

Primljen / Received: 10.8.2025.

Ispravljen / Corrected: 14.10.2025.

Prihvaćen / Accepted: 20.10.2025.

Dostupno online / Available online: 10.11.2025.

Generalizirani model kvantifikacije morbiditeta i mortaliteta uslijed poplava

Autori:

Izv.prof.dr.sc. **Damir Bekić**, dipl.ing.građ.

Sveučilište u Zagrebu

Građevinski fakultet

damir.bekic@grad.unizg.hr

Autor za korespondenciju

Dr.sc. **Marijan Babić**, dipl.ing.građ.

Vodoprivredno projektni biro

marijan.babic@vpb.hr**Klaudija Pranjić**, mag.ing.aedif.

Centar Građevinskog fakulteta d.o.o.

klaudija.pranjic19@gmail.com

Prethodno priopćenje

Damir Bekić, Marijan Babić, Klaudija Pranjić

Generalizirani model kvantifikacije morbiditeta i mortaliteta uslijed poplava

Postojeći modeli procjene štetnih posljedica poplava često se ograničavaju samo na izravne gospodarske štete, dok se zdravstveni i socijalni učinci poplava rijetko sustavno kvantificiraju. U ovome radu predstavljen je generalizirani model kvantifikacije društvenih posljedica poplava koji integrira četiri ključne komponente rizika: izloženost, ugroženost, ranjivost i otpornost. Model je razvijen na temelju analize postojećih pristupa i omogućuje procjenu morbiditeta i mortaliteta uz definiranje različitih koeficijenata i indikatora rizika. Predloženi generalizirani model omogućuje prilagodbu parametara prema dostupnim statističkim podacima te izradu cjelovitijih i učinkovitijih strategija i mjera ublažavanja poplavnih rizika.

Ključne riječi:

rizik od poplava, kvantifikacija šteta, društvene posljedice, morbiditet, mortalitet

Research Paper

Damir Bekić, Marijan Babić, Klaudija Pranjić

Generalized model for quantifying morbidity and mortality due to floods

Existing models for assessing the harmful consequences of floods are often limited to direct economic damage, while the health and social impacts of floods are rarely systematically quantified. This paper presents a generalized model for quantifying the social aspects of floods that integrates four key risk components: exposure, vulnerability, susceptibility, and resilience. The model was developed based on an analysis of existing approaches and enables the assessment of morbidity and mortality by defining different risk coefficients and indicators. The proposed generalized model allows for the adjustment of parameters to the available statistical data and the development of more comprehensive and effective flood risk mitigation strategies and measures.

Key words:

flood risk, damage quantification, social aspects, morbidity, mortality

1. Uvod

Poplave su prirodni fenomeni čiju pojavu nije moguće u cijelosti spriječiti. Njihove štetne posljedice višestruke su i obuhvaćaju gubitke ljudskih života, raseljavanje stanovništva, oštećivanje okoliša te ozbiljno ugrožavanje gospodarskog razvoja i narušavanje ekonomskih aktivnosti (Direktiva o poplavama [1]). U Republici Hrvatskoj poplave spadaju među najčešće i najopasnije elementarne nepogode. Procjenjuje se da je poplavama ugroženo približno 15 % kopnenog teritorija države, od čega je većina danas zaštićena različitim razinama sigurnosti [2]. Zbog svojega geografskog položaja, prisutnosti važnih kulturnih dobara te nedovoljno razvijenih zaštitnih sustava Hrvatska je u velikoj mjeri ranjiva na poplavne događaje [2].

U novijoj povijesti zabilježene su dvije poplavne katastrofe s izrazito teškim posljedicama. Najrazornija je bila poplava u Zagrebu 1964., u kojoj je poginulo 17 ljudi, 65 ih je lakše ili teže ozlijeđeno, 40.000 stanovnika ostalo je bez domova, a uništeno je 10.000 stanova i više od 3000 gospodarskih objekata [3]. Šteta je iznosila 9,8 % tadašnjega republičkog bruto nacionalnog dohotka, a teško su stradali i prometna, energetska te industrijska infrastruktura [4]. Druga velika katastrofa zadesila je istočnu Slavoniju u svibnju 2014., kada je zbog obilnih oborina i puknuća savskih nasipa poplavljeno veliko područje. Posljedice su bile teške i u Bosni i Hercegovini te Srbiji. Ukupno je poginulo 76 ljudi, a više od dva milijuna osoba bilo je pogođeno poplavom i njezinim posljedicama [5]. U Hrvatskoj je poplava ugrozila 38.000 stanovnika, prouzročila veliku materijalnu štetu na tisućama objekata, uključujući domove, škole, vrtiće i zdravstvene ustanove, te oduzela dva ljudska života [6].

Poplavni događaji imaju izravne posljedice za ljudsko zdravlje, uključujući ozljede, akutne bolesti, zaraze i smrtnu ishodu. Osim kratkoročnih poplave mogu prouzročiti dugotrajne zdravstvene posljedice: trajni invaliditet, razvoj mentalnih poremećaja, širenje zaraznih bolesti, respiratorne i gastrointestinalne tegobe, pojavu kroničnih oboljenja i malignih bolesti, smanjenu radnu sposobnost te druge poremećaje povezane s prisilnim preseljenjem, razdvajanjem obitelji i pogoršanjem životnih uvjeta [7]. Mnoge od tih posljedica svrstavaju se među vodeće uzroke smrtnosti u svijetu i Hrvatskoj, čak i izvan konteksta poplava. Osim bolesti visoke smrtnosti učestale su infekcije kože i mekih tkiva te gastrointestinalne tegobe koje znatno narušavaju kvalitetu života. Zato bolesti i poremećaji povezani s poplavama predstavljaju velik javnozdravstveni i društveni problem [8].

Radi ublažavanja štetnih posljedica poplava primjenjuje se pristup temeljen na procjeni rizika, koji omogućuje optimalno korištenje raspoloživih resursa. Rizik od poplava definira se kao kombinacija vjerojatnosti pojave poplavnog događaja i potencijalnih štetnih posljedica. Upravljanje rizicima treba težiti smanjenju izloženosti i ranjivosti, pri čemu troškovi zaštite moraju biti razmjerni očekivanim koristima. Direktiva o poplavama [1] propisuje određivanje "okvirnog broja potencijalno ugroženog stanovništva", što predstavlja osnovu za preliminarnu

procjenu posljedica. Proširenje te informacije zahtijeva kvantifikaciju različitih kratkoročnih i dugoročnih učinaka na fizičko i mentalno zdravlje stanovništva, što omogućuje izradu cjelovitih podloga i definiranje učinkovitijih mjera za smanjenje poplavnog rizika [2].

