

UDK: 627.51
Originalni naučni rad

O RAČUNSKIM NIVOIMA VODE ZA ZAŠTITU OD POPLAVA NA DUNAVU KOD NOVOG SADA

Jasna PLAVŠIĆ
Građevinski fakultet Univerzitetu u Beogradu
Rade MILUTINOVIĆ
Hidrobiro, Novi Sad

REZIME

Zaštita Novog Sada od velikih voda oslanja se najvećim delom na nasipe duž obala Dunava koji su rekonstruisani posle velike poplave iz 1965. godine, kada su dimenzionisani na 100-godišnju veliku vodu. Merodavni nivo vode za dimenzionisanje nasipa određen je tada na osnovu statističke analize niza od 21 maksimalnog godišnjeg vodostaja (1947-1967). Vreme je pokazalo da je taj niz dao merodavni vodostaj s kojim je Novi Sad imao dodatnu zaštitu od velikih voda tokom poslednjih 40 godina. Svaki drugačiji izbor niza za statističku analizu imao bi za rezultat niži merodavni vodostaj i niže kote nasipa. U radu se razmatra uticaj izbora niza maksimalnih godišnjih vodostaja na rezultate statističke analize i na vrednosti merodavnih vodostaja na Dunavu kod Novog Sada. Rezultati pokazuju da je stepen zaštite Novog Sada od plavljenja ispod projektovanog.

Ključne reči: velike vode, statistička analiza, metoda godišnjih maksimuma, metoda prekoračenja, merodavni vodostaji, zaštita od poplava.

1. UVOD

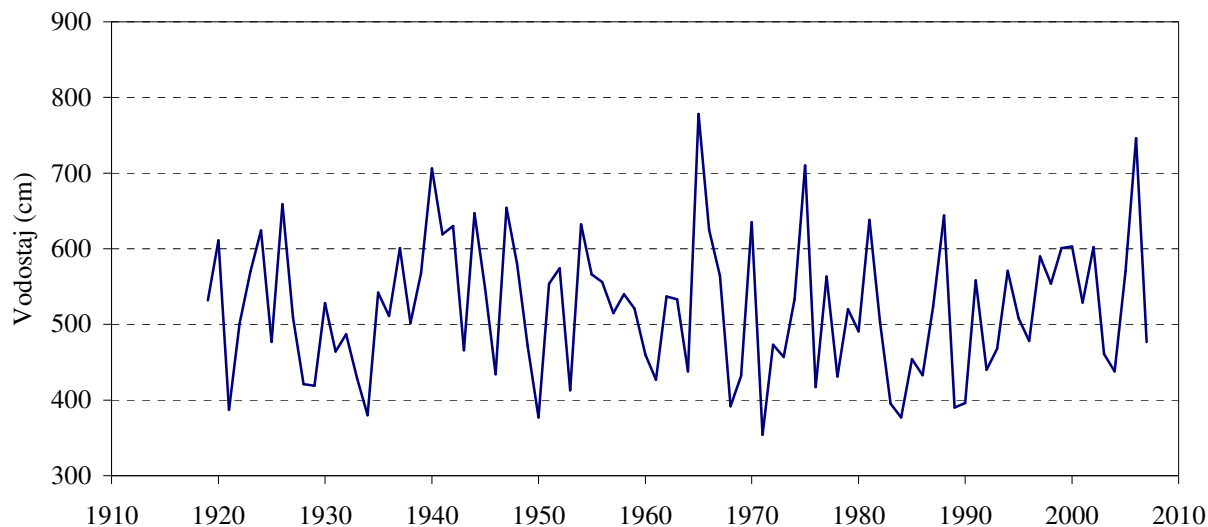
Novi Sad se nalazi u srednjem toku Dunava, na 1255 km od ušća Dunava u Crno more. Dunav i jedan od kanala iz sistema Dunav-Tisa-Dunav dele područje Novog Sada na tri dela (slika 1). Centralni i najveći deo grada sa administrativnim sedištem nalazi se na levoj obali Dunava u inundaciji i ima izrazito nepovoljan položaj za zaštitu od plavljenja. Grad je nastao od naselja naspram Petrovaradinske tvrđave, podignutom na obali Dunava, na niskom močvarnom inundacionom terenu izbrazdanom rečnim rukavcima. Sa razvojem grada, naročito u XIX i XX veku, rukavci su zasuti, a deo major korita je nasut peskom, izdignut, odvojen od Dunava nasipima i

pretvoren u urbanu zonu. Tako su znatne površine major korita uzete za potrebe grada, a grad se u potpunosti smestio u inundaciju. Teren u gradu je niži od projekt-nog nivoa vode povratnog perioda 100 godina.

