



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,  
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

UNIVERSITY OF SPLIT  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING,  
ARCHITECTURE AND GEODESY

**KVALIFIKACIJSKI DOKTORSKI ISPIT**

**Toni Kekez**

**Upravljanje rizikom od poplava**

**Split, rujan 2015.**

## 1. UVOD

Poplava je prirodni fenomen prilikom kojeg dolazi do izlivanja veće količine vode na teren koji u normalnim uvjetima nije pod vodom. Poplave spadaju u kategoriju prirodnih katastrofa koje mogu uzrokovati gubitke ljudskih života, uništavanje domova, infrastrukture, poljoprivrednih površina te mogu dovesti do značajnih izmjena u okolišu (*Simonović, 2013.*). Slika 1. prikazuje područje zahvaćeno poplavom gdje se može vidjeti štetni utjecaj poplave na stanovništvo i infrastrukturu. Svake godine bilježi se učestali broj poplava koje stvaraju velike financijske gubitke te imaju snažan sociološki i ekonomski utjecaj na društvo. Poplave u rijekama mogu biti uzrokovane klimatološkim uvjetima poput padalina, otapanja snijega odnosno otapanja leda ali mogu biti uzrokovane i ostalim pojavama poput potresa, odrona zemljišta te puknuća brana ili drugih hidrotehničkih objekata (*Bonacci, 2003.*). Uslijed takvih uvjeta dolazi do formiranja poplavnog vala u riječnom koritu koje često nema kapacitet prihvatanja tolikih količina vode te dolazi do prelijevanja vode iz korita rijeke u inundacijsko područje ali i izvan njega. Poplavni val koji teče nizvodno predstavlja opasnost za ljudske živote i često stvara veliku materijalnu štetu te može generirati iznimne posljedice ukoliko pogođene strane poplavu dočekaju nepripremljene (*Nunes Correia et al., 1998.*).



*Slika 1. Područje zahvaćeno poplavom*

Upravljanje rizikom od poplava predstavlja planiranje sustava koji bi omogućio smanjenje rizika kroz različite strukturne i nestrukturne mjere ali se također odnosi i na procese upravljanja u postojećim situacijama tijekom poplava a sve u svrhu smanjenja mogućih posljedica katastrofe na pogođenom području (*Plate, 2002.*). Preliminarna procjena rizika, koja se sastoji od definiranja hazarda i ranjivosti pojedinih područja te obuhvaća postojeće ili nepostojeće mjere obrane od poplava, definira parametre za izradu preliminarnih karata rizika. Na temelju navedenih karata rizika izrađuju se planovi upravljanja rizikom koji definiraju kakve mjere je potrebno provesti za smanjenje rizika na promatranom području te analizu učinkovitosti odabranih mjera (*Pistrika & Tsakiris, 2007.*).

## **2. TRENUTNO STANJE ISTRAŽIVAČKOG PODRUČJA**

Rizik od poplava predstavlja kombinaciju vjerojatnosti pojave poplave i mogućih štetnih posljedica na zdravlje ljudi, okoliš, kulturnu baštinu i gospodarsku aktivnost koje se povezuju s poplavama (2007/60/EC). Istraživanje, kao i postojeća dobra praksa, u području procjene rizika od poplava temelji se na procjeni veličina kao što su hazard i ranjivost koje se u raznim funkcionalnim zavisnostima koriste za definiciju i procjenu rizika. Pojava rizika povezana je s dovođenjem u opasnost ljudskih života ili imovine (*Kron, 2002.*) međutim ukoliko nema ugroženih strana smatra se da nema ni rizika. Definicija rizika (*Kron, 2005.*) može se prikazati kao:

$$Rizik = f(\text{hazard}, \text{ranjivost})$$

### **Hazard**

Hazard predstavlja svojstvo događaja određene vjerojatnosti pojave koji može ugroziti ljudski život (*Spachinger et al. 2008.*). Može se definirati i kao jačina utjecaja neke prirodne katastrofe na ljudski život i imovinu. Međutim, procjena poplavnog hazarda odnosi se uglavnom na ugroženost ljudskog života. U prvom koraku izračunava se protok za određeni

povratni period koji predstavlja prosječno vrijeme  $T$  između pojave poplave koja je jednaka ili veća od neke očekivane vrijednosti poplave  $x$ .

$$T = \frac{1}{1 - P[X \leq x]} = \frac{1}{P[X \geq x]}$$

Prilikom procjene hazarda nužno je definirati veličinu poplave za određene vjerojatnosti pojave odnosno povratne periode na područjima koja bi mogla biti poplavljena:

- (a) poplave male vjerojatnosti ( $Q_{500}$ ,  $Q_{1000}$ ),
- (b) poplave srednje vjerojatnosti ( $Q_{100}$ ,  $Q_{200}$ ),
- (c) poplave velike vjerojatnosti ( $Q_{10}$ ,  $Q_{25}$ ).