Analiza literature, studija i metodoloških pristupa pokazuje da se kvantifikacija štetnih posljedica poplava na stanovništvo tradicionalno temelji ponajprije na procjeni izloženosti stanovništva, dok se integracija svih ključnih komponenti procjene rizika (izloženost, ranjivost, vrijednosti) provodi u ograničenome broju slučajeva [9]. Sveobuhvatniji pristupi poput indeksa društvene ranjivosti (engl. *Flood Vulnerability Index* - FVI) nastoje objediniti više aspekata rizika u jedinstveni analitički okvir [10, 11]. U Hrvatskoj je razvijena metodologija NACER za procjenu izravnih, novčano mjerljivih šteta na materijalnoj imovini, temeljena na bazi podataka *Corine Land Cover* i nacionalnim izvorima [12]. Međutim, NACER ne obuhvaća zdravstvene posljedice po stanovništvo ni društvene ni demografske implikacije poplava.

Uključivanje različitih zdravstvenih posljedica poplava na stanovništvo važno je za formiranje cjelovitijih strategija i rješenja obrane od poplava na poplavnim područjima. Jasno se uočava potreba za razvojem integriranih okvira koji kvantificiraju potencijalni morbiditet i mortalitet povezan s poplavama. U ovom je radu prikazana generalizirana metodologija za procjenu potencijalnih štetnih posljedica poplava na stanovništvo, koja integrira društvene i zdravstvene aspekte za kvantifikaciju poplavnih rizika. Metodologija se temelji na detaljnome pregledu dostupne literature te primjeni javno dostupnih podataka o stanovništvu. Primjena predložene metode na pilot-području u Hrvatskoj prikazana je u dodatnome radu koji je u pripremi.

2. Pregled pristupa za kvantifikaciju štetnih posljedica na stanovništvo

2.1. Pregled pristupa za kvantifikaciju štetnih posljedica

Procjena štetnih posljedica poplava na stanovništvo u kontekstu zdravlja i smrtnosti složen je proces koji obuhvaća niz međusobno povezanih metodoloških komponenti. Unatoč globalnoj učestalosti poplava, broj razvijenih metoda za kvantitativnu procjenu gubitaka života i zdravstvenih posljedica ostaje ograničen. Identificirani su dominantni pristupi iz literature te su uočene razlike među njima prema stupnju integracije ključnih komponenata procjene rizika: izloženosti, ugroženosti, ranjivosti i vrijednosti.

Prvu skupinu čine modeli kvantifikacije šteta na stanovništvo primarno temeljeni na izloženosti stanovništva, bez eksplicitnog uključivanja ostalih komponenti. U nju spadaju pristupi procjene mortaliteta uslijed poplavnih valova pri rušenju brana, koji su utemeljeni na jednostavnijemu scenarijskom ili ekspertnom pristupu [13-16]. Procjena mortaliteta temelji se uglavnom na izloženome stanovništvu i vremenu dostupnome za uzbunu, uz

dodatak stupnja opasnosti od poplava [14, 15] i stupnja znanja o opasnosti od poplava [15, 16]. Sljedeću skupinu čine modeli koji mortalitet procjenjuju na temelju dubine vode [17] te dodatno uključuju vjerojatnost poplavnog događaja [18]. Posebnu pozornost privlače integrirani pristupi poput DEFRA/EA-e [19], Nizozemske standardne metode [20], SUFRI-ja [21] i IZVRS-a [12], koji u obzir uzimaju više komponenti rizika istodobno (dubinu vode, brzinu vode ili brzinu porasta vodostaja). Jedan od naprednijih alata za integriranu procjenu štetnih posljedica jest metoda indeksa društvene ranjivosti (FVI) [10, 11], koji ne uključuje eksplicitno vjerojatnost poplavnog događaja, ali kombinira izloženost, ugroženost i ranjivost.

Pokazuje se da tradicionalne metode kvantificiraju štetne posljedice poplava uglavnom na temelju fizičkih karakteristika poplavnih područja, dok procjena društvene ranjivosti dodaje još jedan važan set ulaznih podataka. Uključivanje socijalnih čimbenika poput dobi, prihoda, invaliditeta i pristupa resursima daje dodatne informacije o tome kako zajednica doživljava i oporavlja se od poplavih šteta. Uključivanje indikatora ranjivosti stanovništva u kvantifikaciju štetnih posljedica omogućuje razvoj učinkovitijih i pravednijih planova upravljanja rizicima od poplava te definiranje ciljanih mjera prema ranjivome stanovništvu na području.

2.2. Pregled pristupa za procjenu gubitka života uslijed poplava

Procjena broja žrtava uslijed poplava jedan je od najzahtjevnijih izazova u analizi poplavnih rizika. Procjena gubitaka ljudskih života u poplavama temelji se na povezivanju smrtnosti u pogođeno područje s karakteristikama poplavnog događaja, mogućnostima pravodobnog upozorenja i evakuacije te obilježjima izloženog stanovništva. Stopa smrtnosti (stopa mortaliteta) f definira se kao omjer broja smrtnih slučajeva N_s i ukupnog broja izloženih osoba N .

Velik dio globalnih gubitaka života u poplavama posljedica je obalnih poplavnih događaja poput olujnih uspora uslijed tropskih ciklona (uragani, tajfuni). Empirijski izrazi razvijeni u Japanu i SAD-u [22, 23] definiraju stopu mortaliteta f u ovisnosti o dubini vode h , imaju S-oblik funkcije s naglim porastom pri dubinama 2,5 – 4,0 m te asimptotskim limitom stope od približno $f = 0,34$. Analize uragana Katrina [23, 24] pokazuju najveću stopu mortaliteta u blizini proboja nasipa i na područjima s većim dubinama vode, a posebno ranjive skupine bile su starije osobe (60 % žrtava bile su starije od 65 godina). US Bureau of Reclamation [13] razvio je metode za procjenu stope mortaliteta pri rušenju brana temeljene na broju ugroženog stanovništva N i vremenu ranog upozorenja T . Stopa mortaliteta varira od 0,5 ($T < 1,5$ h) do 0,0002 ($T > 1,5$ h). Graham [15] dodatno diferencira stopu mortaliteta prema jačini poplave (proizvod dubine i brzine vode), kategoriji upozorenja i razini razumijevanja rizika u stanovništvu. Napredniji modeli poput Life Safety Model [25, 26] i Lifesim [27] u svojim pristupima integriraju hidrauličke parametre, obrasce

kretanja ljudi, stabilnost građevina i učinkovitost evakuacije. Istraživanja nakon cunamija u Indijskome oceanu 2004. [28, 29] pokazuju vrijednosti stope mortaliteta između 0,13 i 0,17 i potvrđuju znatan utjecaj dobi i spola na rizik smrtnog ishoda. Pregled metoda pokazuje da se procjene mortaliteta kreću od jednostavnih empirijskih izraza temeljenih na povijesnim podacima do složenijih simulacijskih modela koji integriraju hidrodinamičke parametre poplave i učinkovitost sustava upozorenja. Analize recentnih poplavnih događaja sa smrtnim posljedicama upućuju na važnost uključivanja sociodemografskih čimbenika u kvantifikaciju štetnih posljedica poplava. Integrirani pristupi svakako omogućuju realniju procjenu rizika poplava za stanovništvo te pružaju cjelovitiju osnovu za razvoj strategija smanjenja rizika i planiranje mjera zaštite stanovništva. U nastavku detaljnije su prikazane dvije metode kvantifikacije štetnih posljedica poplava (metoda DEFRA/EA i Nizozemska standardna metoda), koje uzimaju u obzir više komponenata rizika.

