

HIDROLOŠKA ANALIZA KATASTROFALNE POPLAVE MAJA 2014 V BOSNI IN HERCEGOVINI

HYDROLOGICAL ANALYSIS OF CATASTROPHIC FLOOD THAT STRUCK BOSNIA AND HERZEGOVINA IN MAY 2014

UDK 556.166(497.6)"2014"

Mira Kobold

dr., Agencija Republike Slovenije za okolje, Vojkova 1 b, Ljubljana, mira.kobold@gov.si

Lidija Globevnik

dr., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana

Mitja Brilly

dr., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana

Andrej Vidmar

mag., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana

Darko Anzeljc

Inštitut za vode Republike Slovenije, Hajdrihova 28 c, Ljubljana

Povzetek

Sredi maja 2014 se je nad Jugovzhodno in Srednjo Evropo oblikoval ciklon, ki je prinesel obilne, predvsem pa dolgotrajne padavine. Kot posledica večdnevni nenehni padavin so nastali obsežne poplave in zemeljski plazovi v spodnjem delu porečja Save. Katastrofalne posledice uničujočih poplav so doživeli v Srbiji ter Bosni in Hercegovini, v manjšem obsegu pa tudi na Hrvaškem. Poplave so povzročile izgubo življenj ljudi in živali, obsežno škodo ter degradacijo okolja. Več kot sto tisoč ljudi je moralo zapustiti svoje domove, škoda pa je bila ocenjena na več milijard evrov. Območje poplav je bilo že pred poplavnim dogodkom zasičeno z vodo, saj je na tem območju aprila in v prvi polovici maja padlo veliko dežja. Poplavljala ni le reka Sava, temveč tudi njeni pritoki. Dogodek je sprožil veliko mednarodno akcijo pomoči prizadetim v poplavah. Slovenija, ki se je množično odzvala na pomoč prizadetim, je med drugim pomagala z analizo poplavnega dogodka za porečje reke Bosne in predlagala nekatere ukrepe za blaženje vpliva poplav v prihodnosti.

Abstract

In mid-May 2014, a cyclone created over the area of South-eastern and Central Europe brought heavy and especially long-term precipitation. As a result of continuous rainfall lasting several days, extensive floods and landslides occurred in the lower part of the Sava river basin. The disastrous consequences of devastating floods happened in Serbia and Bosnia and Herzegovina and to a minor extent in Croatia. The floods caused extensive damage, loss of human life and death of animals and environmental degradation. More than a hundred thousand people had to leave their homes. The total damage was estimated at several billion Euros. The catchment area was already saturated with water before the flood event, because a large amount of rain fell in this area in April and the first half of May. Not only the Sava river flooded, but also its tributaries. The event launched a major international campaign to help those affected by the floods. Slovenia responded extensively, including the analyses of a flood event of the Bosna river basin, and proposed some measures to mitigate the impact of future floods.

Uvod

Velik del Bosne in Hercegovine, Srbije ter Hrvaške so maja 2014 zajele ene največjih poplav vzdolž reke Save in njenih pritokov (slika 1), ki jim pripisujejo več kot stoleten, ponekod tudi tisočleten pojav. Poplave so se zgodile sredi maja kot posledica velike količine padavin, ki je le v treh dneh preseгла trimesečno povprečje. Najvišje izmerjene padavine v obdobju meritev so povzročile ekstremen

dvig gladine v rekah, marsikje pa so bili preseženi do takrat izmerjeni rekordi. Uničujoče poplave so zahtevale 79 smrtnih žrtev in povzročile zelo veliko gmotno škodo (ReliefWeb, 2015). Šlo je za kombinacijo nižinskih in hudourniških poplav. V nižinskem delu so poplavljali reka Sava in njeni nižinski pritoki Una, Vrbas, Bosna, Drina ter Kolubara. Na poplavljenih območjih se je voda zadrževala več dni. V hribovitih predelih so hitro narasli hudourniški pritoki, ki so s seboj prinašali veliko zemeljskega

materiala in rečnih sedimentov ter marsikje povzročali zasutje objektov in uničenje infrastrukture.

Prizadeta so bila območja na Hrvaškem, v Bosni in Hercegovini ter Srbiji (slika 2). Poplave so se začele na rekah z manjšimi prispevnimi območji. Poplavilo je veliko naselij ob reki Kolubari. Najhuje je bilo v mestu Obrenovac, kjer je gladina vode dosegla višino več metrov. Zelo veliko škode zaradi poplav in zemeljskih

plazov je doživelo porečje reke Drine. Obsežne poplave in plazove ter zelo veliko škodo so povzročili desni pritoki reke Save, med njimi Bosna, Vrbas ter Una. Poplave so bile uničujoče predvsem v mestih in vaseh ob reki Bosni, in sicer v Zavidovičih, Maglaju, Doboju, Modriči ter Bosanskem Šamcu. Sava je povzročila največ škode v Brčkem, Orašju in Obrenovcu, reka Drina v Bijelini in Zvorniku ter reka Vrbanja v Čelincu in Kotorju Varošu.



Slika 1:
Satelitski posnetek razsežnosti poplave na Balkanu 19. maja 2014, posneto z Aqua - MODIS (vir: Earthobservatory.nasa.gov)

Figure 1:
Satellite image of severe flooding in the Balkans on 19 May 2014, captured by Aqua - MODIS (source: Earthobservatory.nasa.gov)



Slika 2:
Območje poplav v Bosni in Hercegovini, Srbiji in na Hrvaškem, pri čemer je bilo temnejše območje bolj prizadeto, svetlejša pa manj (vir: http://en.wikipedia.org/wiki/2014_Southeast_Europe_floods)

Figure 2:
Affected areas in Bosnia and Herzegovina, Serbia and Croatia (darker areas are most affected, lighter also affected (source: http://en.wikipedia.org/wiki/2014_Southeast_Europe_floods)



Slika 3:
Poplavljeni Posavina maja 2014 (vir: <http://www.sos112.si/db/priloga/p19469.jpg>)

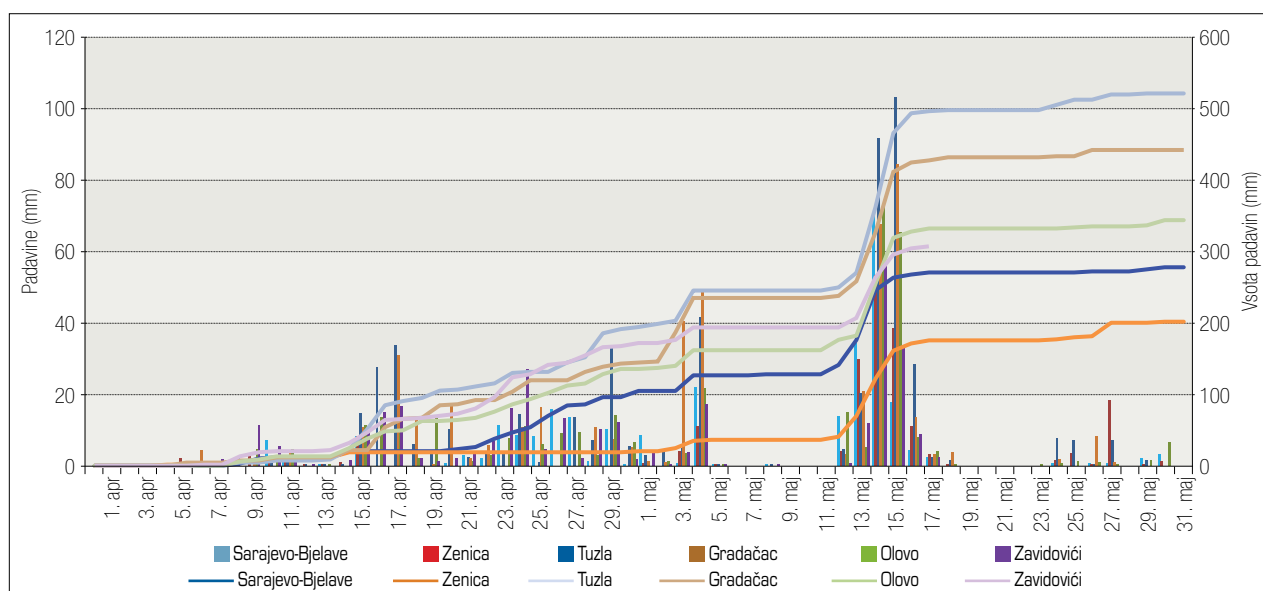
Figure 3:
Flooded Posavina in May 2014 (source: <http://www.sos112.si/db/priloga/p19469.jpg>)

