



R 2.06.

IZRAČUN VJEROJATNOSTI POJAVE POPLAVNOG DOGAĐAJA I NJEGOVOG UTJECAJA NA POPLAVNI RIZIK

Neven Kuspilić, Gordon Gilja, Eva Ocvirk

SAŽETAK: Poplave predstavljaju prirodni fenomen koji nije moguće spriječiti bez obzira na uzrok njihove pojave. Povećana izloženost društva poplavama ima uzroke u demografskim i ekonomskim trendovima kao što je urbanizacija poplavnih područja. Produbljivanje razumijevanja o prirodnim nepogodama podrazumijeva provođenje istraživanja i plana upravljanja rizicima. Za tu svrhu potrebno je poznavati prirodu opasnosti od poplave i s njom povezan rizik. Ovaj rad prikazuje pregled četiri pristupa hidrološkom proračunu protoka prema povratnim razdobljima. Dan je kritički osvrt na izračun rizika tradicionalnim pristupom te je uspoređen s tri predložene metode procjene ukupnog rizika za cijeli period uporabe građevine. Cilj rada je kvantificirati razliku u riziku korištenjem različitih metoda izračuna vjerojatnosti pojave poplave.

KLJUČNE RIJEČI: Rizik od poplava, vjerojatnost pojave poplave, metodologija i štete od poplava

CALCULATION OF FLOOD EVENT EXCEEDANCE AND ITS IMPACT ON FLOOD RISK

SUMMARY: Irrelevant of their origin, floods are a natural phenomenon that cannot be prevented. Demographic and socio-economic trends are playing a role in increasing society's exposure to flood-related damage, through factors such as urbanization of areas vulnerable to flooding. In order to understand natural disasters better, it is necessary to carry out research activities and implement a risk management plan. For these purposes, the nature of the flood hazard and the related flood risk for a specific site has to be determined. This paper reviews four commonly applied approaches to hydrological calculation of the discharge according to return periods. A critical review of the traditional approach to calculation of risk, which is then compared with three proposed approaches to total risk assessment for the entire utilization period of the of a structure. The aim of this paper is to quantify the difference in risk by application of different calculation methods for flood event exceedance.

KEY WORDS: Flood risk, flood event exceedance, methodology, flood damage

1. UVOD

Potencijalne klimatske promjene predstavljaju najveći okolišni, socijalni i ekonomski pritisak na društvo u cjelini. One općenito podrazumijevaju promjene u varijabilnosti te povećanje količine prosječnih oborina što povećava vjerojatnost pojave prirodnih nepogoda, u prvom redu poplava. Poplave predstavljaju prirodni fenomen koji nije moguće spriječiti bez obzira na neposredni uzrok njihove pojave. Naime, neovisno koliko siguran sustav obrane od poplava izgradili uvijek će postojati, iako mala, vjerojatnost njene pojave (Meyer i drugi, 2013). Povećana izloženost društva poplavama ima uzroke u demografskim i ekonomskim trendovima kao što je urbanizacija poplavnih područja. Posljednjih godina došlo je do pojave ekstremnih poplava u više europskih regija, uz primjetan trend značajnog povećanja štete. Dvije poplave s daleko najvećom štetom u povijesti dogodile su se 2002. g. i 2012. g. (Gremli i drugi, 2014). U periodu od 2000. g. do 2012. g. prosječna godišnja šteta u Europskoj uniji iznosila je 4.5 milijarde EUR. Procjenjuje se da će do 2050. g. trend klimatskih promjena, urbanizacije i porasta stanovništva dovesti do prosječnih godišnjih šteta od 23 milijarde EUR. Prirodna pojava postaje elementarna nepogoda u trenutku kad nepovoljno utječe na infrastrukturu i ljudske aktivnosti. Stoga je za provedbu upravljanja rizicima neophodno istraživanjem produbiti poznavanje prirodnih pojava, njihov utjecaj i vjerojatnost pojave.