2.3. Metoda DEFRA/EA

U sklopu projekta *Flood Risks to People* razvijena je metodologija DEFRA/EA za procjenu rizika od poplave za stanovništvo [30, 31]. Rizik za ljude određuju tri čimbenika: opasnost od poplave, ranjivost ljudi i ranjivost područja. Procjena opasnosti od poplave temelji se na istraživanjima stabilnosti osoba u struji vode i učincima naplavina u vodi, a vrijednosti ostalih čimbenika temelje se na stručnoj procjeni. Metoda uključuje procjenu morbiditeta i mortaliteta. Apsolutni morbiditet odnosi se na broj ozljeda, uključujući smrtnu. Apsolutni morbiditet (ukupan broj ozljeda i smrti) računa se prema izrazu:

$$N_i = N \cdot X \cdot Y \quad (1)$$

gdje su N_i broj ozljeda i smrti (apsolutni morbiditet), N broj stanovnika na području (populacija), X udio ugroženog stanovništva unutar populacije (za određeni poplavni događaj) i Y udio stanovništva koje će pretrpjeti ozljedu/smrt unutar ugroženog stanovništva.

Stupanj izloženosti (engl. *hazard rating - HR*) na području računa se u ovisnosti o dubini i brzini vode te prisutnosti naplavina. Stupanj izloženosti (HR) računa se prema izrazu:

$$HR = h \cdot (v + 0,5) + DF \quad (2)$$

gdje su h dubina vode (m), v brzina vode (m/s), a DF faktor naplavina (*debris factor*). Faktor naplavina ima vrijednost 0 u slučaju kada je prisustvo naplavina malo vjerojatno, 0,5 u slučaju kada je prisustvo naplavina moguće, a 1 u slučaju kada je prisustvo naplavina vjerojatno.

Stupanj ugroženosti područja (engl. *area vulnerability - AV*) definira se u ovisnosti o brzini pojave poplave, karakteristikama područja i sustavu upozorenja na poplave. Stupanj ugroženosti područja (AV) dobiva se kao zbroj ocjena:

Tablica 1. Model DEFRA/EA za ocjenjivanje indikatora ugroženosti područja (AI)

Indikator ugroženosti	1 – područje malog rizika	2 – područje srednjeg rizika	3 – područje velikog rizika
B1: Brzina pojave poplave	Vrlo postepen (više sati)	Postepen (oko 1 sat)	Naglo plavljenje
B2: Karakteristike područja	Višekatne zgrade	Tipično rezidencijsko područje (katnice i prizemnice), gospodarsko i industrijsko područje	Prizemnice, kamp kućice, prometnice, parkovi, škole, kampovi i sl.
B3: Upozorenje na poplave	$B3 = 3 - (P1 \times (P2 + P3))$ gdje je P1 = % ispunjenog cilja pokrivenosti upozorenjem P2 = % ispunjenog cilja vremena upozorenja P3 = % ispunjenog cilja efektivne akcije		

$$AV = B_1 + B_2 + B_3 \quad (3)$$

Gdje B_1 predstavlja brzinu pojave poplave, B_2 karakteristike područja (tip gradnje, prisutnost parkova itd.), a B_3 sustav upozorenja na poplave. Svakome indikatoru (B_1 , B_2 , B_3) dodjeljuje se ocjena prema tablici (tablica 1.). Zbroj ocjena, koji iznosi od 3 do 9, predstavlja stupanj ugroženosti područja AV.

Udio ugroženog stanovništva iz ukupne populacije X računa se kao umnožak stupnja izloženosti HR i stupnja ugroženosti AV , vodeći računa o tome da X mora biti manji ili jednak 1:

$$X = \min\left(HR \cdot \frac{AV}{100}, 1\right) \quad (4)$$

Stupanj ranjivosti (eng. *people vulnerability* - Y) definiran je u ovisnosti o karakteristikama osjetljive populacije koje mogu utjecati na vjerojatnost ozljeda/smrti. Stupanj ranjivosti dobiva se kao:

$$Y = C_1 + C_2 \quad (5)$$

gdje su C_1 udio stanovnika s dugotrajnim bolestima (%) i C_2 udio stanovnika starijih od 75 godina (%).

Osim morbiditeta metodologija daje procjenu mortaliteta N_s prema izrazu:

$$N_s = \min(0,02 \cdot HR, 1) \cdot N_i \quad (6)$$

2.4. Nizozemska standardna metoda (NSM)

Posljednjih desetljeća u Nizozemskoj je razvijeno više metoda za procjenu gubitaka života uslijed obalnih i riječnih poplava. Metode su većinom temeljene na podacima iz katastrofalne poplave 1953. kada su obalne poplave na području Velike Britanije, Belgije i Nizozemske prouzročile više od 2000 smrtnih slučajeva [32]. Provedene analize povezale su gubitke života s dubinom vode h i brzinom izdizanja vode w , pri čemu su određene tri zone smrtnosti [33, 34]. Na temelju svih prethodnih istraživanja razvijena je Nizozemska standardna metoda (NSM)

[20] u kojoj se stopa mortaliteta f definira u funkciji dubine vode h , brzine vode v i brzine izdizanja vode w . Diferencirane su tri situacije (zone). Zonu 1. čine područja s velikom brzinom vode (brzina vode veća od $v > 2$ m/s), zonu 2. područja s brzinom izdizanja većom od $w > 0,5$ m/h, a zonu 3. preostala područja. Za svaku zonu primjenjuju se zasebne funkcije stope mortaliteta f .

a) zona 1. – područje velike brzine vode:

$$f = 1: \text{ako je } h \cdot v \geq 7,0 \text{ m}^2/\text{s} \text{ i } v \geq 2,0 \text{ m/s} \quad (7)$$

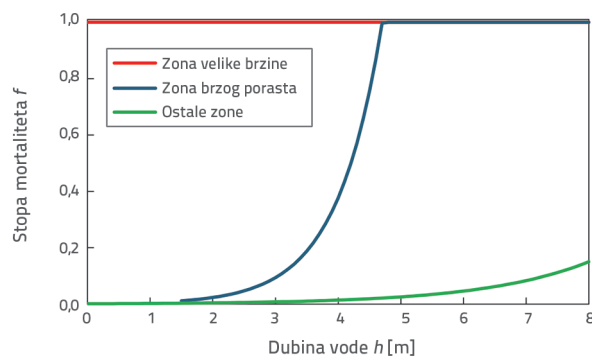
b) zona 2. – područje velike brzine izdizanja:

$$f = \min\{1; 0,00145 \cdot e^{1,39h}\} \text{ ako je } h \geq 1,5 \text{ m i } w \geq 0,5 \text{ m/h} \quad (8)$$

c) zona 3. – ostala područja:

$$f = \min\{1; 0,00134 \cdot e^{0,59h}\} \quad (9)$$

gdje su f stopa mortaliteta (-), h dubina vode (m), v brzina vode (m/s), a w brzina izdizanja vodostaja (m/h).



