za meteorološku postaju Brezovica, (b) za meteorološku postaju Čučerje

BREZOVIKA		
TRAJANJE OBORINSKOG DOGAĐAJA (sati)	UKUPNA OBORINA (mm)	INTENZITET OBORINE (mm/sat)
168.00	7.80	0.05
384.00	148.30	0.39
648.00	110.80	0.17
912.00	191.20	0.21
48.00	3.50	0.07
168	35.8	0.21
72	17.8	0.25
96.00	10.20	0.12
72.00	22.10	0.31
240.00	52.40	0.22
48.00	11.40	0.24
72.00	29.20	0.41
48.00	42.20	0.88
24.00	4.80	0.20
24.00	1.60	0.07
48.00	2.40	0.05
48.00	6.30	0.13
24.00	0.30	0.01
144.00	101.30	0.70
24.00	0.70	0.03
144.00	67.50	0.47
96.00	37.00	0.39
96.00	46.40	0.48
384.00	28.10	0.07
528.00	190.40	0.36
24.00	2.80	0.12
408.00	45.60	0.11
1080.00	202.20	0.19
144.00	7.50	0.05
72.00	18.70	0.26
720.00	125.60	0.17
24.00	6.70	0.28
168.00	38.60	0.23
240.00	22.50	0.09
120.00	19.70	0.16
24.00	7.30	0.30
72.00	54.70	0.76
96.00	48.80	0.51
96.00	48.00	0.50
24.00	5.00	0.21
48.00	5.60	0.12
48.00	11.90	0.25
24.00	25.60	1.07
96.00	3.90	0.04
96.00	49.80	0.52
96.00	26.10	0.27
48.00	15.90	0.33
168.00	102.50	0.61
168.00	114.00	0.68
72.00	24.80	0.34
24.00	4.90	0.20
24.00	0.30	0.01
72.00	52.40	0.73
96.00	96.00	1.00
336.00	86.40	0.26
360.00	40.30	0.11
24.00	12.20	0.51
96.00	29.30	0.31

a

ČUČERJE		
TRAJANJE OBORINSKOG DOGAĐAJA (sati)	UKUPNA OBORINA (mm)	INTENZITET OBORINE (mm/sat)
120.00	13.60	0.11
384.00	134.40	0.35
288.00	66.40	0.23
240.00	48.60	0.20
912.00	188.00	0.21
48.00	8.40	0.18
168.00	60.60	0.36
72.00	15.20	0.21
120.00	11.30	0.09
72.00	55.50	0.77
240.00	18.50	0.08
48.00	12.90	0.27
72.00	12.30	0.17
48.00	40.10	0.84
24.00	36.00	1.50
72.00	7.10	0.10
24.00	2.20	0.09
24.00	0.20	0.01
48.00	9.90	0.21
48.00	13.10	0.27
24.00	0.20	0.01
144.00	92.50	0.64
24.00	0.80	0.03
144.00	32.90	0.23
96.00	74.20	0.77
144.00	52.90	0.37
384.00	26.30	0.07
312.00	152.90	0.49
168.00	69.40	0.41
24.00	0.20	0.01
384.00	17.30	0.05
984.00	221.50	0.23
96.00	6.10	0.06
48.00	14.80	0.31
720.00	127.50	0.18
48.00	4.80	0.10
168.00	65.30	0.39
144.00	50.10	0.35
72.00	1.80	0.03
24.00	0.20	0.01
48.00	29.10	0.61
24.00	1.40	0.06
48.00	10.00	0.21
72.00	31.60	0.44
96.00	45.60	0.48
216.00	50.10	0.23
24.00	0.20	0.01
48.00	10.00	0.21
168.00	144.60	0.86
96.00	10.20	0.11
96.00	50.90	0.53
24.00	26.00	1.08
120.00	57.60	0.48
168.00	95.30	0.57
168.00	83.70	0.50
144.00	23.70	0.16
24.00	0.20	0.01
288.00	14.10	0.05

b

Tablica 5-3. Oborinski događaji koji su izazvali poplave (označeni plavom bojom): (a) za meteorološku postaju Grič, (b) za meteorološku postaju Kašina

GRİČ		
TRAJANJE OBORINSKOG DOGAĐAJA (sati)	UKUPNA OBORINA (mm)	INTENZITET OBORINE (mm/sat)
168.00	8.80	0.05
1128.00	243.70	0.22
936.00	172.4	0.18
48.00	5.00	0.10
24.00	0.10	0.00
168.00	44.60	0.27
72.00	20.50	0.28
120.00	9.60	0.08
72.00	24.20	0.34
336.00	61.90	0.18
72.00	23.60	0.33
72.00	25.40	0.35
24.00	2.70	0.11
24.00	0.60	0.03
24.00	2.00	0.08
48.00	1.60	0.03
72.00	9.30	0.13
48.00	11.30	0.24
144.00	91.00	0.63
48.00	1.70	0.04
144.00	52.40	0.36
96.00	28.20	0.29
144.00	36.40	0.25
384.00	22.90	0.06
696.00	180.80	0.26
1656.00	194.10	0.12
192.00	5.70	0.03
120.00	17.00	0.14
744.00	89.30	0.12
24.00	5.40	0.23
192.00	53.00	0.28
312.00	31.10	0.10
216.00	55.00	0.25
72.00	40.90	0.57
96.00	43.70	0.46
24.00	0.80	0.03
96.00	37.30	0.39
48.00	9.90	0.21
144.00	47.10	0.33
96.00	3.10	0.03
96.00	48.00	0.50
48.00	33.20	0.69
120.00	30.20	0.25
168.00	86.40	0.51
192.00	100.00	0.52
72.00	18.00	0.25
72.00	3.30	0.05
120.00	0.70	0.01
288.00	125.80	0.44
840.00	123.30	0.15
24.00	7.40	0.31
96.00	36.00	0.38