Srbija ter Bosna in Hercegovina sta zaprosili za mednarodno pomoč. Na pomoč ob poplavah se je odzvala tudi Slovenija. Slovenska vlada je namreč sprejela odločitev, da pomaga prizadetim območjem Bosne in Hercegovine tudi z analizo poplavnega dogodka na reki Bosni ter predlaga nekatere ukrepe za blažnje vpliva poplav v prihodnje. V projektu sta iz Slovenije poleg Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) sodelovala Katedra za splošno hidrotehniko Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani (UL FGG) ter Inštitut za vode Republike Slovenije (IzVRS). Ustanove iz Bosne in Hercegovine ter Srbije, in sicer Republički hidrometeorološki zavod Republike Srpske (RHMZ RS), Federalni hidrometeorološki zavod Federacije Bosne i Hercegovine (FHMZ BiH) in druge, so za izvedbo naloge posredovale zaprosene razpoložljive podatke in že pripravljena poročila. Na podlagi zbranih podatkov sta bila analizirano vremensko dogajanje in dan opis hidroloških razmer z rezultati analize verjetnosti velikosti izmerjenih padavin in pretokov v porečju reke Bosne. Za potrebe rekonstrukcije poplavnega dogodka maja 2014 je bil z orodjem HBV-light razvit hidrološki model porečja reke Bosne. Pripravljeno poročilo (ARSO, UL FGG in IzVRS, 2014) je bilo 22. oktobra 2014 predstavljeno in predano predstavnikom hidroloških služb Bosne in Hercegovine, delegaciji EU ter drugim sodelujočim na predstavitvi v Sarajevu in je javno dostopno na spletni strani Agencije RS za okolje.

zračnega tlaka, ki se je pomikalo z južnega dela Jadranskega morja čez Bosno in Hercegovino ter Srbijo na Madžarsko. Območje poplav je bilo že pred poplavnim dogodkom zasičeno z vodo, saj je v Srbiji ter Bosni in Hercegovini aprila padlo veliko dežja (slika 4). Na več meteoroloških postajah, na primer v Banjaluki, Doboju in Prijedoru, je bila aprila izmerjena celo maksimalna mesečna količina padavin za april po letu 1961, in sicer v Banjaluki 214 mm, Doboju 177,4 mm ter Prijedoru 163,8 mm (RHMZ RS, 2014). Aprila je čez to območje prešlo kar sedem ciklonov, že 2. maja pa se je oblikoval nov višinski ciklon v Genovskem zalivu, kar je predvsem na severu Bosne in Hercegovine 3. ter 4. maja povzročilo obilne padavine (RHMZ RS, 2014). Sledilo je enotedensko obdobje skoraj brez padavin. V ponedeljek, 12. maja 2014, je prizadeto območje prešla hladna fronta, ki je s seboj prinesla hladnejši zrak, predvsem v višje plasti ozračja. Do srede zjutraj se je nad območjem oblikovalo plitvo območje nizkega zračnega tlaka, ki se je začelo poglobljati (DHMZ, 2014). Z zahoda je začel na to območje z višinskimi tokovi dotekati vlažen in nestabilen zrak. Z dotekanjem mrzlega zraka čez Alpe se je v sredo, 14. maja, oblikoval obsežen ciklon s središčem nad BiH. Ciklon je dosegel svoj vrhunec 15. in 16. maja, ko se je center pomaknil proti severovzhodu, oslabil pa je šele v soboto, 17. maja. Na osrednjem Balkanu se je ta ciklon zadrževal kar tri dni. Hkrati je nad Zahodno in delom Srednje Evrope vztrajalo območje visokega zračnega tlaka, ki je preprečilo, da bi se ciklon pomaknil proti zahodu. Posledica so bile dolgotrajne padavine, ki so zajele zahodno in osrednjo Srbijo, severno ter vzhodno Bosno in Hercegovino ter severovzhodno Hrvaško. Ciklon je dobival vlago iz Sredozemlja in Črnega morja, hladnejši zrak pa je v višjih predelih povzročal sneg. Procesi v globokem ciklonu so bili zelo intenzivni, ker je bila os ciklona navpično. Poleg tega je ciklon bolj

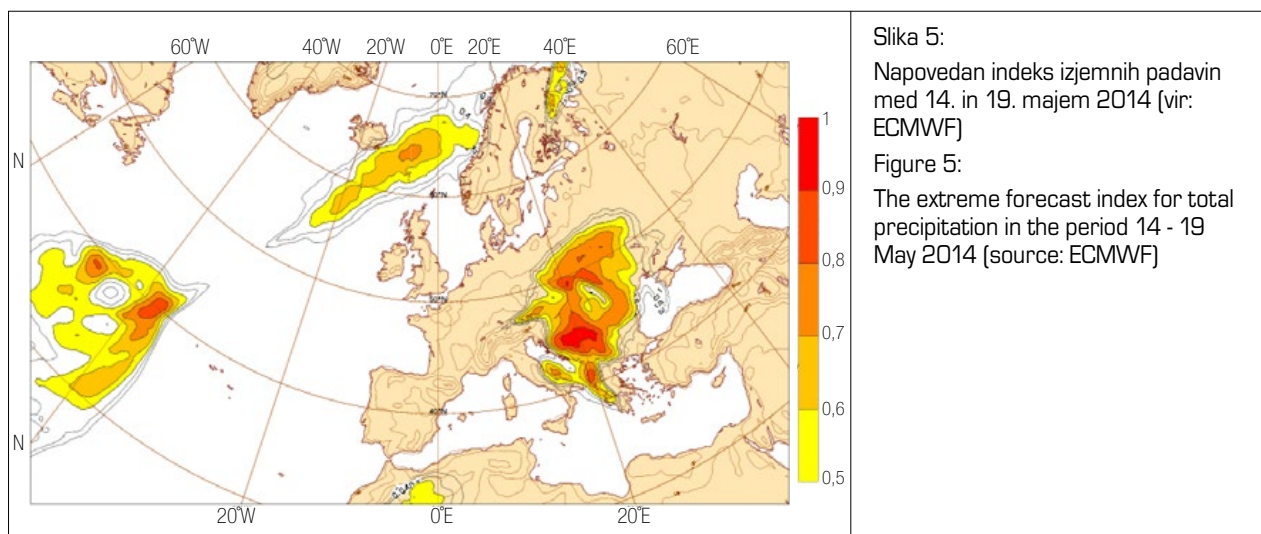
Vremensko dogajanje maja 2014 na Balkanu