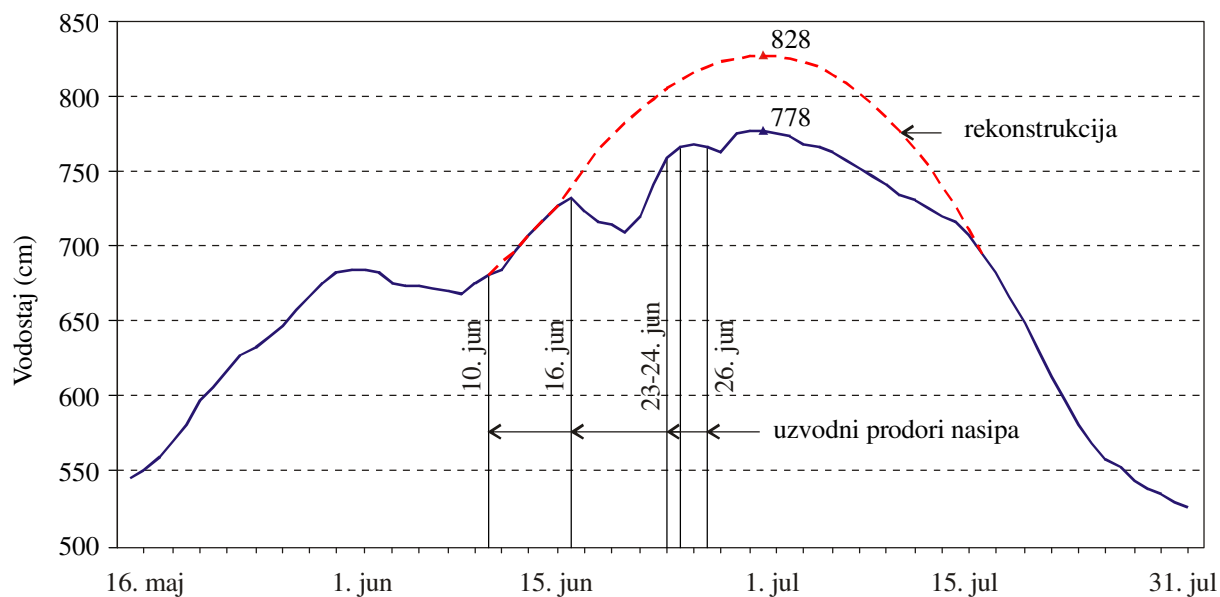
Vodostaj Dunava u Novom Sadu osmatra se od 1888. godine, dok su na raspolaganju bili podaci od 1919. godine. Kota nule vodomerne stanice nije menjana u ovom periodu. Najmanji vodostaj Dunava od tada osmotren je u januaru 1933. godine i iznosio je -87 cm (odnosno 70,86 mm), a najveći u junu 1965. godine kada je iznosio 778 cm (79,51 mm). Raspon osmotrenih vodostaja na Dunavu je dakle 8,65 m. Na slici 2 prikazani su osmotreni maksimalni godišnji vodostaji u periodu 1919-2007.



Slika 1. Položaj Novog Sada u odnosu na Dunav.



Slika 2. Hronološki prikaz maksimalnih godišnjih vodostaja na Dunavu kod Novog Sada od 1919. do 2007.



Slika 3. Rekonstrukcija nivograma na Dunavu kod Novog Sada tokom poplave u maju i junu 1965. godine.