a

KAŠINA		
TRAJANJE OBORINSKOG DOGAĐAJA (sati)	UKUPNA OBORINA (mm)	INTENZITET OBORINE (mm/sat)
120.00	14.50	0.12
384.00	127.50	0.33
288.00	84.30	0.29
240.00	52.90	0.22
912.00	192.10	0.21
48.00	6.80	0.14
168.00	31.70	0.19
72.00	30.10	0.42
48.00	10.80	0.22
24.00	0.80	0.03
72.00	41.50	0.58
336.00	29.20	0.09
72.00	14.20	0.20
72.00	43.20	0.60
24.00	3.50	0.15
72.00	3.30	0.05
24.00	2.30	0.20
24.00	0.10	0.00
48.00	3.80	0.08
48.00	33.30	0.69
24.00	0.40	0.02
144.00	115.00	0.80
48.00	1.00	0.02
144.00	45.20	0.31
96.00	48.10	0.50
144.00	38.60	0.27
384.00	26.80	0.07
312.00	133.10	0.43
168.00	66.10	0.39
288.00	1.60	0.05
984.00	222.50	0.23
96.00	4.20	0.04
72.00	12.40	0.17
696.00	120.00	0.17
24.00	4.60	0.19
168.00	59.50	0.35
168.00	48.30	0.29
48.00	2.50	0.05
24.00	0.30	0.01
48.00	23.50	0.49
48.00	0.70	0.01
24.00	4.50	0.19
72.00	31.60	0.44
96.00	47.10	0.49
24.00	0.40	0.02
240.00	81.00	0.34
264.00	106.60	0.40
96.00	4.90	0.05
96.00	51.20	0.53
24.00	26.00	1.08
120.00	22.90	0.19
168.00	92.10	0.55
144.00	80.00	0.56
72.00	18.70	0.26
48.00	2.50	0.05
264.00	168.40	0.64
336.00	66.10	0.20
288.00	46.20	0.16
24.00	6.20	0.26
96.00	34.40	0.36

b

Tablica 5-4. Oborinski događaji koji su izazvali poplave (označeni plavom bojom): (a) za meteorološku postaju Kosnica, (b) za meteorološku postaju Maksimir

KOSNICA		
TRAJANJE OBORINSKOG DOGAĐAJA (sati)	UKUPNA OBORINA (mm)	INTENZITET OBORINE (mm/sat)
96.00	10.70	0.11
384.00	157.50	0.41
288.00	57.20	0.20
168.00	48.70	0.29
912.00	186.40	0.20
24.00	4.20	0.18
144.00	16.20	0.11
72.00	10.00	0.14
48.00	7.30	0.15
72.00	24.00	0.33
312.00	39.60	0.13
48.00	15.90	0.33
48.00	60.20	1.25
24.00	2.20	0.09
24.00	0.80	0.03
24.00	0.30	0.01
24.00	0.90	0.04
144.00	116.20	0.81
24.00	3.30	0.14
72.00	50.30	0.70
96.00	32.40	0.34
72.00	40.80	0.57
24.00	1.80	0.08
264.00	29.50	0.11
288.00	118.40	0.41
144.00	69.20	0.48
48.00	3.70	0.08
144.00	10.10	0.07
24.00	1.00	0.04
984.00	256.20	0.26
48.00	5.60	0.12
48.00	7.40	0.15
720.00	129.40	0.18
24.00	5.30	0.22
168.00	38.20	0.23
24.00	1.00	0.04
96.00	8.10	0.08
48.00	2.90	0.06
120.00	34.40	0.29
48.00	11.50	0.24
72.00	53.10	0.74
24.00	27.10	1.13
24.00	7.10	0.30
240.00	85.90	0.36
48.00	9.40	0.20
144.00	91.80	0.64
48.00	5.10	0.11
48.00	52.00	1.08
24.00	20.90	0.87
24.00	3.20	0.13
48.00	12.60	0.26
144.00	68.40	0.48
192.00	105.50	0.55
72.00	27.60	0.38
48.00	2.80	0.06
24.00	2.40	0.10
264.00	140.00	0.53
336.00	70.00	0.21
24.00	1.10	0.05
240.00	38.20	0.16
24.00	12.30	0.51
96.00	46.80	0.49

a

MAKSIMIR		
TRAJANJE OBORINSKOG DOGAĐAJA (sati)	UKUPNA OBORINA (mm)	INTENZITET OBORINE (mm/sat)
1320.00	214.30	0.16
960.00	171.10	0.18
48.00	6.50	0.14
24.00	0.20	0.01
168.00	29.60	0.18
72.00	14.60	0.20
648.00	76.00	0.12
72.00	22.50	0.31
72.00	28.90	0.40
48.00	0.70	0.01
24.00	0.50	0.02
24.00	2.50	0.10
24.00	0.60	0.03
48.00	13.20	0.28
48.00	8.80	0.18
144.00	123.20	0.86
48.00	5.10	0.11
144.00	42.20	0.29
144.00	25.30	0.18
144.00	39.50	0.27
384.00	29.10	0.08
696.00	187.80	0.27
2016.00	216.20	0.11
24.00	0.10	0.00
120.00	14.60	0.12
744.00	98.90	0.13
48.00	4.80	0.10
192.00	55.00	0.29
336.00	61.70	0.18
216.00	52.10	0.24
72.00	47.70	0.66
96.00	47.90	0.50
240.00	53.20	0.22
72.00	11.00	0.15
144.00	88.20	0.61
120.00	2.70	0.02
96.00	42.70	0.44
48.00	37.90	0.79
120.00	31.60	0.26
168.00	65.50	0.39
144.00	89.80	0.62
72.00	20.90	0.29
48.00	2.40	0.05
72.00	0.50	0.01
288.00	127.50	0.44
336.00	76.00	0.23
384.00	42.50	0.11
72.00	7.90	0.11
144	29	0.20

b

Tablica 5-5. Oborinski događaji koji su izazvali poplave (označeni plavom bojom): (a) za meteorološku postaju Markuševac, (b) za meteorološku postaju Mikulići

MARKUŠEVAC		
TRAJANJE OBORINSKOG DOGAĐAJA (sati)	UKUPNA OBORINA (mm)	INTENZITET OBORINE (mm/sat)
504.00	155.60	0.31
288.00	62.00	0.22
240.00	48.00	0.20
912.00	200.60	0.22
24.00	7.50	0.31
144.00	48.50	0.34
96.00	11.90	0.12
48.00	8.00	0.17
24.00	1.00	0.04
48.00	37.00	0.77
192.00	22.20	0.12
72.00	14.80	0.21
48.00	28.00	0.58
72.00	39.00	0.54
48.00	16.00	0.33
24.00	0.50	0.02
24.00	2.00	0.08
24.00	8.30	0.35
48.00	6.50	0.14
48.00	22.00	0.46
24.00	0.80	0.03
144.00	97.50	0.68
144.00	36.00	0.25
96.00	34.00	0.35
72.00	27.80	0.39
24.00	0.50	0.02
264.00	25.90	0.10
576.00	218.20	0.38
288.00	18.00	0.06
480.00	65.90	0.14
384.00	132.30	0.34
96.00	8.90	0.09
72.00	14.00	0.19
696.00	153.60	0.22
48.00	8.00	0.17
168.00	82.00	0.49
120.00	41.50	0.35
24.00	3.00	0.13
48.00	51.00	1.06
120.00	10.50	0.09
72.00	50.00	0.69
48.00	47.00	0.98
96.00	38.50	0.40
48.00	11.50	0.24
144.00	95.00	0.66
48.00	3.00	0.06
96.00	47.00	0.49
24.00	33.00	1.38
120.00	53.50	0.45