Poplave na Balkanu maja 2014 so bile posledica izjemnih padavin, nastalih zaradi obsežnega območja nizkega



Slika 4: Dnevne in kumulativne padavine aprila in maja 2014 na izbranih padavinskih postajah v BiH (vir podatkov: FHMZ BiH, RHMZ RS)

Figure 4: Daily and cumulative precipitation in April and May 2014 at selected rainfall stations in Bosnia and Herzegovina (data source: FHMZ BiH, RHMZ RS)

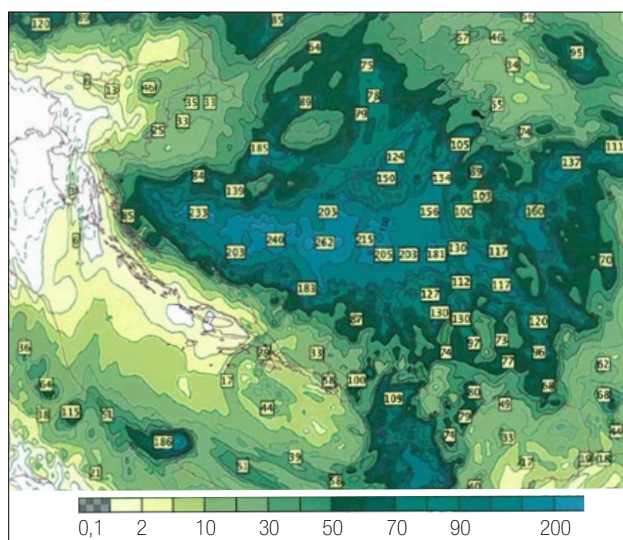


ali manj miroval, 15. maja pa se je celo premaknil proti zahodu. Poleg ekstremne količine padavin so stanje poslabšali nenavadno nizke temperature za ta letni čas in zelo močan veter (Renko, 2014). Opisane vremenske razmere so povzročile obilne in dolgotrajne padavine ter posledično obsežne poplave na osrednjem Balkanu. Obilne padavine za to območje so napovedali tudi meteorološki modeli, ki so za severno in osrednjo Bosno in Hercegovino ter zahodno Srbijo predvideli med 150 in 250 litrov dežja na kvadratni meter v 72 urah (sliki 5 in 6). Napoved se je tudi uresničila.

Po podatkih s spletne strani OGIMET (2014) so največjo količino padavin med 13. majem 2014 ob 6. uri po UTC in 17. majem 2014 ob 6. uri po UTC izmerili na meteorološki postaji Tuzla, in sicer 250 mm. Več kot 100 mm padavin v štirih dneh so izmerili še na meteoroloških postajah Loznica 220 mm, Beograd 190 mm, Smederevska

Palanka 150 mm, Novi Sad 145 mm, Zenica 136 mm, Sarajevo 130 mm, Sremska Mitrovica 125 mm, Ivan Sedlo 115 mm, Osijek 110 mm, Niš 107 mm, Zrenjanin 102 mm in Gradište 100 mm. Največje dnevne količine padavin so izmerili na meteoroloških postajah Loznica 110 mm, Valjevo in Beograd 108 mm, Smederevska Palanka in Tuzla 95 mm, vse 15. maja 2014 ob 6. uri po UTC.

Za primerjavo naj navedemo, da je bila največja izmerjena dnevna količina padavin v obdobju 1961–2010 po podatkih RHMZ Srbije (2014) na postaji Loznica 92,3 mm, Valjevo 94,7 mm, Beograd 94 mm in Smederevska Palanka 129,3 mm. Absolutno največja izmerjena dnevna količina padavin v Srbiji je bila 211,1 mm, izmerjena 10. oktobra 1955 v Negotinu, največja mesečna količina padavin pa 308,9 mm junija 1954 v Sremski Mitrovici (RHMZ Srbije, 2014). V preglednici 1 so zbrane meteorološke postaje z največjo količino padavin med 14. in 17. majem 2014.



Slika 6: Skupna napovedana količina padavin od 14. maja 2014 ob 6. uri po UTC do 17. maja 2014 ob 6. uri po UTC (vir: ARSO, 2014)

Figure 6: Total forecasted precipitation for the period 14.5.2014 06 UTC - 17.5.2014 06 UTC (source: ARSO, 2014)

Verjetnostna analiza večdnevni padavin za porečje reke Bosne

V porečju reke Bosne je največ padavin padlo med 13. in 16. majem (preglednica 2). Največje padavine so bile izmerjene v Tuzli, sledita Gradačac in Olovo. V Tuzli je v 62 urah nepretrganega deževja padlo 229,9 mm padavin. V Sarajevu, Zenici in Zavidovičih so bile izmerjene sicer manjše padavine kot v vzhodnem delu porečja, vendar še vedno znatne. Med 13. in 16. majem je na območjih z največjo intenziteto padavin padlo več padavin, kot je povprečje za ves maj (RHMZ RS, 2014).

Po podatkih Hidrološke studije površinskih voda Bosne i Hercegovine - Sliv rijeke Bosne porečje reke Bosne glede na orografsko razvodnico obsega 10.420 km² (ZV in FHMZ, 2012). Reka teče od juga proti severu. Povirje je v Dinaridih z vršaci, ki presegajo 2000 metrov. Osrednji del porečja obsega hribovito

Meteorološka postaja	24-urne padavine [mm]				Vsota
	14. 5. 2014 6.00 UTC	15. 5. 2014 6.00 UTC	16. 5. 2014 6.00 UTC	17. 5. 2014 6.00 UTC	14. 5. 2014 ob 6.00 UTC– 17. 5. 2014 ob 6.00 UTC
Zagreb Grič, Hrvaška	1,8	0	30,3	3,5	35,6
Sisak, Hrvaška	8,3	0	14,3	13,8	36,4
Osijek-Klisa, Hrvaška	3,2	53,5	41,6	14,2	112,5
Ogulin, Hrvaška	23,7	0,1	17	16	56,8
Slavonski Brod, Hrvaška	1,4	18,8	29,9	9,5	59,6
Gradište, Hrvaška	5,6	51,6	32,4	9,6	99,2
Bihać, BiH	4,1	1	25,4	49,2	79,7
Banja Luka, BiH	----	21,7	32,1	36	89,8
Zenica, BiH	47,9	51,8	31,9	4,9	136,5
Tuzla, BiH	49,2	94,8	89,6	15	248,6
Ivan Sedlo, BiH	79,7	27,7	7,1	----	114,5
Sarajevo Bjelave, BiH	72,6	41	13,4	2,9	129,9
Palić, Srbija	5	27,1	21,5	3,9	57,5
Novi Sad, Srbija	0,3	86,9	31,2	26,7	145,1
Zrenjanin, Srbija	2,3	67,7	19	12,6	101,6
Loznica, Srbija	50,6	110	52,6	5,4	218,6
Sremska Mitrovica, Srbija	5,8	69,1	28,7	22,2	125,8
Valjevo, Srbija	31,8	108,2	43,9	3,1	187
Beograd, Srbija	20,9	107,9	44,4	17	190,2
Kragujevac, Srbija	21,5	40,6	27,9	1,2	91,2
Smederevska Palanka, Srbija	21,1	95,3	30,1	1,7	148,2
Veliko Gradište, Srbija	6,2	51,4	22,9	2	82,5
Zlatibor, Srbija	38,1	37,2	20,8	2,8	98,9
Niš, Srbija	2,3	74,5	25,9	4,3	107