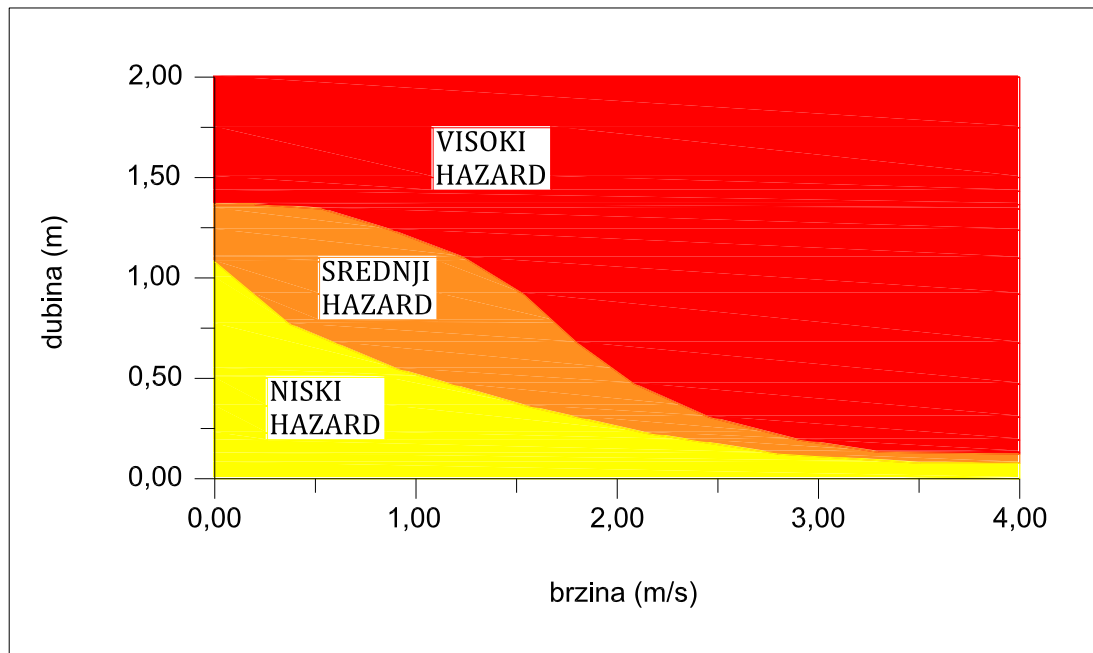


*Slika 2. Modelski prikaz poplave za odabrani protok (Simonović, 2013.)*

Prilikom procjene hazarda u drugom koraku potrebno je, za izračunatu veličinu protoka, definirati karakteristike poplave za poplavljeno područje (*De Bruijn et al. 2015.*) koje su nužne za definiranje stupnja hazarda i jačine utjecaja na stanovništvo:

- opseg poplava – pretpostavljena površina koja će se naći pod vodom,

- dubina vode ili vodostaj,
- brzina toka.



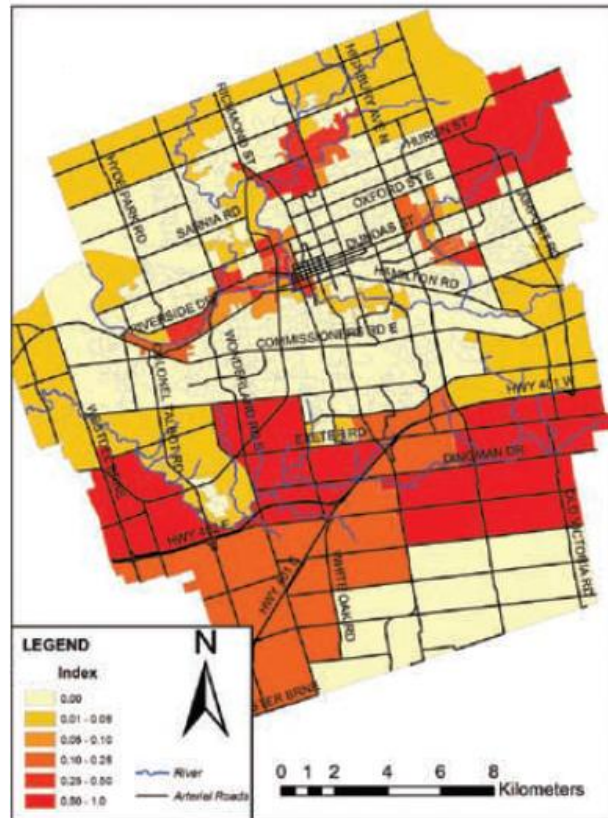
*Slika 3. Procjena hazarda uzrokovanog brzinom toka i dubinom vode (izvor: Bureau of Reclamation)*