1.1. Definicija rizika

Direktiva 2007/60/EZ (Europski parlament i Vijeće, 2007) Europskoga parlamenta i vijeća o procjeni i upravljanju poplavnim rizicima definira poplavu kao privremenu pokrivenost vodom zemljišta koje obično nije prekriveno vodom. Rizik i opasnost nisu istoznačnice, no njihova distinkcija ovisi o području unutar kojeg se promatraju. Ingles smatra opasnost precizno određenim nenamjernim (nepredviđenim) događajem, dok rizik definira kao namjeran (predviđen) događaj. Opasnost je urođeno svojstvo koje postaje rizik samo ako postoji konačna vjerojatnost nastanka opasnosti, tj. štete zbog izloženosti i karakteristika receptora. Dakle, osnovni koncept opasnosti je izloženost ljudi i ukoliko oni nisu izloženi poplava se ne smatra opasnošću (Beer i Ziolkowski, 1995; Genovese, 2006).

Krenimo od definicije rizika. Američko udruženje analitičara rizika (US Society of Risk Analysts) definiralo je 13 mogućih definicija rizika čije je zajednička karakteristika da uključuju jedan ili više od triju osnovnih elemenata rizika: (1) vremenski okvir u kojem se rizik promatra; (2) vjerojatnost pojave jednog ili više događaja i (3) mjeru kojom se izražavaju posljedice takvih događaja. Općenita definicija rizika u hidrološkom smislu iz Direktive definira poplavni rizik kao umnožak vjerojatnosti pojave, njene učestalosti i štete koju ta pojava uzrokuje. To znači da je poplavni rizik ekonomska kategorija, odnosno da je jedinica mjere novčana. Ono što Direktivom nije određeno je metodologija kojom se računa poplavni rizik. Time je dana sloboda svakoj članici da odabere svoj način izračuna. Inženjeri stoga imaju zadaću da temeljem teorijskih postavki i osnovne definicije nađu način kvantifikacije poplavnog rizika u svrhu korištenja kao podloge za donošenje odluka u politici smanjenja potencijalnih šteta od poplava. Stoga se rizik matematički najčešće računa kao umnožak opasnosti, izloženosti i osjetljivosti (Beer i Ziolkowski, 1995):

$$R(L) = \int_{-\infty}^{\infty} L(h) \cdot p(h) \cdot dh \text{ [kn];} \quad (1)$$

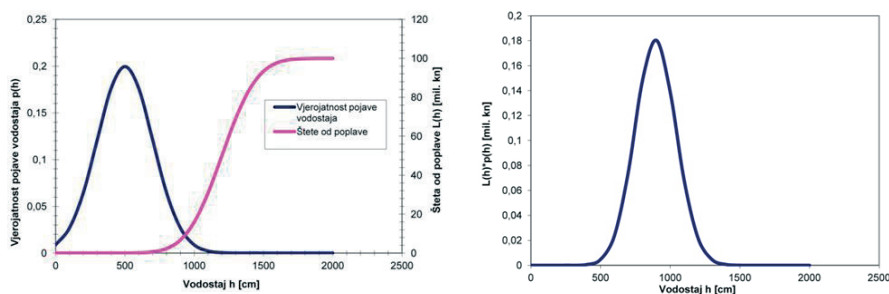
gdje su: $R(L)$ = poplavni rizik [kn]; $L(h)$ = šteta povezana s određenim poplavnim događajem uzrokovanim vodostajem h [kn]; $p(h)$ = vjerojatnost ($0 \leq p(h) \leq 1$) pojave vodostaja h [/].

1.2. Cilj rada

Cilj ovog rada je utvrditi raspon rizika od poplava kada se izračun provodi različitim pristupima na temelju jedinstvenog skupa ulaznih podataka. Problem je relativno jednostavno riješiti kada su poznate zakonitosti pojave poplavnih vodnih valova i kada se procjenjuju materijalne mjerljive štete. Procjena štete je zahtjevan postupak jer je potrebno uzeti u obzir sve čimbenike na terenu, od utjecaja trajanja poplave na štetu do identifikacije oštećenja i vrijednosti svakog pojedinog elementa izloženog poplavi. Dodatni izvor nepouzdanosti je primjena indirektnih metode za izračun štete, tj. preko funkcijske zavisnosti o vodostaju. U ovom radu razmatrana su moguća odstupanja od uobičajenog postupka u obliku definiranja distribucije podataka o protoku, zatim promatranje poplavnih situacija (ovisno o njihovom trajanju) i konačno direktni izračun štete u vijeku uporabe građevine bez svođenja vjerojatnosti na godišnju razinu. Težište istraživanja je na analizi utjecaja ulaznih hidroloških podataka na izračun zakonitosti pojave poplavnih vodnih valova, odnosno vjerojatnost pojave poplavnog događaja na poplavni rizik kao ekonomsku kategoriju.