Grad je bio poplavljen 1940. godine, nakon čega su ojačani stari nasipi i izgrađeni novi. Poslednja velika pretnja gradu dogodila se 1965. godine, kada je poplava izbegnuta zahvaljujući prodorima nasipa uzvodno od Novog Sada. Odbrana od poplava u gradu je trajala 127 dana, od kojih je 63 dana bila vanredna. Maksimalni protok na profilu hidrološke stanice u Novom Sada procenjen je na $8360 \text{ m}^3/\text{s}$, a na 113 km uzvodno kod Bog-

jeva protok je iznosio $9290 \text{ m}^3/\text{s}$ (RHMZ, internet prezentacija). Tokom ove poplave, u periodu od 10. do 26. juna 1965. Dunav je na pet mesta probio nasipe na levoj obali. Svi prodori su se desili na sektoru od oko 100 km uzvodno od Novog Sada. Na najvećem prodoru 16. juna 1965. procenjeno je da se iz korita izlilo oko 550 miliona m^3 vode i poplavilo površine od oko 17400 hektara.

U naknadnoj rekonstrukciji nivograma Dunava tokom poplave iz 1965. godine (slika 3) razmatran je uticaj prodora nasipa na dostignute nivoe vode i ocenjeno je da bi nivo Dunava kod Novog Sada dostigao vodostaj od 828 cm umesto 778 cm (odnosno 80,01 umesto 79.51 mm) da nije bilo uzvodnih prodora nasipa, što bi značilo da bi grad bio poplavljen.

Nakon velike vode iz 1965. godine pristupilo se rekonstrukciji svih dunavskih nasipa. Rekonstrukciji je prethodio proračun velikih voda 1968. godine, urađen u Institutu Jaroslav Černi. Za proračun je korišćen niz maksimalnih godišnjih vodostaja dužine 21 godinu (1947-1967). Dunavski nasipi su dimenzionisani sa nadvišenjem krune od 1,2 m iznad 100-godišnje velike vode. Iako su merodavni vodostaji dobijeni na osnovu veoma kratkog niza, tako usvojene projektne visine nasipa za rekonstrukciju pre 40 godina su se pokazale kao srećno izabrane tokom skorašnjih velikih voda na Dunavu u Vojvodini. U ovom radu se razmatraju posledice tako usvojenih merodavnih vodostaja kroz analizu rezultata statističke analize za različite periode osmotrenih vodostaja.

2. STATISTIČKA ANALIZA MAKSIMALNIH GODIŠNJIH VODOSTAJA

Merodavni nivoi za rekonstrukciju nasipa duž Dunava pored Novog Sada određeni su 1968. godine statističkom analizom maksimalnih godišnjih vodostaja u periodu 1947-1967, što čini niz dužine 21 godinu. Na osnovu tog niza velike vode su određene primenom log-Pirson III raspodele.

Kao što će biti pokazano u ovom radu, ovaj niz – iako najkraći – daje najveće vrednosti vodostaja velikih povratnih perioda. Ni pre ni posle razmatranog perioda nije se javio tako nepovoljan niz. Kao rezultat, nasipi su dimenzionisani tako da su osigurali dodatnu zaštitu Novog Sada tokom proteklih 40 godina. Drugačiji izbor niza bi dao manje računске nivoe a time i kote nasipa, pa je moguće da bi doveo i do većih plavljenja.

Kompletan raspoloživ niz maksimalnih godišnjih vodostaja Dunava kod Novog Sada, koji obuhvata period 1919-2007, prikazan je na slici 2. Kota nule stanice nije menjana tokom ovog perioda (iznosi 71.73 m.n.m), tako da podaci o vodostajima nisu pretvarani u kote nivoe vode.

U ovoj analizi razmatrana su tri niza: 1) niz 1947-1967 koji je korišćen za dimenzionisanje nasipa, 2) niz produžen posle 1967, tj. niz koji pokriva period 1947-2007, i 3) niz produžen pre 1947. i posle 1967, odnosno niz koji pokriva ceo raspoloživ period 1919-2007. U tabeli 1 date su osnovne karakteristike celog niza i podnizova u periodima 1947-1967 i 1947-2007.

Tabela 1. Osnovne karakteristike maksimalnih godišnjih vodostaja celog niza i podnizova.