Opomba: --- pomeni, da ni podatka

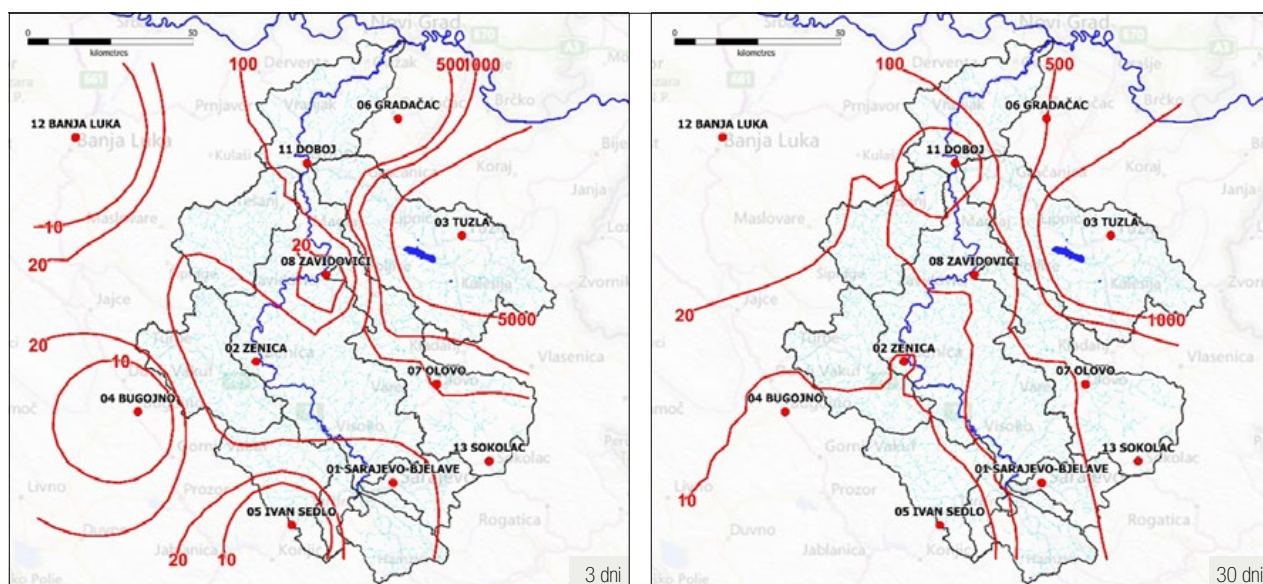
Preglednica 1: 24-urne padavine in vsota padavin od 14. maja 2014 ob 6. uri po UTC do 17. maja 2014 ob 6. uri po UTC na izbranih meteoroloških postajah na Hrvaškem, v Bosni in Hercegovini ter Srbiji (povzeto po ARSO, UL FGG in IzVRS, 2014)

Table 1: The 24-hour precipitation and total precipitation from May 13, 2014 06:00 UTC to May 17, 2014 06:00 UTC on selected meteorological stations in Croatia, Bosnia and Herzegovina, and Serbia (source: ARSO, UL FGG and IzVRS, 2014)

Postaja	Sarajevo Bjelave	Olovo	Zenica	Zavidovići	Gradačac	Tuzla
Datum	[mm]					
1.–30. 4. 2014	97	136,5	19,6	170		192,6
1.–11. 5. 2014	32	27,1	16,5	25,8	91,8	55
12. 5. 2014	14,1	15,3	4,4	0,8	3,3	4,9
13. 5. 2014	34,6	5,5	30,2	12,3	21,1	20,6
14. 5. 2014	71,3	72,9	53,7	57,1	68,3	92,3
15. 5. 2014	18	65,8	38,7	33,1	85,1	103,8
16. 5. 2014	4,6	8	11,4	9	13,6	28,6
17. 5. 2014	2,4	4,4	3,3	2,4	3,3	2,5
13. 5. 2014 ob 16.00 UTC–16. 5. 2014 ob 6.00 UTC	116,5	150,4	127,1	107,8	178	229,2
12.–17. 5. 2014	145	171,9	141,7	114,7	194,7	252,7
1.–17. 5. 2014	177	156,6	274,6	113,9	382,8	247,8
1. 4.–17. 5. 2014	274	335,5	293,2	310,5	286,5	500,3
Letno povprečje obdobja 1961–1990	932		782			894

Preglednica 2: Dnevne količine padavin in vsote dnevni padavin za izbrana obdobja na posameznih postajah v BiH (vir podatkov: FHMZ BiH, RHMZ RS)

Table 2: Daily precipitation and daily precipitation totals for selected periods on some stations in Bosnia and Herzegovina (data source: FHMZ BiH, RHMZ RS, 2014)



Slika 7: Izolinije povratnih dob maksimalnih padavin trajanj 3 in 30 dni v obdobju april–maj 2014 v porečju reke Bosne
 Figure 7: The contours of return periods of maximum precipitation for periods of 3 and 30 days in the period April–May 2014 on the Bosnia catchment

Država	Reka	Hidrološka postaja	Maksimum pred majem 2014		Maj 2014	
			Vodostaj [cm]	Datum	Vodostaj [cm]	Datum
Bosna in Hercegovina	Bosna	Reljevo	527	20. 12. 1968	498	15. 5. 2014
	Bosna	Doboj	578	13. 5. 1965	730	15. 5. 2014
	Bosna	Zenica	530	20. 12. 1968	601	15. 5. 2014
	Bosna	Maglaj	740	3. 7. 2005	980	15. 5. 2014
	Una	Kralje	655	23. 12. 1982	496	16. 5. 2014
	Sana	Sanski Most	530	25. 10. 1955	517	16. 5. 2014
	Sana	Prijedor	511	9. 10. 1955	546	16. 5. 2014
	Vrba	Delibašino Selo	687	23. 9. 1996	760	16. 5. 2014
	Sava	Gradiška	855	19. 3. 1977	808	20. 5. 2014
Hrvaška	Sava	Jasenovac	907	18. 1. 1970	859	19. 5. 2014
	Sava	Stara Gradiška	898	30. 10. 1974	801	20. 5. 2014
	Sava	Mačkovac	1023	30. 10. 1974	953	20. 5. 2014
	Sava	Davor	1037	30. 10. 1974	1010	18. 5. 2014
	Sava	Slavonski Kobaš	937	30. 10. 1974	941	18. 5. 2014
	Sava	Slavonski Brod	883	31. 10. 1974	939	18. 5. 2014
	Sava	Slavonski Šamac	777	18. 1. 1970	891	17. 5. 2014
	Sava	Županja	1064	19. 1. 1970	1191	17. 5. 2014
	Una	Hrvatska Kostanjica	537	10. 10. 1955	504	18. 5. 2014
Srbija	Sava	Jamena	1104	12. 1. 2010	1265	17. 5. 2014
	Sava	Sremska Mitrovica	800	26. 10. 1974	869	17. 5. 2014
	Sava	Šabac	590	25. 3. 1981	664	17. 5. 2014
	Sava	Beograd	738	16. 4. 2006	586	23. 5. 2014
	Drina	Bajina Bašta	857	20. 12. 1958	482	15. 5. 2014
	Drina	Radalj	660	2. 12. 2010	623	15. 5. 2014
	Jadar	Lešnica	436	23. 6. 2010	446	16. 5. 2014
	Kolubara	Slovac	500	13. 5. 1965	583	15. 5. 2014
Tamnava	Čemanov most	444	20. 3. 1981	508	15. 5. 2014	

Preglednica 3: Maksimalni vodostaji v porečju Save maja 2014, rdeče številke so novi doseženi rekordi (vir: Poročilo Savske komisije, 18. maj 2014 in 20. marec 2015)

Table 3: Maximum water levels on the Sava river basin in May 2014 [source: Report of the Sava Commission, 18.5.2014 and 20.03.2015]

območje osrednje Bosne, spodnji del toka pa poteka po ravninskem območju poplavnega sveta reke Save. Porečje je tudi po geološki sestavi zelo pestro z značilnimi območji krasa.