2. IZRAČUN POPLAVNOG RIZIKA

Za područje potencijalno ugroženo od poplava moguće je izraditi krivulju vjerojatnosti pojave vodostaja (poplavnog događaja) te iskazati procijenjenu štetu s obzirom na vodostaj koji bi izazvao poplavu. Metode koje povezuju vodostaj i štetu uključuju razne kombinacije s protokom i vjerojatnosti pojave koje zajedno tvore matricu šteta i vjerojatnosti. Najčešće korišteni pristup je iskazati štetu kao funkciju vodostaja a vjerojatnost pojave kao funkciju protoka te na taj način iskazati štetu određene vjerojatnosti pojave preko konsumpcijske krivulje (CEIWR-HEC, 1989). Ako se načini analiza tih krivulja za neki hipotetski slučaj moguće je prepoznati da kada poraste vodostaj iznad određene vrijednosti nastaje šteta od poplave. Porastom vodostaja raste i veličina štete od poplave, međutim kada vodostaj premaši neku gornju granicu, vjerojatnost pojave takovog događaja postaje vrlo mala, gotovo zanemariva. Otuda se može zaključiti da je područje vodostaja interesantno za analizu rizika ograničeno, bez obzira što je potencijalna šteta od poplava kod većih vodostaja vrlo velika. Ako napravimo krivulju umnoška vjerojatnosti pojave vodostaja i štete od poplave (slika 1b) dobivamo distribuciju poplavnog rizika. Površina ispod te krivulje predstavlja ukupni poplavni rizik za neko područje. Vidljivo je da je veličina šteta od poplava obrnuto proporcionalna s vjerojatnosti pojave te poplave.



Slika 1. (a) Vjerojatnost pojave vodostaja i procjena štete od poplave ovisno o vodostaju; (b) Poplavni rizik

Jedan od najčešćih postupaka koji se koristi u izračunu poplavnog rizika je vezan uz poistovjećivanje tzv. srednje godišnje štete (očekivane godišnje štete) s rizikom. Iako je točan raspored pojave poplava u nekom periodu nepoznanica, moguće je procijeniti varijaciju rizika od poplave na godišnjoj razini korištenjem raspona poplava s pridruženom vjerojatnosti njenog premašenja u nekoj godini (CEIWR-HEC, 1989). Godišnja vjerojatnost premašenja poplave je inverzna vrijednost povratnog perioda. Najčešći poplavni događaji koji se uzimaju u razmatranje za procjenu godišnje štete od poplave su 10-godišnjeg, 50-godišnjeg, 100-godišnjeg, 200-godišnjeg, 500-godišnjeg i 1000-godišnjeg PP (FEMA, 2014). Pri tome se poplavni događaji različitih povratnih razdoblja najčešće definiraju na temelju učestalosti godišnjih ekstrema. Očekivana godišnja šteta od poplave tada predstavlja integraciju svih rizika prikazanih kumulativnom krivuljom frekvencije rizika:

$$EAD = \int_0^1 R(L) \cdot dL \text{ [kn];} \quad (2)$$

gdje su: EAD = očekivana godišnja šteta od poplave [kn], $R(L)$ = poplavni rizik [kn]. Ukoliko se ovom metodom želi izračunati rizik za cijeli period uporabe građevine, računa se tako da se pomnoži procijenjena godišnja šteta od poplave s promatranim periodom. U obzir se može uzeti i diskontna stopa koja iznosi između 6 % i 9 %.

2.1. Kritika tradicionalnog pristupa

Tradicionalni postupak je jednostavan i brz u primjeni, međutim postavlja se pitanje da li je on stvarno reprezentativan za analize rizika. Problem se javlja kada je potrebno odrediti krivulju vjerojatnosti pojave vodostaja (protoka), što podrazumijeva da se krivulja vjerojatnosti određuje temeljem analize godišnjih ekstrema. Kao događaji koji se analiziraju u određivanju teorijske krivulje raspodjele koriste se povijesni podaci o maksimalnim vrijednostima zabilježenih protoka - jedan podatak za jednu godinu. Standardan postupak u mnogim hidrološkim analizama u konačnici rezultira pojmom povratnog perioda kao inverzne vrijednosti vjerojatnosti premašenja protoka $P(Q)=1/PP$. Pri tome se ne razmatra činjenica da građevine imaju svoj projektni vijek. Uključivanjem te činjenice može se odrediti vjerojatnost premašenja vodostaja definiranog povratnim periodom PP [god], jednom u životnom vijeku konstrukcije LT [god]. Izvodi se iz

vjerojatnosti premašenja slučajne varijable ekstrema R kao: $R=1-(1-1/PP)^{LT}$ (tablica 1).