	Period		
	1919-2007	1947-1967	1947-2007
sred. vred. (cm)	522	539	519
stand. dev. (cm)	90.9	91.6	93.1
koef. varijacije	0.174	0.170	0.179
koef. asimetrije	0.387	0.528	0.492

2.1 Testiranje homogenosti nizova

Iako bi se moglo pretpostaviti da se režim Dunava na potezu kroz Vojvodinu znatno promenio tokom perioda osmatranja iz raznih razloga, sa statističke tačke gledišta ta se tvrdnja ne može dokazati. Iz tabele 1 se može videti da se osnovne statistike niza ne menjaju mnogo sa izborom podniza. Primena statističkih testova je pokazala da se hipoteza o homogenosti niza 1919-2007 ne može odbaciti na skoro svim pragovima značajnosti. Niz je testiran na homogenost podelom niza na dva podniza: prvi za period 1919-1946, a drugi za period 1947-2007. Rezultati ovog testiranja prikazani su u tabeli 2. Zatim je analizirana i homogenost niza 1947-2007 podelom na podnizove za periode 1947-1967 i 1968-2007. Rezultati ovog testiranja prikazani su u tabeli 3. U oba slučaja, pimenjeni su standardni testovi za ispitivanje jednakosti srednje vrednosti i varijansi dva niza (z-test, t-test, F-test), kao i dva parametarska testa (test Men-Vitnija i test Kolmogorov-Smirnova).

Ispitano je i postojanje trenda u ovim nizovima tako što je ispitana statistička značajnost linearnog regresionog modela vodostaja sa vremenom. U oba slučaja nije detektovan trend u vrednostima maksimalnih godišnjih vodostaja. Rezultati ispitivanja trenda prikazani su u tabeli 4, gde se vidi da je koeficijent korelacije praktično jednak nuli, kao i da je koeficijent pravca statistički potpuno beznačajan (u odnosu na njegovu standardnu grešku).

Tabela 2. Rezultati testiranja homogenosti niza 1919-2007.

	1919-2007	1919-1946	1947-2007
Dužina niza	89	28	61
Srednja vrednost	522	528	519
Stand. devijacija	90.9	87.2	93.1
	kontrolna statistika	krit. vrednost za prag značajn. 5%	zaključak
Normalizovani z -test	$z = 0.411$	1.960	niz je homogen
Studentov t -test	$t = 0.396$	1.988	niz je homogen
Fišerov F -test	$F = 1.142$	1.672	niz je homogen
Men-Vitni test	$u = -0.415$	1.960	niz je homogen
Kolmogorov-Smirnov test	$D_{\max} = 0.114$	0.301	niz je homogen

Tabela 3. Rezultati testiranja homogenosti niza 1947-2007.

	1947-2007	1947-1967	1968-2007
Dužina niza	61	21	39
Srednja vrednost	519	539	503
Stand. devijacija	93.1	91.6	86.3
	kontrolna statistika	krit. vrednost za prag značajn. 5%	zaključak
Normalizovani z -test	$z = 1.483$	1.960	niz je homogen
Studentov t -test	$t = 1.497$	2.001	niz je homogen
Fišerov F -test	$F = 1.126$	1.853	niz je homogen
Men-Vitni test	$u = -1.345$	1.960	niz je homogen
Kolmogorov-Smirnov test	$D_{\max} = 0.286$	0.361	niz je homogen

Tabela 4. Rezultati testiranja značajnosti trenda u nizovima 1919-2007 i 1947-2007.

	1919-2007	1947-2007
Koeficijent pravca a u linearnoj regresiji $y = ax + b$	-0.0592	0.0276
Standardna greška koef. pravca, $SE[a]$	0.377	0.683
Slobodni koeficijent b u linearnoj regresiji $y = ax + b$	638.0	464.6
Standardna greška slobodnog koef., $SE[b]$	740.4	1350.5
Koeficijent korelacije r	0.0168	0.00526
Standardna greška regresije $SE_{y x}$	91.4	93.9

2.2 Rezultati proračuna verovatnoće velikih voda metodom godišnjih maksimuma

Radi jednostavnosti, usvojena je sledeća notacija za različite nizove za koje je urađena statistička analiza maksimalnih godišnjih vodostaja na Dunavu kod Novog Sada:

- S1: niz 1947-1967, korišćen u prvobitnim proračunima;
- S2: produžen niz 1947-2007;
- S3: kompletan niz 1919-2007.