V Tuzli je večina večdnevni padavin dosegla povratno dobo več kot 500 let. V Olovem so dvo- in tridnevne padavine imele več kot 500-letno povratno dobo, eno-, štiri- in tridesetdnevne padavine pa 100-letno povratno dobo. Padavine vseh drugih trajanj so imele povratno dobo višjo od 20 let. V Doboju je imela večina večdnevni padavin povratno dobo od 20 do 50 let, tridnevne pa več kot 100 let. Podobno kot v Doboju so tudi v Sarajevu in Zenici večdnevne padavine imele večinoma več kot 20-letno povratno dobo, tri- do sedemdnevne pa celo več kot 100-letno povratno dobo. Glede na padavine, ki so zajele več kot polovico porečja reke Bosne, je bila verjetnost dogodka od 100 do 200 let, lokalno pa tudi več kot 500 let.

Hidrološke razmere maja 2014 na širšem poplavnem območju

Po izredno mokrem aprilu je bila zemlja nasičena z vodo in obilne padavine maja so povečale površinski odtok ter povzročale erozijo in zemeljske plazove. Največje vodostaje na poplavnih območjih so presegle reke Bosna, Jala, Sana in Vrbas v Bosni in Hercegovini, reka Sava na Hrvaškem ter reke Sava, Drina, Jadar, Kolubara in Tamnava v Srbiji (preglednica 3). Na rekah, ki so presegle absolutne maksimalne vodostaje, pretoki večinoma niso bili izmerjeni. Izjema je reka Sava v Sremski Mitrovici. Tu je bil pri vodostaju 810 cm izmerjen pretok $6485 \text{ m}^3/\text{s}$. Reka Sava je imela ta vodostaj en dan po maksimalnem vodostaju, ki je znašal 869 cm (RHMZ Srbije, 2015). Maja 2014 izmerjen pretok je do zdaj največji izmerjeni pretok na tem kraju in je prejšnji rekord presegel za $205 \text{ m}^3/\text{s}$. Prejšnji rekord je bil $6280 \text{ m}^3/\text{s}$. Hrvaški Državni hidrometeorološki zavod je ocenil, da je bil največji pretok Bosne ob izlivu v Savo $4000 \text{ m}^3/\text{s}$, Vrbasa pa $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ (DHMZ, 2014).



Slika 8: Posledice drobirskega toka v Željeznem polju 11. junija 2014 (foto: L. Globevnik)

Figure 8: The consequences of debris flow in Željezno polje, 11.6.2014 (photo: L. Globevnik)

Hidrološke razmere maja 2014 v porečju reke Bosne

Strokovnjaki iz ARSO, UL FGG in IzVRS, ki so v okviru pomoči iz Slovenije sodelovali pri hidrološki analizi poplavnega vala za porečje reke Bosne, so si najprej ogledali razmere po poplavah v porečju Bosne. Mesec dni po poplavi junija 2014, ko je potekal obisk, so bile posledice še dobro vidne. Splošni vtis ob ogledu terena je bil, da so posledice poplavnega dogodka in erozijskih pojavov vzdolž reke Bosne primerljive s posledicami ujme v Sloveniji leta 1990. Pojav zemeljskih plazov in drobirskega toka v Željeznem polju (slika 8) je podoben pojavu zemeljskega plazov v Logu pod Mangartom leta 2000 in drobirskega toka v Železnikih leta 2007. Poplave in plazovi maja 2014 v porečju Bosne so imeli torej velike razsežnosti in katastrofalne posledice.

Ogled porečja v okolici Sarajeva je pokazal, da so bili pretoki vodotokov v povirju zelo visoki, vendar voda ni prestopila brežin. Visoke vode so ponekod sicer poškodovale obrežne utrditve, vendar do strnjenih poplav ni prišlo do območja pred Zavidovići. Tam v reko Bosno priteče Krivaja. V Zavidovićih so bili pod vodo kletni in pritlični prostori stanovanjskih stavb vzdolž reke Bosne. V mestu je odneslo skoraj nov kolesarski most. Potopljeno je bilo naseljeno območje sotočja reke Bosne in Krivaje. Dotok reke Krivaje je torej zelo povečal pretoke reke Bosne, Krivaja pa je poplavljal že v mestu Olovo. Tam je odplavilo les iz skladišča žage, kar je začasno skoraj zamašilo izlivni del Krivaje v Zavidovićih. Razdeljanje je bilo opazno tudi vzdolž reke Krivaje. Porušen je bil most čez Krivajo.

Reka Bosna je nato poplavljal do izliva v reko Savo. Zelo so bila poplavljaljena mesta Maglaj, Doboj, Modriča in Šamac. Poplavljali so tudi pritoki. Na reki Spreči, ki se v reko Bosno izliva v Doboju, je zgrajena večja pregrada z vodnim zadrževalnikom Modrac. Voda iz zadrževalnika se redno uporablja za oskrbo z vodo v industrijskih obratih, in sicer v rudniku soli ter termoelektrarni



Slika 9: Zdrsi zemljine kot posledica čezmerne namočenosti v porečju Bosne (foto: M. Kobold)

Figure 9: Landslide as a result of excessive saturated soil on the Bosnia catchment (photo: M. Kobold)

v Tuzli, zato ima dober hidrološki in meteorološki monitoring. Zapis gibanja vodostajev je pomemben kazalnik za analizo dogodka maja 2014. Ugotovili smo, da je prelivanje visoke vode čez pregrado poškodovalo podslapje pregrade, iz zadrževalnika pa se je med dogodkom izpuščalo več vode, kot jo je vanjo priteklo. Pretoki Spreče so bili torej po naših prvih opazovanjih večji, kot bi bili pri naravnem odtekanju vode. Voda je sicer poplavljala vsi ravnico ob Spreči do Doboja.

Večje razdejanje je povzročilo prelivanje vode čez glavno cesto Doboj–Sarajevo nad starim železnim mostom, ki je ostanek ozkotirne železnice na južni vpadnici. Most je bil zgrajen s tremi stebri v strugi, med njimi pa so se zapletle velike količine drevja in vejevja ter drugih nanosov. Ustvarjen je bil zamašek, ki je močno upočasnil tok vode in dvignil vodno gladino. Voda se je prelivala čez cesto, tekla po ravnici proti mestu Doboj in ga poplavlila iz zaledne strani. Zaradi visoke nivelete glavne ceste, ki loči mesto od reke Bosne in ceste, ki je nanjo speljana pravokotno čez reko Bosno proti dolini Spreče, voda iz mesta ni mogla odtekat. To se je zgodilo šele takrat, ko je bil narejen preboj ceste pri trgovskem centru Tuš nad križiščem obeh omenjenih cest. Cesto so prebili v

času upadanja gladine reke Bosne. Z »umetno« povišano gladino reke Bosne na železnem mostu pred mestom (gorvodna stran) je bilo oteženo tudi odtekanje reke Usore. Ta se v reko Bosno izliva 1200 metrov gorvodno od železnega mostu. Tako je mesto Doboj poplavljala tudi voda iz reke Usore.