a

MIKULIĆI		
TRAJANJE OBORINSKOG DOGAĐAJA (sati)	UKUPNA OBORINA (mm)	INTENZITET OBORINE (mm/sat)
504.00	132.00	0.26
624.00	135.5	0.22
912.00	195.8	0.21
24.00	10.00	0.42
144.00	56.5	0.39
72.00	17.50	0.23
48.00	8.50	0.18
48.00	23.00	0.48
120.00	31.00	0.26
48.00	10.50	0.22
48.00	12.00	0.25
48.00	19.00	0.4
72.00	25.00	0.35
24.00	1.00	0.04
48.00	6.00	0.125
48.00	3.50	0.07
48.00	24.00	0.50
144.00	84.00	0.58
24.00	1.00	0.04
120.00	41.4	0.35
48.00	31.00	0.65
120.00	40.00	0.33
240.00	28.50	0.12
216.00	144.00	0.67
192.00	68.5	0.36
144.00	42.5	0.17
24.00	1.00	0.04
24.00	5.00	0.21
1032.00	240.5	0.23
72.00	9.00	0.125
720.00	158.00	0.22
24.00	8.00	0.33
168.00	42.00	0.25
96.00	34.5	0.36
96.00	20.50	0.21
48.00	18.00	0.38
24.00	12.00	0.5
72.00	33.00	0.46
96.00	40.00	0.42
168.00	62.00	0.37
72.00	12.50	0.17
144.00	76.00	0.53
96.00	13.50	0.14
48.00	73.00	1.52
96.00	35.00	0.36
48.00	36.00	0.75
168.00	58.50	0.35
192.00	98.50	0.51
72.00	17.50	0.24
48.00	3.50	0.07
48.00	24.50	0.51
96.00	115.00	1.20
336.00	74.50	0.22
312.00	58.00	0.19
24.00	5.00	0.21
96.00	33.00	0.34

b

Tablica 5-6. Oborinski događaji koji su izazvali poplave (označeni plavom bojom): (a) za meteorološku postaju Pleso, (b) za meteorološku postaju Rim

PLESO		
TRAJANJE OBORINSKOG DOGAĐAJA (sati)	UKUPNA OBORINA (mm)	INTENZITET OBORINE (mm/sat)
1392.00	183.00	0.13
960.00	205.80	0.21
48.00	3.60	0.08
288.00	23.00	0.08
696.00	71.60	0.10
72.00	16.50	0.23
48.00	51.50	1.07
48.00	0.80	0.02
24.00	0.50	0.02
24.00	0.80	0.03
24.00	0.50	0.02
48.00	6.00	0.13
24.00	0.60	0.03
144.00	91.80	0.64
48.00	0.60	0.01
144.00	61.90	0.43
96.00	32.60	0.34
144	43.1	0.3
384.00	36.00	0.09
696.00	196.90	0.28
24.00	0.10	0.00
552.00	14.20	0.03
1368.00	231.30	0.17
120.00	7.00	0.06
744.00	109.90	0.15
24.00	5.40	0.23
216.00	34.30	0.16
24.00	1.80	0.08
216.00	18.00	0.08
216.00	82.10	0.38
72.00	57.30	0.80
96.00	36.10	0.38
240.00	87.40	0.36
96.00	6.00	0.06
144.00	80.20	0.56
72.00	7.00	0.1
96.00	51.30	0.53
24.00	23.00	0.96
120.00	18.80	0.16
168.00	71.80	0.43
192.00	113.80	0.59
72.00	26.70	0.37
72.00	2.50	0.03
72.00	1.60	0.02
288.00	159.20	0.55
336.00	68.10	0.20
360.00	41.80	0.12
24.00	15.10	0.63
96.00	36.20	0.38

a

RIM		
TRAJANJE OBORINSKOG DOGAĐAJA (sati)	UKUPNA OBORINA (mm)	INTENZITET OBORINE (mm/sat)
120.00	10.10	0.08
384.00	141.20	0.37
336.00	47.50	0.14
192.00	36.50	0.19
912.00	180.50	0.20
24.00	7.30	0.30
168.00	55.00	0.33
72.00	21.80	0.30
48.00	7.20	0.15
24.00	1.50	0.06
72.00	27.20	0.38
240.00	35.00	0.15
48.00	8.30	0.17
48.00	28.40	0.59
48.00	34.50	0.72
24.00	18.80	0.78
24.00	2.20	0.09
48.00	8.20	0.17
48.00	21.50	0.45
144.00	106.40	0.74
48.00	3.40	0.07
144.00	53.40	0.37
72.00	39.40	0.55
96.00	46.20	0.48
384.00	22.40	0.06
552.00	210.60	0.38
24.00	0.70	0.03
72.00	1.10	0.02
288.00	9.70	0.03
984.00	200.20	0.20
96.00	5.90	0.06
48.00	14.20	0.30
744.00	119.00	0.16
24.00	5.80	0.24
168.00	84.00	0.50
24.00	1.80	0.08
120.00	38.60	0.32
96.00	4.30	0.04
120.00	44.30	0.37
48.00	11.30	0.24
72.00	42.20	0.59
96.00	46.30	0.48
240.00	41.00	0.17
48.00	11.20	0.23
144.00	122.40	0.85
48.00	3.20	0.07
96.00	50.60	0.53
24.00	27.90	1.16
120.00	35.60	0.30
168.00	87.60	0.52
168.00	107.00	0.64
48.00	17.40	0.36
48.00	1.50	0.03
48.00	1.80	0.04
96.00	33.10	0.34
96.00	120.40	1.25
336.00	79.70	0.24
360.00	44.00	0.12
24.00	2.70	0.11
96.00	37.90	0.39

b

Tablica 5-7. Oborinski događaji koji su izazvali poplave (označeni plavom bojom): (a) za meteorološku postaju Sasi, (b) za meteorološku postaju Sesvete