Slika 1. Funkcije stope mortaliteta za Nizozemsku standardnu metodu [20]

Pri procjeni broja stradalih uzima se u obzir visina zgrada i mogućnost evakuacije te se pretpostavlja da su ljudi u visokim stanovima (više od tri kata iznad zemlje) sigurni i da ih se može tretirati kao da su evakuirani. NSM omogućuje uključivanje dijela ukupnog

broja ljudi koji su bili evakuirani kroz faktor f_E . Faktor f_E može biti jednak 0 u područjima bez upozorenja i evakuacije, a u područjima s mogućnošću upozorenja i organiziranom evakuacijom faktor bi se mogao popeti na 1. Ukupan broj stradalih u NSM-u množi se s $1-f_E$ da bi se uključio i utjecaj moguće evakuacije. U sljedećemu koraku razvijene su nove funkcije mortaliteta na temelju analize empirijskih podataka iz povijesnih poplava [34].

3. Novi model kvantifikacije štetnih posljedica poplava za stanovništvo

3.1. Teorijski model

Teorijski kvantitativni model za procjenu štetnih posljedica može se formulirati preko indikatora na sljedeći općeniti način:

$$P = f(Q) \quad (10)$$

gdje je $P = (p_1, p_2, \dots, p_j)$ skup izlaznih indikatora (najznačajnijih posljedica), $Q = (q_1, q_2, \dots, q_j)$ skup ulaznih indikatora, a $f(Q)$ funkcijska veza (transformator) koju treba formulirati modelom. Kvantifikacija posljedica može se odrediti za proizvoljan broj ulaznih indikatora pa se kod procjene broja ozljeda (N_{pj}) za pojedinu posljedicu koristi proizvoljan broj koeficijenata stanja i proizvoljan broj indikatora preko izraza

$$N_{pj} = k_{pj} \cdot N \quad (11)$$

gdje su N_{pj} broj posljedica, k_{pj} koeficijent posljedice, j indeks pojedine vrste posljedice ($p_1, p_2, \dots, p_j$) i N broj ugroženog stanovništva.

Koeficijent posljedice k_{pj} računa se za svaku posljedicu zasebno ($p_1, p_2, \dots, p_j$), a dobiva se s obzirom na četiri koeficijenta stanja kao:

$$k_{pj} = \min \left(\frac{k_{a,j} \cdot k_{b,j} \cdot k_{c,j}}{k_{d,j}}, 1 \right) \quad (12)$$

gdje su $k_{a,j}$ koeficijent izloženosti, $k_{b,j}$ koeficijent ugroženosti, $k_{c,j}$ koeficijent ranjivosti, $k_{d,j}$ koeficijent otpornosti, a j indeks pojedine vrste posljedice ($p_1, p_2, \dots, p_j$).

Koeficijent izloženosti $k_{a,j}$ definira se indikatorima izloženosti qa_j , koji predstavljaju hidrauličke uvjete (dubina vode, brzina vode itd.) na predmetnome području:

$$k_{a,j} = f(qa_1, qa_2, \dots, qa_j) \quad (13)$$

Koeficijent ugroženosti $k_{b,j}$ definira se normaliziranim indikatorima ugroženosti qb_j , koji predstavljaju ugroženost predmetnog područja (visina zgrada, prisutnost mobilnih kućica itd.) i pripadnih težinskih koeficijenata β_j :

$$k_{b,j} = \sum_{i=1}^{n_b} \beta_i \cdot qb_i \quad (14)$$

Koeficijent ranjivosti $k_{c,j}$ definira se normaliziranim indikatorima ranjivosti qc_j , koji predstavljaju prisutnost ranjivog stanovništva (stanovništvo s teškoćama, jako staro stanovništvo itd.) i pripadnih težinskih koeficijenata γ_j :

$$k_{c,j} = \sum_{i=1}^{n_c} \gamma_i \cdot qc_i \quad (15)$$

Koeficijent otpornosti $k_{d,j}$ definiran je normaliziranim indikatorima otpornosti qd_j , koji predstavljaju mogućnost umanjenja rizika (prisutnost ranog upozorenja za poplave, pristup internetu itd.) i pripadnih težinskih koeficijenata δ_j :

$$k_{d,j} = \sum_{i=1}^{n_d} \delta_i \cdot qd_i \quad (16)$$

Svi indikatori rizika, izloženosti qa_j , ugroženosti qb_j , ranjivosti qc_j i otpornosti qd_j definiraju se prema poželjnim i dostupnim indikatorima rizika za stanovništvo u nacionalnim bazama podataka.

3.2. Generalizirani model procjene šteta

Na temelju teorijskog modela, izraza od (10) do (16) i prikazane metodologije DEFRA/EA može se daljnjom formulacijom parametara modela definirati generalizirani model kvantifikacije broja ozljeda (morbiditet) i smrtnih posljedica (mortalitet) od poplava. Apsolutni morbiditet (broj ozljeda i smrtnih slučajeva) računa se kao:

$$N_i = k_i \cdot N \quad (17)$$

gdje je k_i koeficijent morbiditeta (ozljeda i smrtnih slučajeva), a N broj ugroženog stanovništva.

Mortalitet (broj smrtnih slučajeva) računa se prema izrazu:

$$N_s = k_s \cdot N \quad (18)$$

gdje je k_s koeficijent mortaliteta (smrtnih slučajeva).

Koeficijent morbiditeta k_i dobiva se kao umnožak pojedinačnih koeficijenata stanja:

$$k_{p,j} = \min \left(\frac{k_{a,j} \cdot k_{b,j} \cdot k_{c,j}}{k_{d,j}}, 1 \right) \quad (19)$$

gdje su $k_{a,j}$, $k_{b,j}$, $k_{c,j}$ i $k_{d,j}$ koeficijenti izloženosti, ugroženosti, ranjivosti i otpornosti, a j indeks pojedine vrste posljedice ($p_1, p_2, \dots, p_j$).

Koeficijent mortaliteta k_s računa se iz koeficijenta morbiditeta:

$$k_s = k_{as} \cdot k_i \quad (20)$$

gdje je k_{as} koeficijent izloženosti na mortalitet.