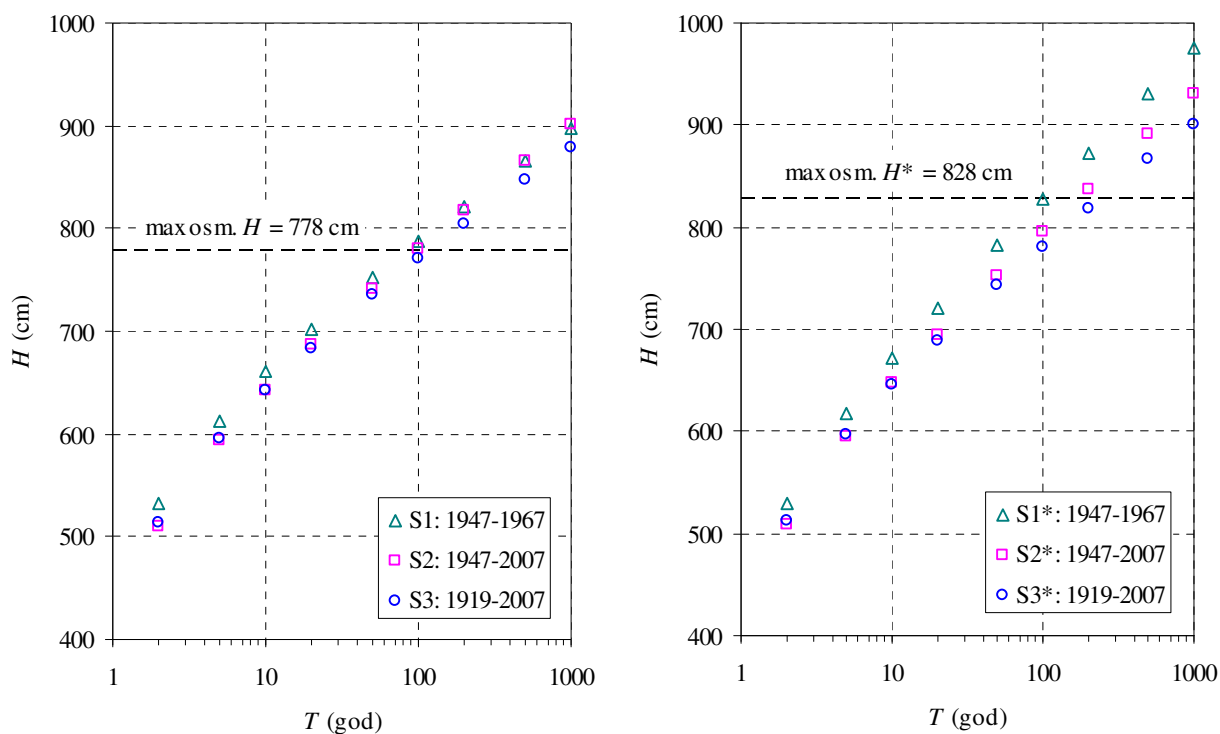
Kao što je napomenuto ranije, rekonstrukcijom nivograma poplave iz 1965. godine procenjeno je da bi maksimalni vodostaj bio veći za 50 cm da nije bilo prodora

nasipa uzvodno od Novog Sada. Da bi se i ta mogućnost uzela u obzir, za sve gore pomenute nizove proračun je urađen i sa zamenjenim istorjskim maksimumom od 778 cm vrednošću od 828 cm. Ovi alternativni nizovi su označeni kao nizovi S1*, S2* i S3*.

Za sve nizove se može uopšteno reći da imaju relativno malu asimetriju (naročito u logaritamskoj razmeri), tako da se primena log-normalne ili log-Pirson III raspodele može lako opravdati testovima saglasnosti. Vrednosti vodostaja određenih povratnih perioda prikazani su uporedno za sve razmatrane nizove (tabela 5 i slika 4).

Tabela 5. Kvantili maksimalnih godišnjih vodostaja (u cm) na Dunavu kod Novog Sada određeni statističkom analizom različitih nizova.

Povratni period T (god)	Verovatnoća prevazilaženja $1/T$	Nizovi i izabrane teorijske raspodele					
		S1	S2	S3	S1*	S2*	S3*
		LN	LP3	LN	LP3	LP3	LP3
2	0.5	532	510	514	530	509	513
5	0.2	613	593	595	617	595	596
10	0.1	660	643	642	671	647	645
20	0.05	702	687	684	721	694	689
50	0.02	753	741	735	783	753	743
100	0.01	788	780	770	828	795	781
200	0.005	822	817	804	872	837	818
500	0.002	865	865	848	931	891	866
1000	0.001	897	901	879	975	931	901



Slika 4. Raspodele maksimalnih godišnjih vodostaja na Dunavu kod Novog Sada za različite nizove: originalni nizovi (levo) i nizovi u kojima je istorijski maksimum od 778 zamenjen vrednošću 828 cm (desno).