Tablica 1. Vjerojatnost pojave događaja projektnog povratnog perioda jednom u vremenu projektnog vijeka uporabe građevine

Projektni povratni period [god]	Projektni vijek uporabe građevine [god]						
	2	10	50	100	200	500	1000
2	0.750	0.999	1	1	1	1	1
10	0.190	0.651	0.995	1	1	1	1
50	0.040	0.183	0.636	0.867	0.982	0.999	0.999
100	0.020	0.096	0.395	0.634	0.866	0.993	0.999
200	0.010	0.049	0.222	0.394	0.633	0.918	0.993
500	0.004	0.020	0.095	0.181	0.330	0.632	0.865
1000	0.002	0.010	0.049	0.095	0.181	0.394	0.632

Treba primijetiti da je rizik da se pojavi (ili premaši) neki vodni val 100-godišnjeg PP jednom u 100 godina $R = 0.63$ (ili 63 %). I bez obzira na navedenu činjenicu o smanjenoj vjerojatnosti pojave u odnosu na projektni vijek uporabe građevine, ovakav princip uporabe analize vjerojatnosti godišnjih ekstrema kao inženjerske podloge za dimenzioniranje sustava za obranu od poplava apsolutno je prihvatljiv. Upitna je njegova primjena kod analize rizika iz razloga što ne prati fenomen procesa pojave velikovodnih događaja koji se javljaju više puta godišnje. Na jednom jednostavnom primjeru može se pokazati neispravnost takovog razmišljanja. Ako se uzme u obzir poplava povratnog perioda 2 godine, vjerojatnost njenog premašenja je 0.5. To znači da je za očekivati da 50 % velikovodnih događaja premašuju vodostaj koji odgovara 2 godišnjem povratnom periodu. Intuitivno je jasno da to jednostavno ne odgovara stvarnosti i da je takova procjena značajno pretjerana. Otuda proizlazi ideja da se u analize treba uzeti u obzir događaje koje smatramo velikovodnim kroz broj pojavljivanja i njihovo trajanje, na što uvelike utječu karakteristike sliva i oborina.

Osim navedenih nedostataka tradicionalnog pristupa na rezultate znatno utječe i kvaliteta ulaznih podataka. Mreža vodomjernih stanica omogućava ograničen skup podataka koji služi za prognoze poplavnih događaja velikog PP. Često skup podataka ne seže daleko u prošlost ili postoje rupe u nizu podataka. Uzevši u obzir način posredno određivanje protoka i činjenicu da izračun vjerojatnosti poplave nije egzaktna znanost nameće se zaključak da rezultati mogu znatno varirati u ovisnosti o ulaznim podacima. Stoga pri ovakvim izračunima dolazi do zaključivanja na temelju proturječnih podataka i dolazi do pojave 100-godišnjih voda u relativno kratkom periodu (FEMA, 2014). Kao nepisano pravilo preporuča se ne predviđati poplave povratnog perioda duplo duljeg od dostupnog niza podataka (IACWD, 1982).

USACE u analizi poplavnih događaja uvodi i mjeru nepouzdanosti u vidu intervala pouzdanosti oko krivulje funkcije protoka i PP. Nepouzdanost uvode primjenom Monte Carlo simulacijske metode na skupu sličnih podataka koji rezultiraju jednim podatkom, npr. 100-godišnjim protokom te analiziraju distribuciju takvog skupa oko medijana. Ono što se također može ocijeniti je da tradicionalni pristup daje kao rezultat veće vrijednosti rizika od teorijski ispravnijih postupaka, dakle na strani je sigurnosti (NRC, 1995; Goldman 1997).