3.2.1. Koeficijent izloženosti

Koeficijent izloženosti računa se iz generalnog oblika faktora opasnosti od poplave zasebno na morbiditet k_{ai} i mortalitet k_{as} , a prema izrazima:

a) koeficijent izloženosti za morbiditet (k_{ai})

$$k_{ai} = \min\{0,045[q_{a1} \cdot (q_{a2} \cdot q_{a4} + 0,5) + q_{a3}]\} \quad (21)$$

b) koeficijent izloženosti za mortalitet (k_{as})

$$k_{as} = \min\{0,020[q_{a1} \cdot (q_{a2} \cdot q_{a4} + 0,5) + q_{a3}]\} \quad (22)$$

gdje su q_{a1} reprezentativna dubina vode (m), q_{a2} reprezentativna brzina vode (m/s), q_{a3} indikator mogućnosti naplavina i q_{a4} koeficijent brzine vode. Mogućnost naplavina q_{a3} računa se prema tablici (tablica 2.), a uključuje prevladavajući tip površine i hidrauličke uvjete (dubinu i brzinu vode).

U branjenim područjima koja se nalaze iza zaštitnih nasipa ili zidova moguće su lokalno izraženije brzine vode uslijed preplavlivanja ili pucanja obrambenih linija u slučaju velikih voda. Za mogućnost uključivanja scenarija lokalnog povećanja brzine vode, pri procjeni izloženosti uveden je dodatni koeficijent brzine vode q_{a4} . Koeficijent brzine vode q_{a4} dobiva se tako da se predmetno područje podijeli na tri zone (A, B, C) s obzirom na najkraću udaljenost od obrambene linije (vidi tablicu 3.). Za svaku pojedinu zonu računaju se koeficijenti izloženosti za morbiditet k_{ai} i mortalitet k_{as} s obzirom na koeficijent brzine vode q_{a4} .

3.2.2. Koeficijent ugroženosti

Koeficijent ugroženosti k_b dobiva se iz normaliziranih indikatora ugroženosti qb_i i pripadnih težinskih koeficijenata β_i . Indikatori ugroženosti dobivaju se iz statističkih izvještaja, GIS analize područja i iz dostupnih baza podataka. Svi indikatori normaliziraju se oko prosječnog stanja na području za koje indikator ima vrijednost 1.

Indikator " qb_1 -% prizemnica u ukupnom broju stambenih objekata" računa se iz odnosa:

$$qb_1 = \frac{\text{Stambene zgrade s1stanom}}{\text{Ukupno stanova u stambenim zgradama}} \cdot 100\% \quad (23)$$

Indikator " qb_2 -% stanova za povremeno stanovanje u ukupnom broju stanova" računa se iz odnosa:

$$qb_2 = \frac{\text{Stanovi za povremeno stanovanje}}{\text{Ukupno stanova}} \cdot 100\% \quad (24)$$

Težinski koeficijenti za indikatore ugroženosti iznose $\beta_1 = 0,80$, $\beta_2 = 0,20$.

3.2.3. Koeficijent ranjivosti

Koeficijent ranjivosti k_c dobiva se iz normaliziranih indikatora ranjivosti qc_i i pripadnih težinskih koeficijenata γ_i . Indikatori ranjivosti dobivaju se iz statističkih izvještaja. Svi indikatori normaliziraju se oko prosječnog stanja na području za koje indikator ima vrijednost 1.

Tablica 2. Određivanje mogućnosti naplavina (q_{a3}) s obzirom na prevladavajući tip površine i hidrauličke uvjete na području

Klasa naplavine	Dubina vode i brzina vode	Klasa dubine	Klasa brzine	q_{a3}		
				Poljoprivredna područja	Šume i poluprir. područja	Umjetne površine
1	$h \leq 0,5$ m i $v \leq 0,5$ m/s	1	1,2	0	0	0
2	$0,5 < h \leq 1,5$ m i $v \leq 0,5$ m/s	2	1	0	0	0,5
3	$0,5 < h \leq 1,5$ m i $0,5 < v \leq 2,0$ m/s	2	2	0	0,5	1,0
4	$h > 1,5$ m i/ili $v > 2,0$ m/s	3,4	3	0,5	1,0	1,0

Tablica 3. Određivanje koeficijenta brzine vode (q_{a4}) prema udaljenosti od referentne linije

Zona udaljenosti od referentne linije	Udaljenost od referentne linije [m]	Koeficijent brzine vode (q_{a4})
Zona A	0 – 50 m	2,0
Zona B	50 – 100 m	1,5
Zona C	>100 m	1,0

Indikator " qc_1 -% stanovništva s teškoćama u ukupnom broju stanovništva" računa se iz odnosa:

$$qc_1 = \frac{\text{Stanovništvo s teškoćama}}{\text{Ukupan broj stanovnika}} \cdot 100\% \quad (25)$$

Indikator " qc_2 -% djece mlađih od 10 god u ukupnom broju stanovništva" računa se iz odnosa:

$$qc_2 = \frac{\text{Stanovništvo s teškoćama}}{\text{Ukupan broj stanovnika}} \cdot 100\% \quad (26)$$

Indikator " qc_3 -% starijih od 75 god u ukupnom broju stanovništva" računa se iz odnosa:

$$qc_3 = \frac{\text{Stariji od 75 god}}{\text{Ukupan broj stanovnika}} \cdot 100\% \quad (27)$$

Težinski koeficijenti za indikatore ranjivosti su jednaki i iznose $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = 0,333$.

3.2.4. Koeficijent otpornosti

Koeficijent otpornosti k_d dobiva se iz normaliziranih indikatora otpornosti qd_i i pripadnih težinskih koeficijenata δ_i . Indikatori otpornosti dobivaju se iz statističkih izvještaja i iz dostupnih baza podataka. Svi indikatori normaliziraju se oko prosječnog stanja na području za koje indikator ima vrijednost 1.

Indikator " qd_1 -% kućanstva koja se koriste internetom u ukupnom broju kućanstava" računa se iz odnosa:

$$qd_1 = \frac{\text{Kućanstva koja se koriste internetom}}{\text{Broj privatnih kućanstava}} \cdot 100\% \quad (28)$$

Indikator " qd_2 Postojanje poplava u prošlosti sustava" određuje se prema tablici (tablica 4.). Ako je u zadnjih pet godina na području zabilježena barem jedna poplava, tada je indikator "DA". Registar poplavnih događaja dostupan je na mrežnim stranicama Hrvatskih voda.

Tablica 4. Određivanje postojanja poplava u prošlosti sustava (qd_2)

Postojanje poplava u prošlosti sustava	qd_2 : Poplave u prošlosti
NE	0.80
DA	1.20
nepoznato	0

Indikator " qd_3 Postojanje sustava ranog upozorenja od poplave" određuje se prema tablici (tablica 5.).