SASI		
TRAJANJE OBORINSKOG DOGAĐAJA (sati)	UKUPNA OBORINA (mm)	INTENZITET OBORINE (mm/sat)
168.00	11.30	0.07
384.00	132.00	0.34
624.00	94.90	0.15
912.00	190.80	0.21
48.00	7.60	0.16
144.00	15.90	0.11
72.00	15.40	0.21
48.00	8.30	0.17
72.00	23.50	0.33
240.00	44.40	0.19
48.00	3.50	0.07
72.00	15.20	0.21
72.00	44.00	0.61
72.00	4.90	0.07
24.00	0.80	0.03
48.00	2.20	0.05
48.00	1.10	0.02
144.00	120.10	0.83
48.00	0.70	0.01
144.00	49.50	0.34
96.00	31.50	0.33
144.00	43.80	0.30
384.00	27.80	0.07
312.00	125.00	0.40
168.00	67.90	0.40
24.00	1.20	0.05
96.00	1.50	0.02
1464.00	236.90	0.16
192.00	7.40	0.04
120.00	8.00	0.07
720.00	107.50	0.15
24.00	5.10	0.21
192.00	42.20	0.22
264.00	9.00	0.03
216.00	59.50	0.28
72.00	56.10	0.78
24.00	26.60	1.11
24.00	4.90	0.20
240.00	65.20	0.27
72.00	8.10	0.11
144.00	85.50	0.59
48.00	8.10	0.17
96.00	52.40	0.55
24.00	21.50	0.90
120.00	21.70	0.18
168.00	76.00	0.45
144.00	99.70	0.69
72.00	32.70	0.45
48.00	2.30	0.05
48.00	1.90	0.04
288.00	154.80	0.54
336.00	69.90	0.21
360.00	39.30	0.11
48.00	10.80	0.23
96.00	30.80	0.32

a

SESVETE		
TRAJANJE OBORINSKOG DOGAĐAJA (sati)	UKUPNA OBORINA (mm)	INTENZITET OBORINE (mm/sat)
120.00	13.90	0.12
288.00	106.80	0.37
120.00	33.10	0.28
120.00	17.30	0.14
168.00	48.60	0.29
912.00	167.10	0.18
24.00	7.20	0.30
144.00	30.20	0.21
72.00	6.90	0.10
48.00	8.90	0.19
72.00	34.10	0.47
240.00	36.60	0.15
48.00	3.20	0.07
72.00	13.70	0.19
48.00	25.70	0.54
72.00	8.10	0.11
24.00	2.00	0.08
24.00	0.80	0.03
48.00	3.80	0.08
144.00	133.40	0.93
24.00	0.50	0.02
72.00	40.80	0.57
96.00	33.50	0.35
96.00	47.90	0.50
264.00	25.10	0.10
24.00	3.40	0.14
528.00	168.90	0.32
24.00	1.80	0.08
264.00	9.80	0.04
984.00	204.40	0.21
192.00	6.90	0.04
48.00	6.50	0.14
720.00	107.80	0.15
24.00	4.60	0.19
168.00	56.60	0.34
24.00	2.20	0.09
192.00	48.50	0.25
120.00	39.40	0.33
48.00	8.30	0.17
72.00	59.10	0.82
96.00	32.80	0.34
240.00	63.90	0.27
24.00	7.10	0.30
144.00	69.30	0.48
48.00	3.20	0.07
48.00	45.50	0.95
24.00	21.60	0.90
120.00	19.40	0.16
168.00	73.00	0.43
168.00	104.50	0.62
72.00	23.10	0.32
24.00	1.20	0.05
96.00	2.00	0.02
72.00	60.60	0.84
96.00	94.70	0.99
336.00	67.60	0.20
288.00	34.40	0.12
24.00	10.30	0.43
96.00	31.40	0.33

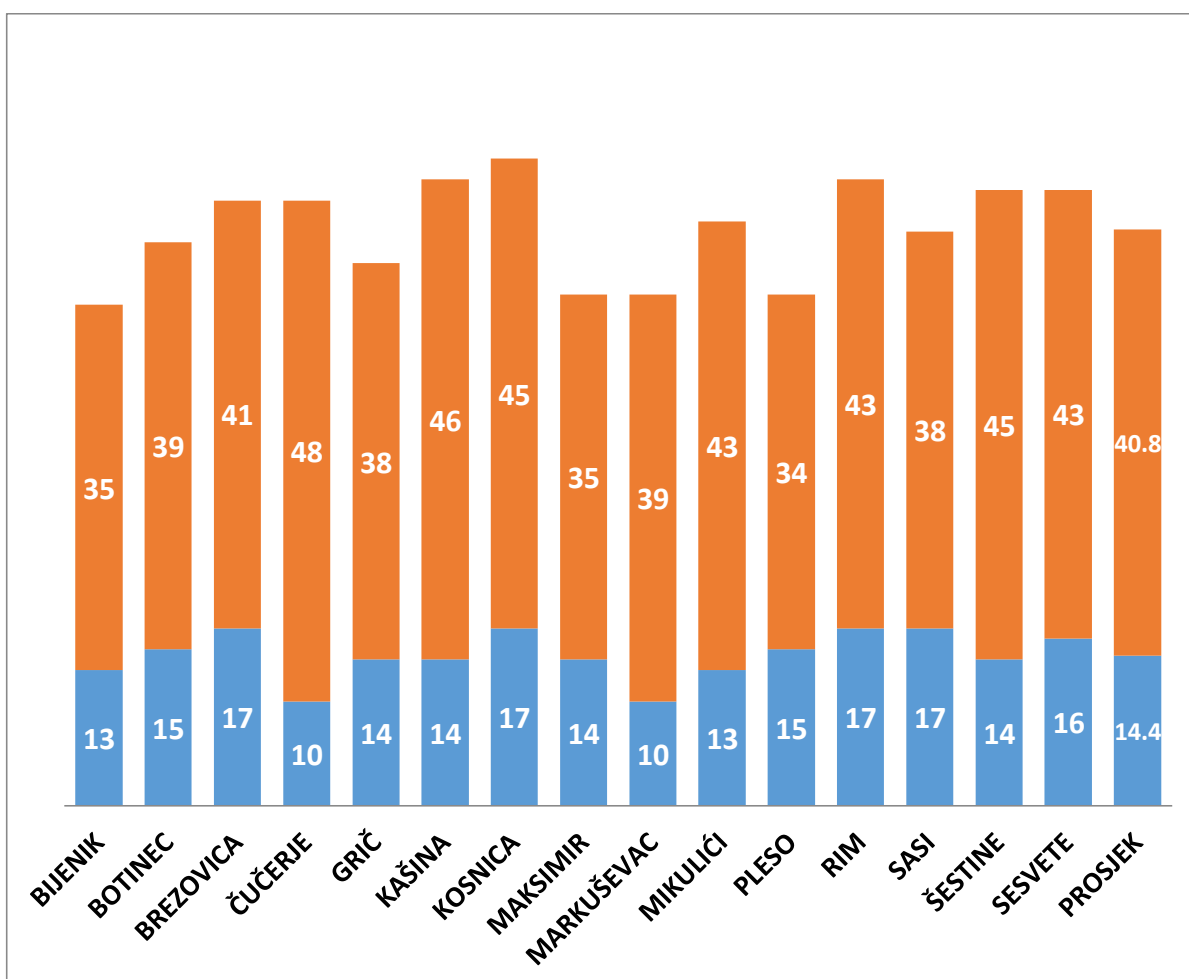
b

Tablica 5-8. Oborinski događaji koji su izazvali poplave (označeni plavom bojom) za meteorološku postaju Šestine