Procjena hazarda definira se kroz utjecaj poplavne vode izražen kroz brzinu toka i dubinu vode. Navedeni parametri odabrani su iz razloga što se pomoću njih najlakše procjenjuje opasnost od utjecaja poplavne vode na odraslog čovjeka.

Kao rezultat procjene hazarda izrađuju se karte poplavnog hazarda za analizirano područje gdje se hazard definira u tri osnovne kategorije:

- niski hazard,
- umjereni hazard,
- visoki hazard.

Niski hazard ne predstavlja opasnost za odraslu osobu, umjereni hazard zahtijeva izniman oprez dok visoki hazard predstavlja opasnost od poplave za odraslu osobu bilo koje dobi.



Slika 4. Karta poplavnog hazarda (Simonović, 2013.)

## Ranjivost

Ranjivost predstavlja osobinu sustava da pretrpi štetu uslijed pojave nekog ekstremnog događaja (De Wrachien et al. 2008.). Pomoću ranjivosti može se opisati stupanj osjetljivosti sustava da se bori s izloženosti određenim nepogodama. Ranjivost je funkcija karaktera sustava i jačine udara kojima je sustav izložen i može se definirati kao:

$$\text{Ranjivost} = \text{osjetljivost} \times \text{izloženost}$$

## Osjetljivost

Osjetljivost se može izraziti kao svojstvo koliko se pojedini dio sustava može boriti s poplavama te kakve posljedice to ostavlja na sustav. Može se procijeniti kroz potencijalnu štetu koja može nastati uslijed pojave poplavnog vala.

RANJIVOST		OSJETLJIVOST			
		VISOKA	UMJERENA	NISKA	NEMA
IZLOŽENOST	VISOKA	VISOKA	VISOKA	UMJERENI	UMJERENI
	UMJERENA	VISOKA	UMJERENA	UMJERENI	NISKA
	NISKA	UMJERENA	UMJERENA	NISKA	NISKA
	NEMA	UMJERENA	NISKA	NISKA	NEMA

Tablica 1. Podjela ranjivosti temeljem koncepta osjetljivosti i izloženosti (izvor: Report On Vulnerability Analysis, International Sava River Basin Commission)

### Izloženost

Izloženost se može opisati koliko dugo i koliko često je sustav izložen nekoj katastrofi (Brooks, 2003.). Izloženost ovisi o tome gdje ljudi žive te kako stvaraju svoja naselja i zajednice. Kod pojave poplava izloženost može trajati jako dugo što može generirati izuzetne posljedice za razliku od nekih drugih prirodnih katastrofa koje imaju jako kratko trajanje (Aubrecht et al. 2012.). Razina izloženosti definira se kao:

- Visoka izloženost – područja zahvaćena poplavom veće vjerojatnosti pojave (Q10,Q20),
- Umjerena izloženost – područja zahvaćena poplavom srednje vjerojatnosti pojave (Q100),
- Niska izloženost – područja zahvaćena poplavom male vjerojatnosti pojave (Q500,Q1000),
- Nema izloženosti područja koja nisu zahvaćena poplavama.

RIZIK		RANJIVOST		
		VISOKA	UMJERENA	NISKA
HAZARD	VISOKI	VISOKI	VISOKI	UMJERENI
	UMJERENI	VISOKI	UMJERENI	NISKI
	NISKI	UMJERENI	NISKI	NISKI

Tablica 2. Podjela rizika prema procjeni hazarda i ranjivosti (izvor: Report On Vulnerability Analysis, International Sava River Basin Commission)

Upravljanje rizikom predstavlja skup radnji za smanjenje posljedica poplava. Svrha upravljanja rizikom je kontroliranje poplava u smislu pripremljenosti i minimiziranja utjecaja (Plate, 2002.). Uz procjenu rizika, upravljanje rizikom odnosi se i na upravljanje postojećim sustavom kao i primjenu različitih strukturnih i nestrukturnih mjera za smanjenje rizika.