U prvobitnim statističkim proračunima iz 1968. godine za niz S1 bila je usvojena raspodela log-Pirson III. Razlozi za ovakav izbor pomalo su nejasni, jer koeficijent asimetrije logaritmovanog niza iznosi $C_s(\ln H) = -0.044$, tj. veoma je blizak nuli, što ovu raspodelu praktično izjednačava sa log-normalnom raspodelom. S obzirom na

malu asimetriju i odsustvo izuzetaka u nizu, većina raspodela koje se standardno koriste za hidrološke nizove, osim normalne i Gumbelove, daje veoma slične rezultate i praktično iste rezultate u testovima saglasnosti. Na primer, ocene 100-godišnje velike vode prema svim proračunatim raspodelama kreću se od 774 cm do 788 cm,

a ocene 1000-godišnje velike vode od 867 cm do 897 cm. U ovom slučaju se, dakle, može usvojiti log-normalna raspodela.

U nizu S1*, tj. kada se u nizu S1 najveća osmotrena vrednost od 778 cm zameni vrednošću od 828 cm, povećava se asimetrija rezultujućeg niza dužine 21 godine i koeficijent asimetrije logaritmovanog niza iznosi $C_s(\ln H) = 0.225$. Sa ovakvim relativno malim koeficijentom asimetrije log-normalna raspodela je i dalje najbolja raspodela sa statističke tačke gledišta. Log-Pirson III raspodela pokazuje zanemarljivo lošije slaganje u testovima saglasnosti, ali daje veće računске velike vode, pa bi u standardnoj inženjerskoj praksi verovatno bila usvojena kako bi se bilo na strani sigurnosti.

Produženjem niza S1 na niz S2 sa statističkog aspekta ne menja se praktično ništa, s obzirom da je koeficijent asimetrije logaritmovanog niza ponovo skoro jednak nuli i iznosi $C_s(\ln H) = 0.069$. U ovom slučaju log-normalna, Pirson III i log-Pirson III raspodela praktično daju iste rezultate i za kvantile velikih voda i u testovima saglasnosti. Među njima, inženjerskom logikom o strani sigurnosti bila bi izabrana log-Pirson III raspodela jer daje nešto veće računске velike vode. U nizu S2* povećava se asimetrija rezultujućeg logaritmovanog niza na $C_s(\ln H) = 0.160$, ali se odnos tri prethodno razmatrane raspodele ne menja, pa se takođe može usvojiti log-Pirson III raspodela.

Kada se niz produži i unazad na niz S3, zaključci su praktično isti. U ovom slučaju log-normalna i log-Pirson III raspodela daju identične rezultate s obzirom da je koeficijent asimetrije logaritmovanog niza praktično jednak nuli, tj. $C_s(\ln H) = 0.005$. Kada se najveća osmotrena vrednost od 778 cm zameni vrednošću od 828 cm u nizu S3*, može se usvojiti raspodela log-Pirson III.

Rezultati prikazani u tabeli 5 i na slici 4 pokazuju da najkraći niz S1 daje najveće 100-godišnje velike vode. Isto bi važilo i u slučajevima sa alternativnim istorijskim maksimumom od 828 cm umesto 778 cm. Interesantno je da se napomene da alternativni istorijski maksimum od 828 cm prema ovim proračunima ima povratni period od 100 godina, dok je za 100-godišnju veliku vodu po proračunima iz 1968. godine usvojeno 800 cm. Na osnovu vrednosti vodostaja od 800 cm određena je kota krune zemljanog nasipa (odgovara vodostaju 920 cm) i kota krune kejskog zida (odgovara vodostaju 880 cm) koji se gradi tokom 2009. i 2010. godine. Povratni period vodostaja od 920 cm koji odgovara koti krune nasipa iznosi 1000 godina po proračunima iz 1968. godine, a prema proračunu sa alternativnim istorijskim maksimumom iznosi 420 godina. Takođe, povratni period vodostaja 880 cm koji odgovara koti krune kejskog zida ima povratni period od 225 godina.