Tablica 5. Određivanje postojanja sustava ranog upozorenja od poplave (qd_3)

Postojanje sustava upozorenja	qd_3 : Sustav u prošlosti
NE	0.80
DA	1.20

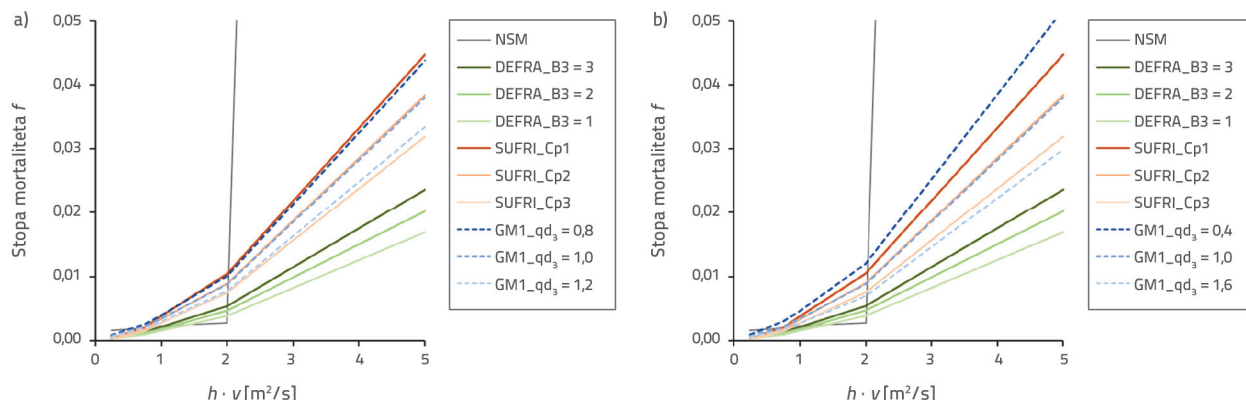
Težinski koeficijenti za indikatore otpornosti jednaki su i iznose $\delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = 0,333$.

3.3. Kratka usporedba rezultata modela

U nastavku prikazani su kratki rezultati procjene stope mortaliteta (odnos broja smrtnih slučajeva i broja ugroženog stanovništva) za generalizirani model (GM) i za modele NSM, DEFRA i SUFRI za slučaj promjene indikatora sustava ranog upozorenja od poplave. Indikator ranog upozorenja od poplave eksplicitno utječe na stopu mortaliteta u DEFRA, SUFRI i generaliziranome modelu, dok se u metodi NSM on uvodi kroz dodatne izraze [20]. U modelu DEFRA indikator B_3 uključen je u stupanj ugroženosti područja AV (tablica 1.), koji se nalazi se u brojniku izraza, izraz (1), izraz (4), pa je stopa mortaliteta proporcionalna ulaznome indikatoru. U generaliziranome modelu (GM) indikator qd_3 (tablica 5.) uključen je u određivanje koeficijenta otpornosti k_d koji se nalazi se u nazivniku izraza, izraz (19), pa je stopa mortaliteta obrnuto proporcionalna indikatoru.

Rezultati stope mortaliteta prikazani su za tri slučaja vrijednosti ulaznog indikatora: a) donja granica (min.), b) prosječna vrijednost (sred.) i c) gornja granica (max). Za modele DEFRA i SUFRI to su slučajevi kada postoji učinkovit sustav upozorenja ($B_3 = 1$ za DEFRA, $Cp3$ za SUFRI), ograničen sustav upozorenja ($B_3 = 2$ za DEFRA, $Cp2$ za SUFRI) i nema sustava upozorenja ($B_3 = 3$ za DEFRA, $Cp1$ za SUFRI). Za generalizirani model (GM) prikazani su rezultati za dvije skupine (dva raspona) indikatora qd_3 . Skupina 1. (GM1) odnosi se na manji raspon indikatora $qd_3 = 0,8$ i $1,2$, a skupina 2. (GM2) na veći raspon $qd_3 = 0,4$ i $1,6$. Za navedene dvije skupine dobivaju se koeficijenti otpornosti, i to $k_b = 0,87$ i $1,13$ za skupine 1. (GM1) te $k_d = 0,73$ i $1,27$ za skupinu 2. (GM2). Svi ostali ulazni indikatori održavaju svoje prosječne vrijednosti u modelima: $w \geq 0,5$ m/h za NSM model, $DF = 0,50$; $B_2 = B_3 = 2$; $PV = 20$ % za modele DEFRA/SUFRI te $DF = 0,50$; $k_b = 1,0$; $k_c = 1,0$ za generalizirani model.

Promjena indikatora upozorenja na poplave prema donjoj i gornjoj granici rezultira u metodama DEFRA i CUFRI jednakim odnosom stope mortaliteta spram središnje vrijednosti (0,83 za donju i 1,17 za gornju granicu indikatora). Kod generaliziranog modela skupine 1. (GM1) uočavaju se nešto manji rasponi (1,15 i 0,88), a kod skupine 2. (GM2) nešto veći rasponi (1,36 i 0,79) u usporedbi s rasponom kod metode DEFRA. Pokazuje se također da promjena ulaznog indikatora za 33 % ($qd_3 = 1,2$ za GM1, $qd_3 = 1,6$ za GM2) rezultira smanjenjem stope smrtnosti za oko 10 % (GM2 spram GM1 modela). Rezultati za dvije skupine ulaznih



Slika 2. Osjetljivost stope mortaliteta na promjenu indikatora sustava ranog upozorenja na poplave za metode NSM, DEFRA, SUFRI i generalizirani model. Za generalizirani model (GM) prikazani su rezultati za dvije skupine indikatora: a) GM1 za $qd_3 = 0,8; 1,0; 1,2$; b) GM2 za $qd_3 = 0,4; 1,0; 1,6$

Tablica 6. Stopa mortaliteta za NSM metodu za brzinu izdizanja vodostaja $w > 0,5$ m/h

$f(-)$	h [m]										
v [m/s]	0,25	0,75	1,25	1,75	2,25	2,75	3,25	3,75	4,25	4,75	5,25
0,0	0,0016	0,0021	0,0028	0,0165	0,0331	0,0663	0,133	0,266	0,533	1	1
0,5	0,0016	0,0021	0,0028	0,0165	0,0331	0,0663	0,133	0,266	0,533	1	1
1,0	0,0016	0,0021	0,0028	0,0165	0,0331	0,0663	0,133	0,266	0,533	1	1
1,5	0,0016	0,0021	0,0028	0,0165	0,0331	0,0663	0,133	0,266	0,533	1	1
2,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

indikatora pokazuju elastičnost generaliziranog modela i jednostavnu prilagodbu modela na promjenu vrijednosti ulaznih indikatora.

Usporedba rezultata modela (slika 2.) nadalje pokazuje da su stope mortaliteta iz generaliziranog modela (GM) približno jednake metodi SUFRI te za oko 85 % veće nego prema metodi DEFRA. Stopa mortaliteta iz NSM metode slična je metodama DEFRA i GM, ali za manje vrijednosti koeficijenta opasnosti $h \cdot v \leq 2,0$ m²/s, dok za veće vrijednosti opasnosti $h \cdot v > 2,0$ m²/s stopa ima nagli porast na $f = 1,0$.