2.2. Metodologija

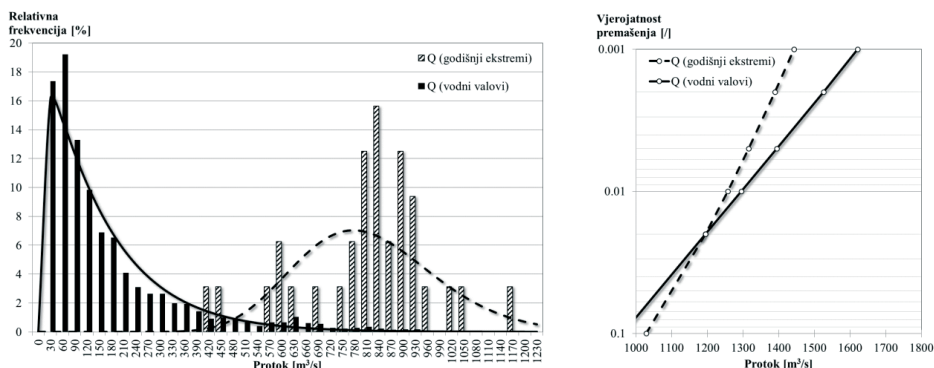
U ovom radu analiziran je rizik od poplave za period uporabe građevine u sustavu pasivne zaštite od poplava, tj. 100 godina. Opasnost od poplava je izračunata za povratni period od 10, 50, 100, 200 i 1000 godina. Ulazni podaci za analizu su dnevni podaci o protoku s VP Brodarci na rijeci Kupi u periodu od 1982. g. do 2013. g. Uzevši u obzir da je cilj ovog rada usporedba metoda i da ne postoje podaci o potencijalnim štetama od poplave za potrebe izračuna rizika korištena je generička krivulja štete u ovisnosti o protoku, a izražena je kao postotak totalne štete. Iz istog razloga je iz analize izostavljena i diskontna stopa. Analiza je provedena pomoću 4 metode koje su opisane u nastavku:

1. **Metoda izračuna godišnje štete na temelju povratnih perioda definiranih iz niza godišnjih ekstrema (MGE):** Ova metoda prati konvencionalni pristup izračuna očekivane godišnje štete. Izračun protoka poplavnih događaja određenog povratnog perioda radi se iz funkcije distribucije godišnjih ekstrema. Potrebno je naglasiti da je ovdje broj događaja jednak broju godina. Referentna vjerojatnost premašenja određenog protoka jednaka je inverznoj vrijednosti povratnog perioda. Očekivana godišnja šteta predstavlja integral ispod krivulje rizika diskretizirane prema povratnim periodima. Ukupni rizik za razdoblje uporabe građevine dobiva se množenjem očekivane godišnje štete i predviđenog vijeka uporabe građevine.
2. **Metoda direktnog izračuna štete u vijeku uporabe građevine (MTG):** U ovoj metodi se, za razliku od uobičajene metode kod koje se poplavni rizik svodi na godišnju štetu, promatra vjerojatnost pojave poplavnog događaja u projektnom vijeku uporabe građevine (prema tablici 1). Tijek izračuna po svemu prati prethodnu metodu.
3. **Metoda izračuna štete na temelju niza vodnih valova (MVG):** Ova metoda se temelji na pretpostavci da se dinamika protoka unutar godine odvija kao niz vodnih valova istog trajanja. Podaci koji sačinjavaju distribuciju sastoje se od vršnog protoka svakog vodnog vala. Trajanje vodnog vala usvojeno je kao petodnevno razdoblje na temelju analize nivograma. To znači da se kroz period analize broj događaja definira kao kvocijent vremena i prosječne duljine trajanja vodnog vala. Na temelju ove distribucije računaju se protoci određenog povratnog perioda koji se koriste za procjenu rizika. Ostali tijek izračuna po svemu prati metodu direktnog izračuna štete u vijeku uporabe građevine.
4. **Metoda izračuna šteta na temelju definiranja poplavnih situacija (MPS):** Ideja metode je da se u razdoblju raspoloživih podataka definira veličina protoka pri kojem dolazi do inicijalne pojave štete te se promatraju samo protoci veći od praga. U obzir se uzima i međusobna nezavisnost podataka te trajanje koje utječe na razmjere štete. Na taj način zapravo se analiziraju poplavne situacije, ali i definira potrebni ulazni podatak za korištenje u prethodno prikazanoj metodi u cilju dobivanja podataka samo za događaje koji su uzrokovali štetu. Broj događaja jednak je broju vodnih valova preko zadanog praga. Najveći izazov u primjeni ove metode je procijeniti nezavisnost podataka (IACWD, 1982).