ŠESTINE		
TRAJANJE OBORINSKOG DOGAĐAJA (sati)	UKUPNA OBORINA (mm)	INTENZITET OBORINE (mm/sat)
120.00	8.20	0.07
384.00	121.10	0.32
336.00	48.80	0.15
168.00	49.50	0.29
912.00	169.40	0.19
24.00	4.50	0.19
144.00	37.00	0.26
72.00	10.60	0.15
96.00	7.50	0.08
72.00	27.20	0.38
72.00	24.40	0.34
216.00	33.20	0.15
48.00	27.00	0.56
48.00	25.10	0.52
24.00	1.20	0.05
48.00	5.00	0.10
48.00	26.30	0.55
144.00	77.40	0.54
48.00	0.80	0.02
144.00	40.60	0.28
72.00	44.90	0.62
120.00	29.00	0.24
48.00	0.90	0.02
240.00	16.30	0.07
264.00	140.50	0.53
168.00	54.50	0.32
552.00	14.70	0.03
480.00	67.20	0.14
408.00	126.60	0.31
96.00	5.70	0.06
48.00	10.00	0.21
744.00	131.90	0.18
24.00	9.70	0.40
168.00	81.30	0.48
264.00	46.10	0.17
24.00	0.20	0.01
48.00	21.20	0.44
120.00	13.60	0.11
72.00	43.50	0.60
96.00	37.80	0.39
120.00	56.30	0.47
24.00	0.90	0.04
48.00	2.70	0.06
168.00	94.10	0.56
96.00	6.20	0.06
96.00	58.10	0.61
24.00	28.50	1.19
120.00	44.50	0.37
168.00	67.70	0.40
168.00	95.10	0.57
48.00	17.00	0.35
24.00	1.90	0.08
24.00	0.80	0.03
96.00	27.20	0.28
96.00	153.80	1.60
336.00	66.10	0.20
384.00	39.10	0.10
24.00	5.50	0.23
96.00	31.10	0.32

5.2. Identificirani događaji koji nisu uzrokovali poplave

Za razliku od oborinskih događaja koji su uzrokovali poplave, veći broj oborinskih događaja nije uzrokovao poplave. To su većinom oborinski događaji manjeg intenziteta oborine različitog trajanja, odnosno, događaji u kojima nije pala znatna količina oborine. U Slici 5-1. prikazani su relativni udjeli oborinskih događaja koji nisu uzrokovali poplave i oborinski događaji koji su uzrokovali poplave.



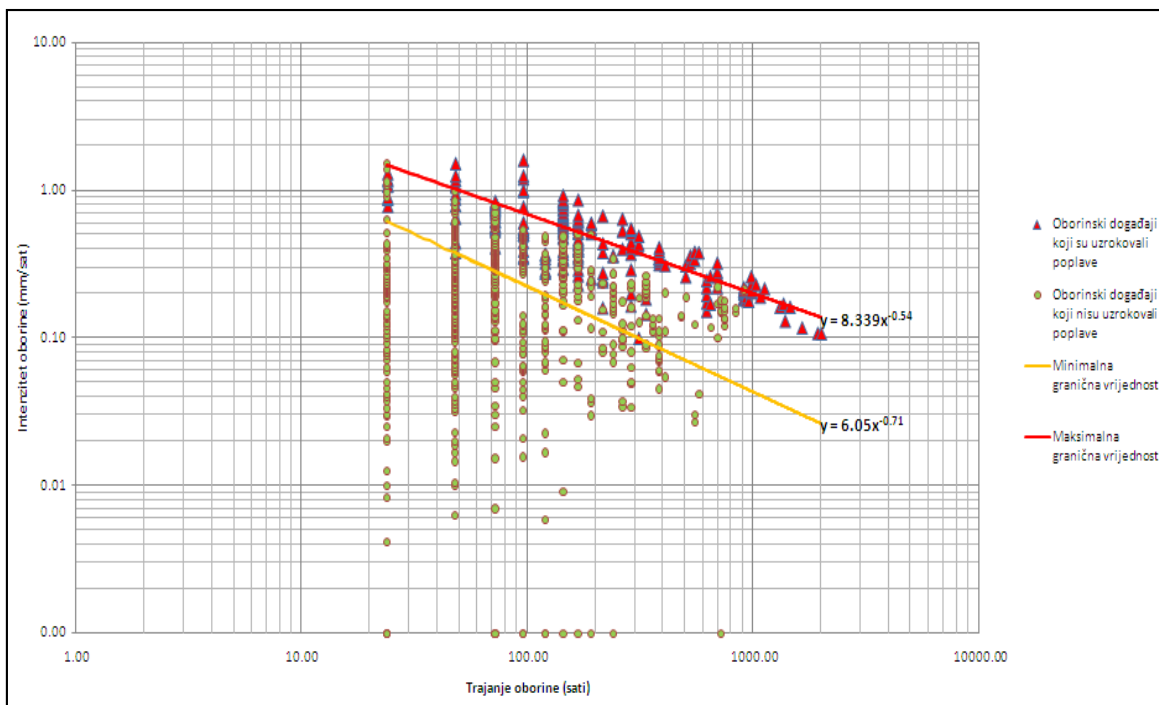
Slika 5-1. Broj oborinskih događaja koji nisu uzrokovali poplave (crveno) i oborinskih događaja koji su uzrokovali poplave (plavo); prikazan za svih 15 analiziranih meteoroloških postaja

Uvidom u Sliku 5-1. vidi se da je broj identificiranih oborinskih događaja koji su uzrokovali poplave veći na području južnog dijela Zagreba (Botinec, Brezovica, Kosnica, Pleso, Sasi) koji je uglavnom dolinsko područje, dok je u brežuljkastom i brdovitom području, broj identificiranih oborinskih događaja koji su uzrokovali poplava manji. U

južnom dijelu Zagreba broj oborinskih događaja koji su uzrokovali poplave je u rasponu od 15 do 17. U brežuljkastom i brdovitom području Zagreba broj oborinskih događaja koji su uzrokovali poplave su u rasponu od 10 do 17. Iz ovoga je jasno vidljivo da je broj oborinskih događaja koji su uzrokovali poplave također ovisan i o nadmorskoj visini. Slična je situacija i kod ukupnog broja identificiranih oborinskih događaja. U južnom dijelu Zagreba, broj oborinskih događaja kreće se u rasponu od 34 do 45, a u brežuljkastom i brdovitom području Zagreba, broj oborinskih događaja se kreće u rasponu od 35 do 48.