Usporedba rezultata stope mortaliteta pokazuje da su mortalitet i morbiditet kontinuirane funkcije dubine i brzine vode kod pristupa DEFRA/EA. U metodi NSM funkcija mortaliteta kontinuirana je funkcija dubine, ali diskontinuirana funkcija brzine te se uočava skokovit prelazak na vrijednost 1,0 (tablica 6.). Nadalje, u metodi NSM za brzine vode manje od $v < 2,0$ m/s stopa mortaliteta jednaka je za bilo koju brzinu vode. Istraživanja stabilnosti osoba kod poplavnih voda pokazuju nestabilnost odrasle osobe pri dubinama vode iznad $h \geq 0,27$ m i brzinama vode većima od $v \geq 1,0$ m/s [35], a što upućuje na to da NSM metoda zahtijeva dodatnu provjeru funkcije za brzine vode iznad $v \geq 1,0$ m/s, posebno za veće dubine vode $h \geq 1,25$ m. S obzirom na funkcijske karakteristike i vrstu poplava za koju je razvijena, ocjenjuje se da je metoda DEFRA/EA primjerenija od metode NSM za procjenu posljedica poplava uslijed riječnih poplava.

4. Rasprava

Predloženi pristup koncipiran je tako da iznosi procjenu broja štetnih posljedica (morbidity i mortaliteta) primjenom osnovnih komponenata rizika (izloženost, ugroženost, ranjivost, otpornost) za prosječno stanje na promatranome području. Za razvoj generaliziranog pristupa odabrane su metode DEFRA/EA i NSM koje su razvijene za riječne poplave (NSM metoda za obalne i riječne poplave) na temelju zabilježenih povijesnih događaja te su dodatno unapređivane i verificirane nakon početnog razvoja. Za definiranje broja posljedica primijenjena je metoda DEFRA/EA kao osnova, jer definira izloženost eksplicitno u ovisnosti o dubini i brzini vode, dok većina drugih metoda koristi samo dubinu vode. Dodatno, metoda DEFRA/EA jedina omogućava procjenu morbiditeta i mortaliteta.

Načelna prednost predloženog pristupa očituje se u mogućnosti dobivanja različitih potencijalnih štetnih posljedica za društvo uslijed riječnih poplava za različite razine detaljnosti. Predloženi pristup može se primijeniti na makro, mezo i mikrorazini detaljnosti (država, grad, naselje), a detaljnost procjene posljedica (fizičke, psihičke) u ovisnosti je o potrebama i razini detaljnosti ulaznih varijabli. Kao osnovna podjela prostora koriste se poligoni klasa dubina vode. Za stratešku (plansku) razinu daljnja podjela prostora nije neophodna, dok se za studijsku razinu poligoni dubina dodatno dijele prema klasama

brzine vode. Važan element koncepta jest i njegova robusnost. Model je razvijen za prosječno stanje na području, čime je omogućeno uključivanje ili isključivanje jednog ili više ulaznih indikatora rizika bez velike osjetljivosti rezultata na promjenu samo jednog indikatora.

U idućemu radu bit će prikazani postupak definiranja najvažnijih posljedica poplava i pripadajućih indikatora te usporedba procjene posljedica prema predloženoj pristupu s drugim metodama za pilot-područje u Hrvatskoj.

5. Zaključak

U radu prikazan je razvoj generaliziranog modela kvantifikacije društvenih posljedica poplava koji predstavlja integrirani analitički okvir i obuhvaća izloženost, ugroženost, ranjivost i otpornost stanovništva. Za razliku od postojećih metodologija koje se fokusiraju na materijalne štete ili ograničen skup zdravstvenih učinaka, taj model uključuje procjenu morbiditeta i mortaliteta te time omogućava cjelovitiju procjenu utjecaja poplavnih događaja na društvo. Primjenom sustava indikatora, temeljenih na nacionalno dostupnim bazama podataka i statističkim izvještajima, omogućeni su kvantifikacija različitih scenarija rizika i njihova prilagodba specifičnim prostornim i demografskim uvjetima. Učinkovitost generaliziranog modela očituje se kroz nekoliko ključnih značajki:

- Model omogućuje primjenu različitih funkcijskih veza, odnosno koeficijenata posljedica za svaki pojedini tip, čime se postiže mogućnost pouzdanije kvantifikacije pojedinih učinaka poplava ovisno o vrsti posljedice.
- Za svaku pojedinu posljedicu moguće je koristiti proizvoljan broj ulaznih indikatora, pri čemu jedan ili više indikatora

mogu opisivati isti tip posljedice. Ta prilagodljivost omogućuje naknadnu nadogradnju modela promjenom broja ili vrste ulaznih indikatora, čime se model može kontinuirano usklađivati s novim spoznajama i raspoloživim podacima.

- Koeficijent posljedice određuje se množenjem otežanih normaliziranih indikatora stanja. Vrednovanje svakog indikatora provodi se normalizacijom njegovih vrijednosti, čime se osiguravaju dosljednost i usporedivost rezultata između različitih komponenti modela.
- Svaki normalizirani indikator predstavlja transformaciju mogućih ishoda pripadajućega ulaznog indikatora u standardizirani raspon vrijednosti od 0 do 1, čime se omogućuje kombiniranje heterogenih podataka u jedinstveni analitički okvir.

Generalizirani model pruža osnovu za donošenje informiranih odluka o prioritetima ulaganja u sustave obrane od poplava, optimiranje strategija ranog upozorenja te za razvoj ciljanih mjera zaštite za najranjivije skupine stanovništva. Dugoročno njegova primjena može doprinijeti ne samo smanjenju gubitaka života i ozljeda, već i jačanju otpornosti zajednica, poboljšanju javnozdravstvenih ishoda i racionalnijemu korištenju financijskih sredstava namijenjenih zaštiti od poplava.

Zahvala

Autori zahvaljuju Darku Barbaliću i Sanji Barbalić iz *Hrvatskih voda* na kritičkim osvrtima i prijedlozima za unapređenje generaliziranog modela.

LITERATURA

- [1] Direktiva 2007/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. listopada 2007. o procjeni i upravljanju rizicima od poplava, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX%3A32007L0060>
- [2] Republika Hrvatska, Plan upravljanja vodnim područjima 2022.-2027., NN 84/2023, 2023.
- [3] Šimetin Šegvić, N., Šute, I.: Pola grada pod vodom, Zbrinjavanje stradalih od poplave u Zagrebu 1964. godine te plan za daljnju obnovu, *Ekonomika i ekohistorija*, 17 (2021) 1, pp. 66-82.
- [4] Grad Zagreb: Procjena rizika od velikih nesreća za područje Grada Zagreba, 2022.
- [5] International Commission for the Protection of the Danube River (ICPDR) and International Sava River Basin Commission (ISRBC): Floods in May 2014 in the Sava River Basin, Brief overview of key events and lessons learned, 2015.
- [6] Dominić, V.: Uloga policije u krizama izazvanim katastrofama, VI. Konferencija Hrvatske platforme za smanjenje rizika od katastrofa, pp. 123-134, 2014.
- [7] Butsch, C., Beckers, L.M., Nilson, E., Frassl, M., Brennholt, N., Kwiatkowski, R., Söder, M.: Health impacts of extreme weather events - Cascading risks in a changing climate. *J Health Monit.* 8 (2023) 4, pp. 33-56, doi: 10.25646/11652.
- [8] Alderman, K., Turner, L.R., Tong, S.: Floods and human health: A systematic review, *Environment International*, 47 (2012), pp. 37-47, doi: 10.1016/j.envint.2012.06.003.
- [9] Meyer, V., Messner, F.: National Flood Damage Evaluation Methods - A Review of Applied Methods in England, the Netherlands, the Czech Republic and Germany, UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle, Leipzig, 2005.
- [10] Balica, S., Wright, N.G.: Reducing the complexity of the flood vulnerability index, *Environmental Hazards*, 9 (2010) 4, pp. 321-339, doi: 10.3763/ehaz.2010.0043
- [11] Connor, R.F., Hiroki, K.: Development of a method for assessing flood vulnerability, *Water Science & Technology*, 51 (2005) 5, pp. 61-67, doi: 10.2166/wst.2005.0109