### Strukturne mjere

Strukturne mjere podrazumijevaju zahvate u prostoru poput izgradnje brana, akumulacija i nasipa te poboljšanja postojeće infrastrukture u svrhu zadržavanja i preusmjerenja vode od branjenog područja. Međutim, strukturne mjere ne mogu u cijelosti eliminirati rizik od poplava te zbog svoje fizičke prisutnosti mogu stvoriti lažni osjećaj sigurnosti među stanovništvom što može dovesti do naseljavanja i korištenja zemljišta u zabranjenim zonama (Simonović, 2013.).

### Nestrukturne mjere

Nestrukturne mjere imaju ulogu smanjenja mogućih posljedica rizika koje nije moguće eliminirati strukturnim mjerama (Molinari et al. 2013., Koks et al. 2014.). Nestrukturne mjere mogu biti:



- novelacija prostornih planova, reguliranje namjene i korištenja zemljišta,
- prognoziranje poplava, sustavi za rano uzbunjivanje,
- mjere obrane od poplava,
- pripremljenost i odgovor na katastrofu te oporavak nakon katastrofe.

Planovi za upravljanje rizikom fokusiraju se na prevenciju, zaštitu i pripremljenost te ih je nužno pravovremeno ažurirati uzevši u obzir sve promjene u sustavu. Svrha navedenih skupina mjera jest upravljanje rizikom od poplava odnosno smanjenje rizika u svrhu minimiziranja gubitaka ljudskih života i štete na imovini te infrastrukturi. Provođenje ovakvih mjera dovodi do podizanja razine pripremljenosti i otpornosti sustava na pojavu poplava te brži povratak u prvobitno stanje (*De Bruijn, 2004., Vis et al. 2003.*).

### **3. SMJERNICE BUDUĆEG ISTRAŽIVANJA**

Prema ranije navedenoj definiciji, procjena rizika sastoji se od dvije osnovne komponente: hazarda i procjene ranjivosti. Budući da procjena rizika nije deterministički proces potrebno je uzeti u obzir i određene nepouzdanosti kako bi procjena rizika bila što preciznija u cilju donošenja optimalnih odluka za upravljanje rizikom pri eventualnoj pojavi poplava na nekom području (*Apel et al., 2004.*). Donošenje optimalnih odluka za upravljanje rizikom moguće je očekivati onda kada su uzete u obzir sve relevantne nepouzdanosti. Nedostatak detaljne analize nepouzdanosti može dovesti do pogrešne procjene parametara rizika te samim time značajno utjecati na izradu planova i strategija upravljanja rizikom od poplava (*Merz & Thielen, 2005.*). Izvori nepouzdanosti mogu biti u procjenama hidroloških i hidrauličkih parametara poplava ali i u procjeni hazarda odnosno ranjivosti od poplava. Niže su navedeni neki od izvora nepouzdanosti u procjeni rizika od poplava (*Apel et al., 2006, 2008.*):

- ulazni hidrološki podaci za generiranje sintetičkog poplavnog vala,

- korelacija glavnog toka i eventualnih pritoka te brzina nailaska poplavnog vala,
- izračun protoka za određeni povratni period korištenjem različitih probabilističkih metoda,
- odnos izračunatog protoka  $Q$  i dubine vode  $H$  na promatranom području,
- procjena inundacijskih područja i veličine poplavljenih površina,
- upravljanje hidrotehničkim objektima za zaštitu od štetnog djelovanja poplava,
- probijanje nasipa ili otkazivanje drugih objekata za zaštitu od poplava,
- definirane zone namjene i korištenja zemljišta,
- procjena osjetljivosti i izloženosti poplavama pojedinog područja,
- promjena geomorfoloških parametara u rijekama i inundacijskim područjima tijekom vremena,
- metode procjene štete.

Današnji pristup upravljanju rizikom od poplava podrazumijeva primjenu različitih strukturnih i nestrukturnih mjera za smanjenje rizika koje predstavljaju izvore nepouzdanosti stoga se otvara mogućnost daljnjeg istraživanja u području analize nepouzdanosti u svrhu postizanja integralnog upravljanja rizikom od poplava. Integralni pristup podrazumijeva cjelovitu analizu problema procjene rizika, od mjerenja ulaznih podataka i predviđanja poplave sve do trenutka kada nastupi poplava. Analiza nepouzdanosti potrebna je kako bi se donositeljima odluka olakšao proces donošenja odluka pod uvjetima ograničenih ulaznih podataka, modelskih nepouzdanosti te promjenama u riječnom sustavu tijekom vremena (*Hall & Solomatine, 2010.*). Procjena veličine nepouzdanosti uz identifikaciju najutjecajnih izvora nepouzdanosti može dovesti do smanjenja propagacije rizika nizvodno od izvora prema branjenom području te dovesti do kvalitetnijeg upravljanja rizikom na promatranom području.