5.3. Granična vrijednost intenziteta oborine

U poglavlju Metode istraživanja opisan je način određivanja granične vrijednosti kritične oborine dok su u ovom poglavlju prikazani rezultati odredbe graničnih vrijednosti kritične oborine na temelju svih identificiranih oborinskih događaja sa svih 15 analiziranih meteoroloških postaja na području Grada Zagreba. Granične vrijednosti određene su iz podataka trajanja i intenziteta ukupno 216 oborinskih događaja.



Slika 5-2. Granične vrijednosti kritične oborine za 216 oborinskih događaja koji su prouzročili poplave na području Grada Zagreba 2013. i 2014. godine

Na Slici 5-2. prikazani su svi identificirani oborinski događaji za sve meteorološke postaje u 2013. i 2014. godini. Na temelju ovih podataka određene su dvije granične vrijednosti kritičnih oborina. Minimalna granična vrijednost i maksimalna granična

vrijednost kritične oborine. Minimalna granična vrijednost određena je jednadžbom pravca koji jedan izrazom (Jednadžba 5-1.), a predstavlja pravac, odnosno intenzitet oborine ispod kojeg se ne pojavljuju poplave:

$$y = 6.05x^{-0.71} \quad (5-1)$$

gdje je y = intenzitet oborine (mm/sat), x = trajanje oborine (sat).

Maksimalna granična vrijednost određena je jednadžbom pravca koji je dani izrazom (Jednadžba 5-2.), a predstavlja intenzitet oborine iznad koje se pojavljuju poplave bez oborinskih događaja koji nisu uzrokovali poplave:

$$y = 8.339x^{-0.54} \quad (5-2)$$

gdje je y = intenzitet oborine (mm/sat), x = trajanje oborine (sat).

6. Rasprava

Kod analize podataka o intervencijama ispumpavanja, potrebno je obratiti pažnju na točnost podataka, jer postoji mogućnost unosa krivih podataka, kao što je na primjer točnost datuma intervencija. Primjerice, za intervenciju ispumpavanja u Remetincu upisan je datum 10.7.2014. godine, a uvidom u količinu oborine u najbližoj meteorološkoj postaji Botinec, velika količina oborine pala je na dan 11.7.2014. godine. Vrlo je vjerojatno prilikom ispunjavanja Izvještaja intervencije pogrešno zapisan datum intervencije. U diplomskom radu su provedene korekcije datuma nekoliko intervencija za koje je pretpostavljeno da su pogrešno zapisani prilikom ispunjavanja Izvještaja s intervencije.

Manji nedostaci zamijećeni su i u podacima o oborinama. Naime, za meteorološku postaju Markuševac nedostaju podaci za rujan 2014. godine. Uređaj je zabilježio da je pala oborina ali nisu zabilježene količine oborina. Moguće je da je došlo do kvara uređaja koji 15.10.2014. godine ponovno redovito bilježi visine oborina. Ovaj nedostatak podataka nije bitno utjecao na granične vrijednosti kritične oborine.

Na početku istraživanja, izračunate su kumulativne oborine za 5, 10, 15 i 30 dana kako bi se na temelju njih mogli identificirati oborinski događaji. Najbolje rezultate dale su kumulativne oborine za 5 dana jer najbolje odražavaju oborinske događaje, ali nisu bile toliko precizne da bi poslužile za identifikaciju. Kumulativne oborine za 10 i 15 dana ukazuju na mogućnost da na nekim mjestima možda dolazi do podzemnog dotjecanja vode koja uzrokuje poplave. Primjer za takvu pojavu intervencije na nekom području u razdoblju kada nije bila zabilježena značajna oborina ili uopće nije bilo oborine ali kumulativna oborina za 15 dana nam pokazuje da se ovdje radi o značajnim količinama vode koja je mogla doći kroz podzemlje i uzrokovati poplavu. Ovakvi primjeri otvaraju mogućnosti za neka detaljnija istraživanja sa svrhom zaštite od poplava.

Poznavanje i praćenje otjecanja i njegovog odnosa s oborinama ima veliko značenje u hidrogeologiji, jer je to često puta jedini pokazatelj koji upućuje na visinu evapotranspiracije, infiltracije, punjenje i pražnjenje vodonosnika (Bačani, 2006). U ovom radu nije izravno bilo praćeno otjecanje ali sigurno je ono imalo veliki utjecaj u pojavu poplava kod velikih oborina jer je kod dugotrajnih oborinskih događaja došlo do zasićenja tla koje nije moglo primiti novu količinu oborine i došlo je do površinskog tečenja koje je uzrokovalo poplave.

Nakon odbacivanja mogućnosti identifikacije oborinskog događaja pomoću kumulativnih oborina, provedena je identifikacija oborinskih događaja na temelju razmaka između oborina tako da je u razdoblju od svibnja do listopada, najveći razmak između kontinuiranih oborina dva dana, a za razdoblje od listopada do svibnja četiri dana. Ovaj način daje točniju identifikaciju oborinskih događaja koja se poklapa s datumima intervencija ispumpavanja i zbog toga je korištena u analizi oborinskih događaja.

Kod izrade dijagrama trajanja i intenziteta oborine pojavili su se oborinski događaji koji nisu rezultirali poplavom. Ti oborinski događaji nisu rezultirali poplavom zbog male količine oborine koja je zabilježena na meteorološkoj postaji, odnosno zbog malih intenziteta oborine. Mali intenzitet oborine može bit razlog male količine oborine u kratkom vremenskom intervalu ili umjerene količine oborine u dužem vremenskom intervalu.

Izradom zajedničkog dijagrama graničnih vrijednosti kritičnog intenziteta oborine zapaža se da su granične vrijednosti ujednačene za cijelo područje Grada Zagreba. Duljina vremenskog intervala dostupnih podataka je dvije godine. Ovo je relativno kratki vremenski interval dostupnih podataka i postoji mogućnost proširivanja istraživanja na razdoblje od 10 godina, što najviše ovisi o starosti arhive Izvještaja s intervencija koji se čuvaju u Vatrogasnoj zajednici Grada Zagreba.