3. REZULTATI

Iz osnovnog skupa podataka izdvojena su dva podskupa potrebna za analizu u skladu s četiri analizirane metode: skup maksimalnih godišnjih protoka i skup maksimalnih protoka vodnih valova. Na svaki od skupova prilagođena je odgovarajuća funkcija

distribucije gustoće vjerojatnosti, a najpogodnijom pokazala se Gamma distribucija. U nastavku su prikazana oba skupa podataka histogramom učestalosti s prilagođenim funkcijama distribucije vjerojatnosti.



Slika 2. (a) Histogram učestalosti s prilagođenim funkcijama distribucije gustoće vjerojatnosti; (b) Kumulativna distribucija vjerojatnosti

Iz grafike je vidljivo da funkcija distribucije bolje opisuje skup podataka o trajanju vodnog vala od skupa godišnjih ekstrema. Protoci vodnih valova pravilno su raspoređeni, najbrojniji su vodni valovi malih protoka a najrjeđi oni s najvećim protokom. Većina godišnjih maksimuma je grupirana u rasponu od 730 do 960 m³/s, sa svega tri opažena veća protoka i uz 7 manjih protoka. Ovakvu učestalost je teško opisati teorijskom distribucijom jer je učestalost podataka oko srednje vrijednosti prevelika, a mali protoci razvlače funkciju distribucije na lijevo. U tablici 2 su prikazani rezultati protoka izračunatih iz obje distribucije za karakteristične povratne periode, pri tome su vjerojatnosti premašenja računate prema izrazu $\frac{1}{N} \left(\frac{1}{P(Q)} - 1 \right)$ gdje je N broj promatranih godina, n ukupni broj opaženih događaja u promatranom periodu od N godina, a P(Q) vjerojatnost premašenja promatranog protoka Q. Dakle, ovisno o metodi (odnosno korištenom skupu podataka) razlikuje se vjerojatnost premašenja protoka istog povratnog perioda.

Tablica 2. Protoci karakterističnih povratnih perioda prema dva podskupa podataka

Projektni povratni period [god]	Niz godišnjih ekstrema		Niz vodnih valova	
	Vjerojatnost premašenja godišnjeg ekstrema [/]	Protok [m ³ /s]	Vjerojatnost premašenja vodnog vala [/]	Protok [m ³ /s]
5	0.2	941	27.40×10^{-4}	863
10	0.1	1028	13.70×10^{-4}	963
50	0.02	1194	2.74×10^{-4}	1195
100	0.01	1257	1.37×10^{-4}	1295
200	0.005	1316	0.68×10^{-4}	1394
500	0.002	1390	0.27×10^{-4}	1526
1000	0.001	1443	0.14×10^{-4}	1621

Vidljivo je da postoji mala razlika u izračunu protoka prema povratnim periodima između dviju funkcija koja se za uobičajenu primjenu može zanemariti, ali u proračunu rizika uzimajući u obzir vjerojatnost premašenja razlika u metodama je znatna (tablica 3).

Tablica 3. Izračunata šteta i ukupan rizik za analizirane metode

Rizik [%]	Metoda				
	Metoda očekivane godišnje štete	Metoda direktnog izračuna štete u vijeku uporabe građ.	Metoda niza vodnih valova prema vjerojatnosti pojave	Metoda niza vodnih valova prema PP	Metoda poplavnih situacija
Rizik na godišnjoj razini	2.22	2.11	0.03	2.27	0.76
Ukupan rizik u vijeku uporabe građ	222	45	3	57	76