#### 4. REFERENCE

Andričević R., Knezić S., Vranješ M., Baučić M., Jajac N. (2013): Report on Vulnerability Analysis, *The International Sava River Basin Commission*, Pilot Project on Climate Change Adaptation Building the Link between Flood Risk Management Planning and Climate Change Assessment in the Sava River Basin

Apel, H., Merz, B., Thielen, A. H. (2008): Quantification of uncertainties in flood risk assessments, *International Journal of River Basin Management (JRBM)*, 6, 2, 149-162

Apel H., Thielen A. H., Merz B., Bloschl G. (2006): A Probabilistic Modelling System for Assessing Flood Risks, *Natural Hazards*, 38: 79–100

Apel H., Thielen A. H., Merz B., Bloschl G. (2004): Flood risk assessment and associated uncertainty, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4: 295–308

Aubrecht C., Freire S., Neuhold C., Curtis A., Steinnocher K. (2012): Introducing a temporal component in spatial vulnerability analysis, *Disaster Advances*, Vol. 5 (2)

Bonacci O. (2003): *Ekohidrologija vodnih resursa i otvorenih tokova*, Sveučilište u Splitu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Split, Institut Građevinarstva Hrvatske, Zagreb

Brooks N. (2003): *Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework*, Tyndall Centre for Climate Change Research

Bureau of Reclamation, <http://www.usbr.gov/>

De Bruijn K. M. (2004): Resilience and flood risk management, *Water Policy*, 6, 53–66

De Bruijn K. M., Klijn F., Van de Pas B., Slager C. T. J. (2015): Flood fatality hazard and flood damage hazard: combining multiple hazard characteristics into meaningful maps for spatial planning, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15, 1297–1309

De Wrachien D., Mambretti S., Sole A. (2008): Risk analysis and vulnerability assessment in flood protection and river basin management, *Flood Recovery, Innovation and Response*

DIREKTIVA 2007/60/EZ EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 23. listopada 2007. o procjeni i upravljanju rizicima od poplava

Hall J., Solomatine D. (2008): A framework for uncertainty analysis in flood risk management decisions, *International Journal of River Basin Management*, Vol. 6, No. 2, pp. 85–98

Koks E. E., Hans De Moel H., Aerts J. C. J. H., Bouwer L. M. (2014): Effect of spatial adaptation measures on flood risk: study of coastal floods in Belgium, *Regional Environmental Change*, 14: 413–425

Kron W. (2005): Flood Risk = Hazard • Values • Vulnerability, *Water International*, Vol 30, No 1, Pages 58–68

Kron W. (2002): Flood Risk = Hazard x Exposure x Vulnerability, *Flood Defence*

Merz B., Thielen A. H. (2005): Separating natural and epistemic uncertainty in flood frequency analysis, *Journal of Hydrology*, 309, 114–132

Molinari D., Ballio F., Menoni S. (2013): Modelling the benefits of flood emergency management measures in reducing damages: a case study on Sondrio, Italy, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13, 1913–1927

Nunes Correia F., Fordham M., Da Graça Saraiva M., Bernardo F. (1998): Flood Hazard Assessment and Management: Interface with the Public, *Water Resources Management*, 12: 209–227

Pistrika A., Tsakiris G. (2007): Flood Risk Assessment: A Methodological Framework, *Water Resources Management: New Approaches and Technologies*, European Water Resources Association, Chania, Crete - Greece

Plate E. J. (2002): Flood risk and flood management, *Journal of Hydrology*, 267, 2–11

Simonović S. P. (2012): *Floods in a Changing Climate: Risk Management*, International Hydrology Series, Cambridge University Press

Spachinger K., Dorner W., Metzka R., Serrhini K., Fuchs S. (2008): Flood Risk and Flood Hazard Maps – Visualisation of Hydrological Risks, *XXIVth Conference of the Danubian Countries*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 4

Vis M., Klijn F., De Bruijn K. M., Van Buuren M. (2003): Resilience strategies for flood risk management in the Netherlands, *International Journal of River Basin Management*, Vol. 1, No. 1