Rezultati istraživanja najveću primjenu mogu imati u Uredu za upravljanje u hitnim situacijama, Državnoj upravi za zaštitu i spašavanje i u Vatrogasnoj zajednici Grada Zagreba jer na temelju graničnih vrijednosti kritične oborine moguće je uspostaviti „alarm“, odnosno upozorenje što je osnova za razvoj sustava ranog upozoravanja. Svrha ranog upozoravanja bila bi upozoriti hitne službe da postoji opasnost od pojava poplava na određenom području.

Cilj svakog sustava upozorenja je pružiti korisne informacija za donošenje odluka kao što su izdavanje upozorenja ili aktiviranje potrebne mjere zaštite. Tradicionalni sustavi upozorenja od poplava su na temelju on-line hidroloških i/ili hidrauličnih modela koji pružaju prognoze oborina. Tek nedavno, sustavi upozorenja od poplava se kombiniraju s kvantitativnim prognozama oborina i numeričkim vremenskim modelima, kako bi produžili predviđanja poplava od nekoliko sati do nekoliko dana. Prema tome, sustavi predviđanja poplava obično zahtijevaju hidrološke/hidrauličke modele koji su cijelo vrijeme aktivni kako bi ih se moglo koristiti u hitnim slučajevima (Martina i dr., 2006).

Osim razvoja sustava ranog upozoravanja, rezultati ovog diplomskog rada mogu poslužiti i za izradu prostorne analize pojave poplava na području Grada Zagreba i stvaranje karte rizika i karte hazarda poplava koje uzrokuje obilna oborina. Na kartama rizika i kartama hazarda bila bi identificirana područja koja su izložena riziku poplava. Sama identifikacija područja povećanog rizika od poplava dovela bi do povećanja zaštite od poplava jer bi se zaštita od poplava mogla učinkovitije planirati i provesti. Büchele i dr. (2006) napravili su pomak od klasične zaštite od poplava tako što su uveli integralno upravljanje rizikom od poplava. Razmatrali su više posljedičnih ekstremnih događaja koji nadmašuju mogućnosti objekata za zaštitu od poplava kroz razne scenarije, ali to se odnosi na poplave koje uzrokuje velika voda u vodotoku, a ne obilna količina oborine. U njihovom istraživanju je korištena hidrodinamička simulacija koja je izravno povezana s GIS-om (engl. Geographic Information System) koji omogućuje jednostavnu obradu lokalnih poplava i prostornu analizu rizika.

Prilikom izrade ovog diplomskog rada javio se problem nedostatka domaće literature s problematikom kojom se bavio ovaj rad i zbog toga je korištena međunarodna literatura. Čak i u međunarodnoj literaturi, nije pronađen primjer koji se bavio određivanjem granične vrijednosti oborine za problem poplava koje uzrokuje obilna oborina, već su određene granične vrijednosti oborine za problem klizišta.

7. Zaključak

Iz rezultata ovog diplomskog rada može se zaključiti da za područje Grada Zagreba postoje granične vrijednosti kritične oborine iznad kojih se pojavljuju poplave, odnosno ispod kojih se ne pojavljuju poplave. U ovom diplomskom radu određene su granične vrijednosti kritične oborine za poplave koje je uzrokovala voda koja otječe prema riječnom koritu, a ne voda koja se izlila iz korita potoka. Međutim, nije isključena mogućnost da je analiza rađena i na poplavama prilikom izlivanja vode iz korita potoka.

Granične vrijednosti kritične oborine iskazane su kao minimalna i maksimalna granična vrijednost, a definirane pomoću intenziteta i trajanja sljedećim jednadžbama:

$$y = 6.05x^{-0.71} \text{ (minimalna granična vrijednost) i}$$

$$y = 8.339x^{-0.54} \text{ (maksimalna granična vrijednost)}$$

gdje su: y = intenzitet oborine (mm/sat), a x = trajanje oborine (sat).

Ove granične vrijednosti određene su na temelju podataka trajanja i intenziteta ukupno 216 oborinskih događaja koji su uzrokovali poplave u razdoblju od dvije godine. Minimalna granična vrijednost kritične oborine predstavlja intenzitete oborina određenog trajanja ispod kojih se nije pojavila niti jedna poplava. Maksimalna granična vrijednost predstavlja intenzitete oborina određenog trajanja iznad kojih se su svi oborinski događaji prouzročili poplave.

Analizom izvještaja vatrogasnih intervencija ispumpavanja vode iz objekta i otvorenih prostora utvrđeno je da se od ukupno 1.323 izvještaja za razdoblje od dvije godine, njih 305 odnosi na 2013. godinu i 1.018 izvještaja na 2014. godinu. Usporedbom zabilježenih vatrogasnih intervencija i meteoroloških podataka o dnevnim količinama oborina s 15 meteoroloških postaja na području Grada Zagreba i na području Grada Velike Gorice za 2013. i 2014. godinu identificirani su svi oborinski događaji s obzirom na njihovo trajanje, ukupnu oborinu, intenzitet i položaj u prostoru. Broj oborinskih događaja koji su izazvali poplave različit je u različitim dijelovima Grada Zagreba, a varira od minimalno 10 (meteorološka postaja Čučerje) do maksimalnih 17 (meteorološke postaje Brezovica, Kosnica, Rim i Sasi). Iz usporedbe oborinskih događaja koji su izazvali poplave i oborinskih događaja koji nisu izazvali poplave, vidljivo je da je njihov omjer na pojedinoj meteorološkoj stanici od 1:2,23 do 1:2,69, pri čemu dominiraju oborinski događaji bez poplava.

Na osnovi zajedničkog dijagrama graničnih vrijednosti kritičnog intenziteta oborine uočeno je da su granične vrijednosti ujednačene za cijelo područje Grada Zagreba, usprkos malim varijacijama broja oborinskih događaja koji su intepretirani kao događaji koji su izazvali poplave. Mogućnost primjene granične vrijednosti na cijelom području Grada Zagreba omogućava uspostavljanje jedinstvenog sustava ranog upozoravanja na području cijelog Grada.

Daljnja analiza prostorne distribucije identificiranih oborinskih događaja i registriranih poplava također omogućava izradu karte hazarda i rizika od poplava. Na kartama hazarda bila bi prikazana područja koja su izložena riziku od poplava, a na kartama rizika očekivane štete uslijed potencijalnih poplava. Na temelju ovih karata, mogla bi se unaprijediti zaštita od poplava na području Grada Zagreba.