Na poti proti Šamcu smo si ogledali na novo zgrajeno naselje pri Modriči, ki leži na poplavnem območju reke Bosne. Območje je velikokrat poplavljen zaradi slabega odtekanja zalednih voda, pred Bosno pa je bilo leta 2010 zaščiteno z nasipom. Nasip je med poplavo maja 2014 popustil. Naselje je bilo v trenutku pod zelo visoko vodo, in sicer več kot dva metra. Zaradi poplave so umrli štirje ljudje.

Zelo prizadeto je bilo tudi mesto Bosanski Šamac pri vtoku reke Bosne v reko Savo (slika 13). Ustje reke Bosne v Savo ni posebej urejeno oziroma regulirano. Med mestom in reko Bosno je zgrajen visokovodni nasip, ki je delno presekal nekdanjo široko razlivno območje reke Bosne pri Savi. Reka Sava namreč ob visokih vodah zajezuje vodo v reki Bosni. Reka je še v bližnji preteklosti pogosto spreminjala glavni tok, premikal pa se je tudi položaj sotočja s Savo. V preteklosti je torej reka Bosna tekla čez predele, kjer je danes zgrajeno



Slika 10: Porušen most čez reko Bosno v Doboju - Kostanjici (foto: M. Kobold)

Figure 10: Demolished bridge over the Bosnia river in Doboj - Kostanjica (photo: M. Kobold)



Slika 11: V poplavi popolnoma uničena meteorološka postaja v Doboju (foto: M. Kobold)

Figure 11: The flood completely destroyed the meteorological station in Doboj (photo: M. Kobold)



Slika 12: Ogled sanacije nasipa pri Modriči (foto: M. Kobold)

Figure 12: View of the embankment rehabilitation at Modriča (photo: M. Kobold)



Slika 13: Posledice poplav v Bosanskem Šamcu (foto: M. Kobold)

Figure 13: Flood consequences in Bosanski Šamac (photo: M. Kobold)

mesto Bosanski Šamac. Visokovodni nasip je bil projektiran na gladine reke Save in zaradi nje zajezene gladine reke Bosne. Žal se je pri dogodku maja 2014 zgodilo, da sta imeli tako reka Sava kot Bosna hkrati zelo velike pretoke. Reka Bosna torej ni mogla odtekat, zaradi velikih pretokov, ki jih je imela tudi sama, pa je prelila nasip nad mestom Bosanski Šamac. Od tam je kot hitro deroča reka tekla v diagonalni smeri čez naselje proti reki Savi. Zaradi visokih gladin v reki Savi se je voda v mestu zadržala še dober teden.

številine zemeljske plazove ter drobirske tokove. Ti so bili najhujši v Željeznem polju. Zemeljske plazove so zasledili tudi na drugih območjih porečja. Analiza RHMZ RS (2014) kaže na zelo velike padavine v osrednjem delu porečja reke Bosne in spodnjem vzhodnem delu porečja. Hkrati so razmeroma velike padavine zajele tudi Slavonijo, kar je povzročilo izredne pretoke na manjših vodotokih, ki se neposredno izlivajo v reko Savo (Abdulaj in sodelavci, 2014).

Izjemen dogodek maja 2014 na reki Bosni je v posamičnih elementih primerljiv z vsemi izrednimi dogodki poplav, plazov in drobirskih tokov, kot jih poznamo v Sloveniji iz let 1990, 2000, 2007 in 2010 (Kobold, 2011). Dogodki v Sloveniji so bili sicer intenzivni, toda kratkotrajni, razen leta 2000 (Mikoš in sodelavci, 2002). Dogodek v Bosni in Hercegovini je bil intenzivnejši, predvsem pa dolgotrajnejši. Dolgotrajne in intenzivne padavine so sprožile

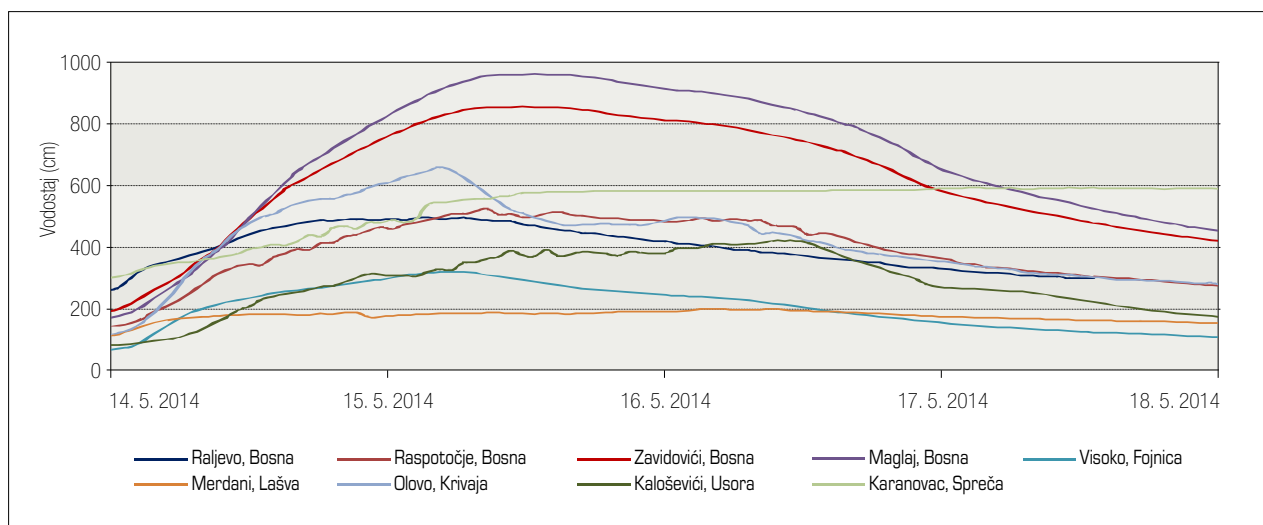
Poplava se je začela v zgornjem delu porečja 13. maja 2014. V zgornjem delu porečja vodostaji sicer niso presežili vrednosti, doseženih pri izmerjenih zgodovinskih dogodkih (preglednica 3). Maksimalne vrednosti so bile presežene dolvodno od Zenice. V Zenici je bil maksimum presežen za 70 cm, v Doboju pa za 150 cm. Če se velike količine vode ne bi razlile po poplavnih območjih, bi bile konice poplav še višje (Kupusović, 2014).

Povratna doba [leta]	Modriča	Doboj	Maglaj	Zavidovići [m ³ /s]	Raspotočje	Dobrinje	Reljevo
10	2214	2091	1508	1164	904	600	345
20	2551	2420	1764	1320	1039	717	400
50	2990	2795	2120	1520	1220	880	464
100	3318	3087	2479	1673	1360	1058	510
500*	4148	3936	3272	2091	1700	1375	637
1000*	4645	4321	3718	2342	1904	1534	714
simulacija vala 2014 – teoretično najvišje konice vala	4875	4831	3498	2479	2265	1663	820

*določeno iz odnosa verjetnih visokih voda do 100-letne povratne dobe z logaritemsko skalo

Preglednica 4: Verjetnosti pojava maksimalnih pretokov na posameznih vodomernih postajah na reki Bosni
 (vir: Hidrološka študija BiH, RHMZ RS in FHMZ BiH)

Table 4: The probability of occurrence of maximum discharges at gauging stations on the Bosnia river
 (source: Hydrological study of BiH, RHMZ RS and FHMZ BiH)