- [12] Petelin, Š., Pergar, P., Kirn, T.: Priprava strokovnih podlag za izvajanje poplavne direktive (2007/60/ES) - Priprava ekonomskih vsebin načrtov zmanjševanja poplavne ogroženosti, Inštitut za vode Republike Slovenije, 2014.
- [13] Brown, C.A., Graham, W.J., Assessing the threat to life from dam failure, JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 24 (1988), pp. 1303-1309. doi: 10.1111/j.1752-1688.1988.tb03051.x
- [14] DeKay, M.L., McClelland, G.H.: Predicting Loss of Life in Cases of Dam Failure and Flash Flood, Risk Analysis, 13 (1993), pp. 193-205, doi: 10.1111/j.1539-6924.1993.tb01069.x
- [15] Graham, W.J.: A procedure for estimating loss of life caused by dam failure, Dam safety office report DSO-99-6, U.S. Department of Interior Bureau of Reclamation, 1999.
- [16] Reiter, P.: Loss of Life Caused by Dam Failure: The RESCDAM LOL Method and Its Application to Kyrkosjarvi Dam in Seinajoki, Final Report of PR Water Consulting Ltd., Helsinki, Finland, 2001.
- [17] Waarts, P.: Methode voor de bepaling van het aantal doden als gevolg van inundatie, Report TNO B-91-1099, 1992.
- [18] Vrouwenvelde, A.C.W.M., Steenhuis, C.M.: Tweede waterkeringen Hoeksche Waard, berekening van het aantal slachtoffers bij verschillende inundatiescenario's, Report TNO 97-CON-R0332, 1997.
- [19] Ramsbottom, D., Wade, S., Bain, V., Hassan, M., Penning-Rowsell, E., Wilson, T., Fernandez, A., House, M., Floyd, P.: R&D outputs: flood risks to people. Phase 2, Department for the Environment, Food and Rural Affairs/Environment Agency R&D Technical report FD2321/IR2, 2004.
- [20] Kok, M., Huizinga, H.J., Vrouwenvelde, A.C.W.M., van den Braak, W.E.W.: Standard method 2004 Damage and casualties caused by flooding, DWW report DWW-2005-009, 2005.
- [21] Escuder-Bueno, I., Castillo-Rodríguez, J.T., Perales-Momparler, S., Morales-Torres, A.: SUFRI methodology for pluvial and river flooding risk assessment in urban areas to inform decision-making, SUFRI project, WP3, Report, 2011.
- [22] Boyd, E., Levitan, M., van Heerden, I.: Improvements in Flood Fatality Estimation Techniques Based on Flood Depths, Wind Storm and Storm Surge Mitigation, American Society of Civil Engineers (ASCE), pp. 126-139, 2010, doi: 10.1061/9780784410813.ch11
- [23] Jonkman, S.N., Maaskant, B., Boyd, E., Levitan, M.L.: Loss of Life Caused by the Flooding of New Orleans After Hurricane Katrina: Analysis of the Relationship Between Flood Characteristics and Mortality, Risk Analysis, 29 (2009), pp. 676-698, doi: 10.1111/j.1539-6924.2008.01190.x
- [24] Jonkman, S.N., Maaskant, B., Levitan, M.: Loss of life caused by the flooding of New Orleans after Hurricane Katrina: a preliminary analysis of the relationship between flood characteristics and mortality, 4th International Symposium on Flood Defence: Managing Flood Risk, Reliability and Vulnerability, Toronto, 2008.
- [25] Watson, D., Serrer, M., Crookshank, N.: BC Hydro life safety model - A two dimensional model for estimating dam breach survival probabilities, Draft Technical Report Canadian Hydraulics Centre, 2001.
- [26] Johnstone, W.M., Sakamoto, D., Assaf, H., Bourban, S.: Architecture, modelling framework and validation of BC Hydro's virtual reality life safety model, Proceedings of the international symposium on stochastic hydraulics, Nijmegen, 2005.
- [27] McClelland, D.M., Bowles, D.S.: Life-loss estimation: what can we learn from case histories, Proceedings of the Australian committee on large dams (ANCOLD), Annual Meeting, Jindabyne, 1999.
- [28] Nishikiori, N., Abe, T., Costa, D.G.M., Dharmaratne, S.D., Kunii, O., Moji, K.: Who died as a result of the tsunami? - Risk factors of mortality among internally displaced persons in Sri Lanka: a retrospective cohort analysis, BMC Public Health, 6 (2006) 73, doi: 10.1186/1471-2458-6-73.
- [29] Guha-Sapir, D., Parry, L.V., Degomme, O., Joshi, P.C., Saulina Arnold, J.P.: Risk factors for mortality and injury: post-tsunami epidemiological findings for Tamil Nadu, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) report, Brussels, 2006.
- [30] Penning-Rowsell, E., Floyd, P., Ramsbottom, D., Surendran, S.: Estimating injury and loss of life in floods: A deterministic framework, Natural Hazards 36 (2005), pp. 43-64, doi: 10.1007/s11069-004-4538-7
- [31] HR Wallingford, Flood Risks to People Phase 2. Project Record, FD2321/PR, 2006.
- [32] Jonkman, S.N., Kelman, I.: Deaths during the 1953 North Sea storm surge, Proceedings of the Solutions to Coastal Disasters 2005 Conference, Charleston, pp. 749-758, 2012, doi: 10.1061/40774(176)75
- [33] Duizer, J.A.: Een verkennend onderzoek naar methoden ter bepaling van inundatieschade bij doorbraak, TNO report ref. 82-0644, 1989.
- [34] Jonkman, S.N., Vrijling, J.K., Vrouwenvelde, A.C.: Methods for the estimation of loss of life due to floods: a literature review and a proposal for a new method, Natural Hazards, 46 (2008) 3, pp. 353-389, doi: 10.1007/s11069-008-9227-5
- [35] Chanson, H., Brown, R.: Stability of Individuals during Urban Inundations: What Should We Learn from Field Observations?, Geosciences, 8 (2018) 9:341, doi: 10.3390/geosciences8090341