LITERATURA:

ANNUNZIATI, A., FOCARDI, A., FOCARDI, P., MARTELLO, S., AND VANNOCCI, P. (1999) Analysis of the rainfall thresholds that induced debris flows in the area of Apuan Alps – Tuscany, Italy, Plinius Conference '99: Mediterranean Storms, Ed. Bios., 485-493,

BAČANI, A. (2006): Hidrologija I, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu

BERNAT, S., MIHALIĆ ARBANAS, S., KRKAČ, M, SEČANJ, M., (2014): Inventory of Precipitation Triggered Landslides in the Winter of 2013 in Zagreb (Croatia, Europe), Proceedings of World Landslides Forum 3, 2-6 June 2014, Beijing.

BERNAT, S., MIHALIĆ ARBANAS, S., KRKAČ, M., SEČANJ, M. (2016): Catalog of Precipitation Events that Triggered Landslides in the Northwest Croatia, 2nd Regional Symposium on Landslides in the Adriatic-Balkan Region, Belgrade, Serbia. (u objavi)

BEZIĆ, Z., HAVOIĆ, M. (1994): Sustav obrane od poplave grada Zagreba od brdskih voda, Hrvatske vode, godina 2, broj 7, str. 465-474.

BOGNAR, A. (2001) : Geomorphological Regionalisation of Croatia, Acta Geographica Croatica 34: 7-29

BÜCHELE, B., KREIBICH, H., KRON, A., THIEKEN, A., IHRINGER, J., OBERLE, P., MERZ, B., NESTMANN, F. (2006): Flood-risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 6, 485-503 <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/6/485/2006/>

CAINE, N. (1980): The rainfall intensity – duration control of shallow landslides and debris flows. Geografiska Annaler, Series A, Physical Geography. (1/2): 23–27.

CARPENTER, T. M., SPERFSLAGE, J. A., GEOGAKAKOS, K. P., SWEENEY, T., AND FREAD, D. L. (1999): National threshold runoff estimation utilizing GIS in support of operational flash flood warning systems, J. Hydrol., 224, 21-44.

CLARAIZIA, M., GULLA, G., SORBINO, G. (1996): Sui meccanismi di onnesco dei soil slip. In: Int. Cong. Prevention of Hydrogeological Hazards: The Role of Scientific Research, Vol. 1., Alba: L'Artistica Savigliano pub, pp. 585-597 (in italian).

CROSTA, GB., FRATTINI, P. (2001): Rainfall thresholds for triggering soil slips and debris flow. Proceedings of the 2nd EGS Plinius Conf. on Mediterranean Storms, Siena, Italy. pp. 463-487.

GEORGAKAKOS, K. P. (2006): Analytical results for operational flash flood guidance, J. Hydrol., in press, 317, 81-103.

GUZZETI, F., PERUCCACCI, S., ROSSI, M., STARK, C. P. (2007): Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe, Meteorology and Atmospheric Physics. 98: 239-267.

GUZZETI, F., PERUCCACCI, S., ROSSI, M., STARK, C. P. (2008): The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows: An update. Landslides. 5: 3-17.

JURAK V., ORTOLAN Ž., IVŠIĆ T., HERAK M., ŠUMANOVAC F., VUKELIĆ, I. AND

JUKIĆ, M. (2008). "Geotechnical and seismic microzonation of Zagreb: attempts and realization." Proc. Conf. 'Development of the Zagreb', Zagreb: 99-108.

MANCINI, M., MAZZETTI, P., NATIVI, S., RABUFFETTI, D., RAVAZZANI, G., AMADIO, P. AND ROSSO, R. (2002): Definizione di soglie pluviometriche di piena per la realizzazione di un sistema di allertamento in tempo reale per il bacino dell'Arno a monte di Firenze, Proc. XXVII Convegno di idraulica e Costruzione Idrauliche, Volume, 2, 497-505, Italy.

MARTINA, M. L. V., TODINI, E., and LIBRALON, A. (2006): A Bayesian decision approach to rainfall thresholds based flood warning, Hydrol. Earth Syst. Sci., 10, 413–426, <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/10/413/2006/>

MELILLO M., BRUNETTI M. T., PERUCCACCI S., GARIANO S. L., GUZZETTI F. (2015) An algorithm for the objective reconstruction of rainfall events responsible for landslides. Landslides. 12: 311-320

MIHALIĆ ARBANAS, S., KRKAČ, M., BERNAT, S., ARBANAS, Ž. (2012): Use of existing data in the City of Zagreb (Croatia, Europe) for the purpose of geo-planing,

Advances in underground space development / Zhou, Yingxin ; Cai, Jungang ; Sterling, Raymond (ur.). Singapore : Research Publishing, 465-477.

MONTESARCHIO V., LOMBARDO F. and NAPOLITANO F. (2009): Rainfall thresholds and flood warning: an operative case study, Department of Hydraulics, Highways and Roads. „Sapienza“ University of Rome, Rome, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/135/2009/nhess-9-135-2009.pdf>

NEARY, D. G. AND SWIFT, L. W. (1987): Rainfall thresholds for triggering a debris flow avalanching event in the southern Appalachian Mountains, *Rew. Eng. Geol.*, 7, 81-95.

PILAR M., BRAUN M., BRUNDIĆ D. (1994): Poplava Zagreba pri pojavi velike vode Save u listopadu 1964. godine i stanje izgrađenosti zaštitnog sustava danas, *Hrvatske vode*, broj 7., stranice 443-453.

PIŠL, Z. (2015): Regulacija potoka Čnomerec, sabirnog kanala. geotehničkih građevina i servisnog puta u zoni potoka od kraja ulice Čnomerečki potok do brane Čnomerec, *Elaborat zaštite okoliša*, Zagreb, ires – Institut za istraživanje i razvoj održivih ekosustava, br. projekta: 4643-3/15.GS.

SREBRENOVIĆ D. (1970): Problemi velikih voda, Zagreb, Tehnička knjiga

TROPAN, LJ. (1994): Obrana od poplava – djelovanje službe na rijeci Savi, *Hrvatske vode*, godina 2, broj 7, str. 455-463, Zagreb.

VUJASINOVIĆ B. (2015): Podsjećanje na velike vode u prošlosti, *Hrvatske vode*, br. 91,

ŽUGAJ R. (2015): *Hidrologija*, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu

*** (1992.) - *International Glossary of Hydrology*, 2nd edition, UNESCO and WMO, Paris, Geneve, 413 str.