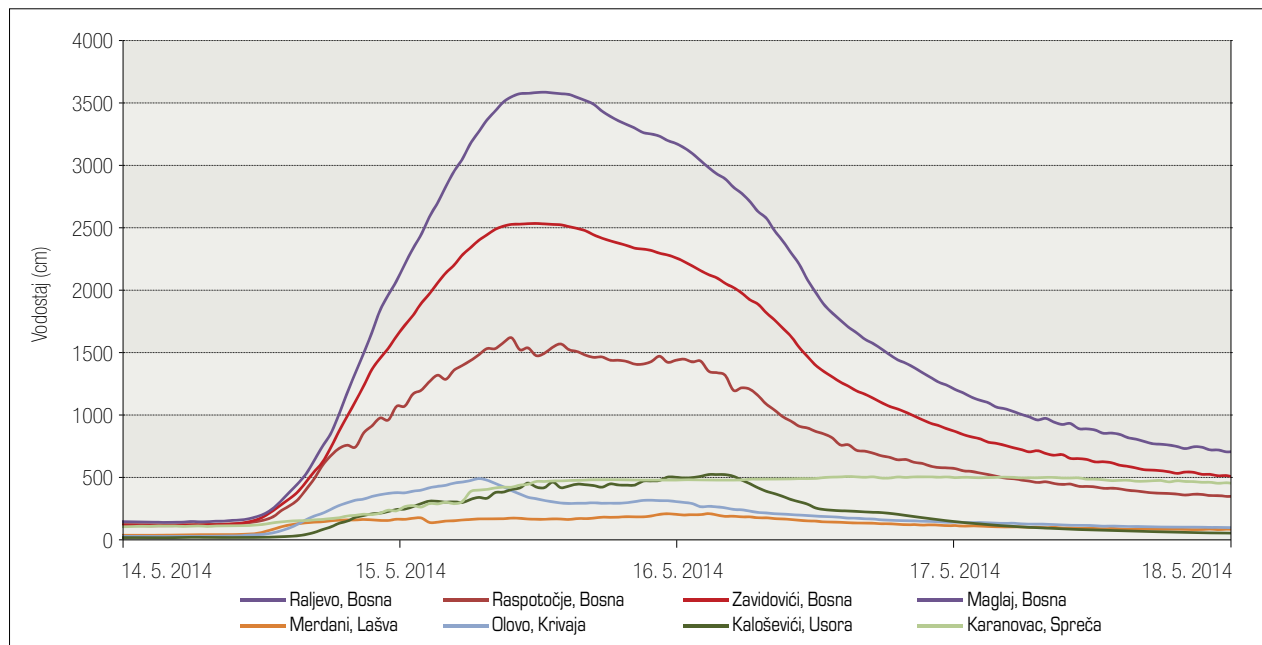
Slika 14: Gladine poplavnih valov na vodomernih postajah v porečju Bosne pri poplavi maja 2014
 (vir podatkov: RHMZ RS in FHMZ BiH)

Figure 14: The water levels of the flood wave on the gauging stations in the Bosnia catchment in May 2014 flood
 (data source: RHMZ RS and BiH FHMZ, 2014)

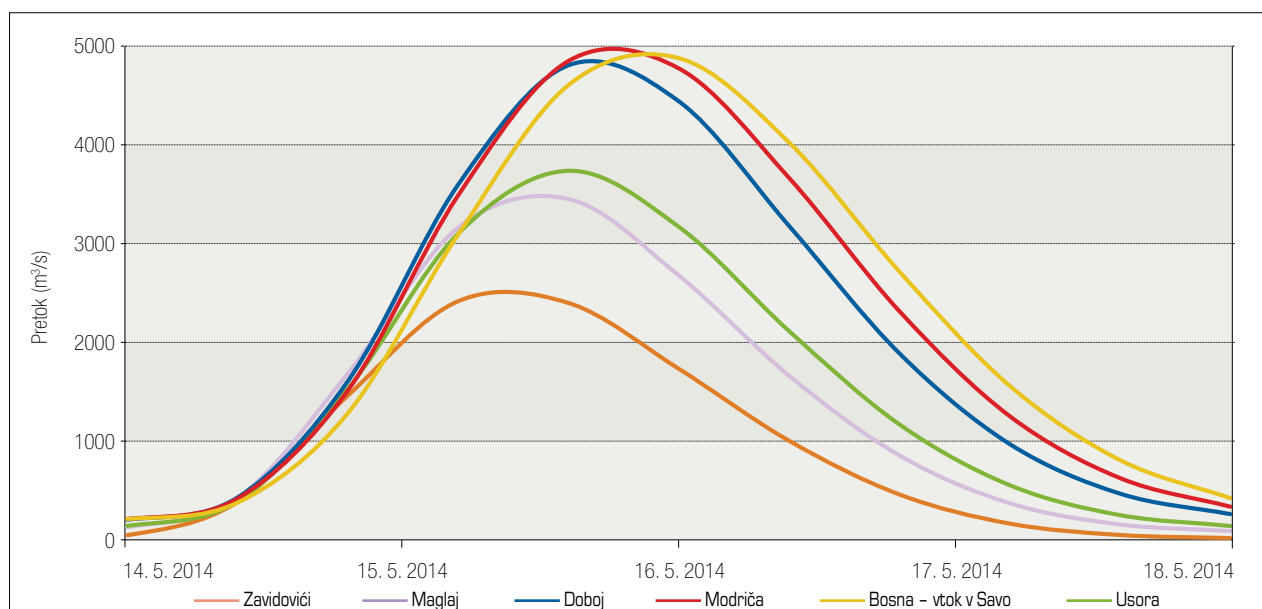
Bolj kot višina vode preseneča njeno trajanje (slika 14). Diagram pretokov, ki so jih za nekatere vodomerne postaje ovrednotili na RHMZ RS in FHMZ BiH od 14. do 18. maja 2014, predstavlja slika 15. Veliko vodomernih postaj je bilo med poplavo poškodovano, zato so podatki izgubljeni.

Iz grafičnih prikazov gladin in pretokov (sliki 14 in 15) so razvidni čas dvigovanja gladine poplavnega vala, verjetni vplivi zadrževanja vode na poplavnih ravninah ter hkratnost nastopa konice poplavnih valov na sotočjih. Zamiki pri pojavu konic so v zgornjem toku reke od dve do tri

ure. V spodnjem toku je bilo potovanje poplavnega vala podobno kot v zgornjem toku, le da se je pojav največjega pretoka krepko upočasnil zaradi razlivanja vode na poplavna območja. Voda se je v Maglaju začela dvigovati celo prej kot v gorvodnih Zavidovičih. Maksimum je bil v Maglaju dosežen že v uri po doseženem maksimumu v Zavidovičih, v Doboju pa po šestih urah pri skoraj enaki razdalji. Reka Krivaja v Olovu je dosegla vrh dve uri pred reko Bosno v Zavidovičih in tako povzročila dvig vala v Maglaju, še preden je tja pripotovala najvišja konica vala reke Bosne iz Zavidovičev. V Maglaju je tako konica vala združene Bosne in Krivaje trajala kar šest ur.