Promatrajući rizik na razini jedne godine pokazuju se da nema značajnije razlike (< 5 %) među metodama, izuzev metode niza vodnih valova promatrane prema vjerojatnosti premašenja iz tablice 2. Metoda poplavnih situacija daje najmanje vrijednosti jer unutar promatranog razdoblja nisu uočene značajnije poplave. Kada se integracijom prema vjerojatnosti izračuna ukupan rizik za cijelo razdoblje uporabe građevine, u ovom slučaju 100 godina za nasip, vide se velike razlike u izračunatim vrijednostima. Najveći rizik daje tradicionalna metoda godišnjih ekstrema, 222 % ukupne vrijednosti ugrožene imovine. Rizik izračunat metodom direktnog izračuna štete u vijeku uporabe građevine iznosi 45 %, tj. 20 % u odnosu na tradicionalnu metodu što je očekivana vrijednost u skladu s tablicom 1. Metodologija izračuna je ista za metodu direktnog izračuna štete u vijeku uporabe građevine i metodu niza vodnih valova te daju i slične rezultate. Razlika među njima je 27 %, a posljedica je razlike u izračunatim protocima za povratne periode. Metoda poplavnih situacija daje nešto veću vrijednost ali još uvijek ispod 35% u odnosu na tradicionalnu metodu. Razlika u riziku primarno je posljedica razlike u šteti koju proizvode poplavni događaji relativno velike vjerojatnosti pojave, tj. protoci 50-godišnjeg i 100-godišnjeg PP. Iako su protoci slični za obje distribucije, razlika je u promatranju vjerojatnosti pojave tih događaja. Prema tradicionalnoj metodi u 100-godišnjem periodu očekuje se pojava dva protoka 50-godišnjeg PP i jednog 100-godišnjeg PP nasuprot stvarnoj vjerojatnosti pojave tih događaja koja iznosi 87 % i 63 %.

ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazana je nadogradnja tradicionalnog pristupa procjene rizika od poplava, nastala iz potrebe za statistički korektnijim opisom vjerojatnosti pojave poplavnih događaja. Identificirane su manjkavosti tradicionalnog pristupa i kvantificiran njihov doprinos na izračun ukupnog rizika za period uporabe građevine, tj. sustava za zaštitu od poplava. Prikazani pristup određivanju protoka povratnog perioda iz funkcije distribucije gustoće vršnih protoka vodnih valova pokazao se kao kvalitetna alternativa tradicionalnom pristupu, tj. pokazalo se da znatno bolje opisuje rizik od poplava na stvarnom primjeru. Saznanja iz ovog rada potrebno je verificirati na većem broju riječnih dionica. Vjerojatnost pojave štete mijenja se s godinama uslijed klimatskih promjena i

promjena na slivu te je rezultate proračuna potrebno periodički verificirati i po potrebi obnavljati.

LITERATURA

- [1] Beer, T., Ziolkowski, F., (1995): *Environmental risk assessment: An Australian perspective*, Australian Academy of Science, Darwin, 125
- [2] CEIWR-HEC, (1989): *Expected Annual Flood Damage Computation*, Institute for Water Resources - Hydrologic Engineering Center, Davis, 188
- [3] National Research Council (NRC), (1995): *Flood Risk Management and the American River Basin: An Evaluation*, National Academy of Sciences, Washington, 256
- [4] Europski parlament i Vijeće, (2007): *Direktiva 2007/60/EZ Europskoga parlamenta i vijeća od 23. listopada 2007. o procjeni i upravljanju poplavnim rizicima*, OJ L288/27
- [5] FEMA, (2014): *Flood Risk Assessments*, Federal Emergency Management Agency.
- [6] Genovese, E., (2006): *A methodological approach to land use-based flood damage assessment in urban areas: Prague case study*, Institute for Environment and Sustainability, Land Management and Natural Hazard Unit, Luxembourg, 39
- [7] Goldman, D., (1997): *Estimating Expected Annual Damage for Levee Retrofits*, Journal of Water Resources Planning and Management, 123(2): 89-94.
- [8] Gremli, R., Keller, B., Sepp, T., Szönyi, M., (2014): *European floods: using lessons learned to reduce risks*, Zurich Insurance Company Ltd, Zurich, 10
- [9] Meyer, V. et al., (2013): *Assessing the costs of natural hazards – state of the art and knowledge gaps*, Natural Hazards and Earth System Sciences, 13: 1351–1373.
- [10] U.S. Interagency Advisory Committee on Water Data (IACWD), (1982): *Guidelines for determining flood flow frequency*, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 194

AUTORI

prof. dr. sc. Neven Kuspilić, dipl. ing. građ. ^a

dr. sc. Gordon Gilja, dipl. ing. građ. ^a

doc. dr. sc. Eva Ocvirk, dipl. ing. građ., dipl. ing. mat. ^a

^a Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Fra Andrije Kačića-Miošića 26, Zagreb, 10000, Republika Hrvatska, kuspa@grad.hr; ggilja@grad.hr; ocvirk@grad.hr