Slika 15: Pretoki na vodomernih postajah v porečju Bosne med poplavo maja 2014 (vir podatkov: RHMZ RS in FHMZ BiH)
 Figure 15: Discharges on the gauging stations in the Bosnia catchment in May 2014 flood (data source: RHMZ RS and BiH FHMZ, 2014)



Slika 16: Simulirani hidrogrami srednjih dnevnih pretokov na reki Bosni maja 2014
 Figure 16: Simulated hydrographs of mean daily discharges in May 2014 on the Bosna river

Simulacija poplave reke Bosne in verjetnostna analiza

Pretočne hidrograme poplavnega dogodka maja 2014 smo simulirali s pomočjo hidrološkega modela HBV-light (ARSO, UL FGG in IzVRS, 2014). S simulacijo smo analizirali odtočne koeficiente dogodka in določili najbolj verjetne pretoke dolvodno od Maglaja (slika 16). Odtočni koeficienti za reko Bosno (odtok med 14. in 17. majem 2014 glede na padavine od 12. do 17. maja 2014) so bili med 0,76 na reki Bosni pri Modriči in 0,91 na reki Bosni pod vtokom Usore. Odtočni koeficient za Bosno v Doboju je bil 0,82. Koeficienti odtoka so visoki, saj so bila tla zaradi predhodnih padavin aprila in v začetku maja nasičena z vodo, zato je večina padavin površinsko odtekla in prispevala k višjim poplavnim konicam.

Med 12. in 22. majem 2014 je skozi dolino reke Bosne pri Zavidovičih steklo skoraj 1000 milijonov m³ vode, pri Maglaju 1389 milijonov m³, pri Doboju pod sotočjem s Sprečo 2032 milijonov m³ in pri Modriči 2172 milijonov m³ vode. Največji obseg so imele poplave 15. maja 2014 (slika 17). Za izračun površine največjega obsega poplav med Zavidoviči in Modričo je bil narejen digitalni model reliefa (ARSO, UL FGG in IzVRS, 2014). Obseg poplav 15. maja 2014 je interpretiran iz podatkov o višinah največje izmerjene poplavne vode na vodomernih postajah na reki Bosni in reki Savi pri Bosanskem Šamcu. Za oceno višine poplavne vode na vmesnih profilih je bil upoštevan padec gladine poplavne vode ob stoletnih poplavah.

Glede na podatke iz Hidrološke študije reke Bosne (ZV in FHMZ, 2012), ki so prikazani v preglednici 4, so pretoki reke Bosne v Maglaju presegli povratno dobo 500 let, drugod v porečju Bosne pa več kot 1000 let.

Sklepne misli

Opravljene analize, zbir podatkov od leta 1961 do maja 2014, priprava baze podatkov o pretokih, padavinah in temperaturah v porečju reke Bosne ter hidrološki model so le hiter vpogled v kompleksen in pester proces poplav reke Bosne. Verjetnost pojava na najhuje poplavljenih območjih presega 1000-letno povratno dobo.

Vsaka katastrofalna poplava je enkratni pojav s posebnimi značilnostmi in razvojem. Poplave v spodnjem delu porečja Save maja 2014 so posledica večdnevni neprekinjenih padavin, ki so povzročile zelo visoke pretoke in koeficient odtoka blizu vrednosti 1. Pozitivna okoliščina je, da maksimalni pretoki posameznih pritokov niso sovpadali z največjimi pretoki v strugi reke Save, so pa podaljšali trajanje poplavnega vala.

S celovito analizo poplavnega dogodka na reki Bosni se večja poznavanje izrednega hidrološkega dogodka maja 2014 na največjem porečju v BiH, s postavitvijo



— Preseki — Območje poplav — Q₁₀₀ Območje poplav 15. 5. 2014

Slika 17: Ocena največjega obsega poplav reke Bosne na digitalnem modelu reliefa (razmerje prikaza dolžin proti višinam je 1 : 5)

Figure 17: The estimation of the maximum extent of the Bosnia river flood on Digital Elevation Model (the ratio of length to height is 1:5)

hidrološkega modela pa se vzpostavlja prenos znanja in izkušenj med Slovenijo ter BiH na področju spremljanja, napovedovanja in učinkovitejšega obvladovanja poplav. Ugotovljeno je bilo, da je v porečju Bosne velik lokalni orografski vpliv na padavine, zato je bila za izboljšanje delovanja modela predlagana postavitev dodatnih padavinskih postaj na ustreznih lokacijah, ki bodo reprezentativne za posamezna podporečja. Dogodek zahteva tudi bolj podrobno nadaljnjo analizo posameznih pritokov ter razvoj hidravličnega modela glavnega toka reke Bosne in Save.

Model porečja reke Bosne zadovoljivo in uspešno simulira vodno bilanco vodotoka ter daje podlago za nadaljnji razvoj, v sedanji obliki pa je že uporaben za pripravo napovedi pretokov pri poplavah reke Bosne v spodnjem toku. Podobno kot za porečje Bosne je možno razviti modele za druga porečja, predvsem Une, Vrbasa in Drine.

Viri in literatura

1. Abdulaj, R., Miković, N., Oskoruš, D., in Vujnović, T., 2014. Velike vode donjeg toka rijeke Save tijekom svibnja 2014. Hrvatska vodoprivreda 207, 14–16.
2. Anzeljc, D., Đurović, B., 2014. Analiza večdnevnih padavina, ki so maja 2014 povzročile poplave na porečju Bosne. Poročilo IzVRS.
3. ARSO, 2014. Poplave na osrednjem Balkanu. http://www.meteo.si/uploads/probase/www/tmp/dmets/media/poplave-osrednji_Balkan-201405.pdf (5. 6. 2014).
4. ARSO, UL FGG in IzVRS, 2014. Analiza poplavnega dogodka maja 2014 v Bosni in Hercegovini za porečje reke Bosne. Poročilo. http://www.arsso.gov.si/vode/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/Koncno%20porocilo_Analiza%20poplave%20maja%202014%20za%20porecje%20reke%20Bosne.pdf.
5. DHMZ, 2014. Stoljetna poplava na donjem toku rijeke Save. Državni hidrometeorološki zavod. http://klima.hr/razno/priopcenja/poplava_sava_2014.pdf (20. 5. 2014).
6. Kobold, M., 2011. Primerljivost poplave septembra 2010 z zabeleženimi zgodovinskimi poplavnimi dogodki. Ujma 25, 48–56.
7. Kupusović, T., 2014. Poplave, akumulacije, hidroenergija i okoliš, sa izazovima klimatskih promjena, predstavitev, Doboj, Javna tribuna (15. 7. 2014).
8. Mikoš, M., Vidmar, A., Šraj, M., Kobold, M., Sušnik, M., Uhan, J., Pezdić, J., Brilly, M., 2002. Hidrološke analize na plazu Stože pod Mangartom. Ujma 16, 326–334.
9. OGIMET, 2014. Professional information about meteorological conditions in the world. <http://www.ogimet.com/resynops.phtml.en> (6. 5. 2014).
10. ReliefWeb, 2015. Balkans: Floods - May 2014. <http://reliefweb.int/disaster/ff-2014-000059-srb> (30. 3. 2015).
11. Renko, T., 2014. Rekordne količine kiša u Slavoniji i regiji. Hrvatska vodoprivreda 207, 12–13.
12. RHMZ RS, 2014. Meteorološki i hidrološki aspekti poplava u Republici Srpskoj, maj 2014 (Метеоролошки и хидролошки аспекти поплава у Републици Српској, мај 2014). Republički hidrometeorološki zavod RS. <http://www.rhmzrs.com/assets/images/meteorologija/> (19. 12. 2014).
13. RHMZ Srbije, 2015. Analiza hidrološke situacije na glavnim slivovima na teritoriji Republike Srbije u periodu januar - jun 2014. godine. http://www.hidmet.gov.rs/latin/hidrologija/naslovna_analize.php (14. 5. 2015).
14. ZV in FHMZ, 2012. Hidrološka studija površinskih voda Bosne i Hercegovine, Sliv rijeke Bosne. Zavod za vodoprivredu d. d. Sarajevo, Federalni Hidrometeorološki Zavod.