2.3 Statistička analiza maksimalnih vodostaja metodom pikova

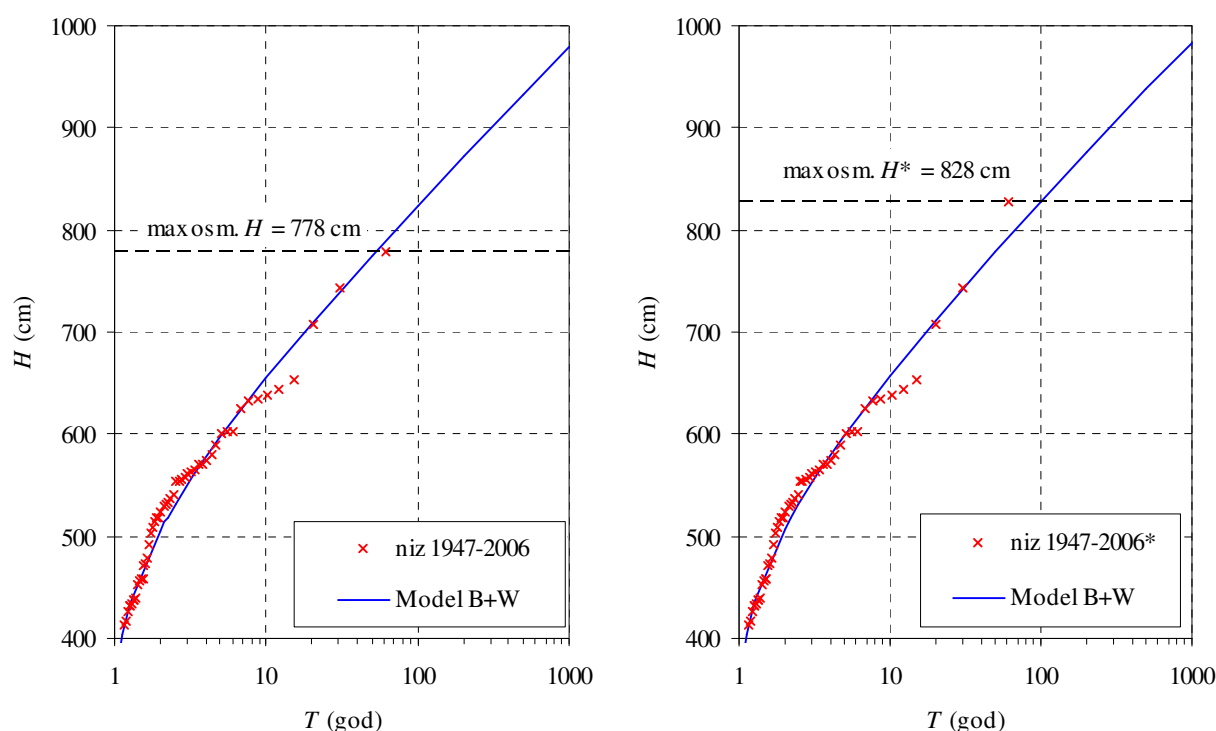
Na osnovu podataka o dnevnim vodostajima u periodu 1947-2006 formirani su nizovi prekoračenja (pikova) tako što je odabran osnovni prag od 300 cm, imajući u vidu da najmanji osmotreni godišnji maksimum iznosi 354 cm. Potom su razmatrani i viši pragovi, pri čemu je izbor najpogodnije baze izvršen na osnovu kriterijuma primenljivosti pojedinih raspodela za broj prekoračenja i za sama prekoračenja, kao i kriterijuma dobrog slaganja teorijskih i empirijskih raspodela prema odgovarajućim statističkim testovima. Razmatrane su baze od 300 do 500 cm, pri čemu se ukupan broj prekoračenja smanjuje od 260 do 50, a prosečan godišnji broj prekoračenja od 4.33 do 0.83. U tabeli 6 prikazane su karakteristike niza broja javljanja (prosečan godišnji broj prekoračenja i indeks disperzije) u zavisnosti od vrednosti baze, kao i statistike nizova prekoračenja.

Tabela 6. Osnovni podaci o nizovima pikova vodostaja na Dunavu kod Novog Sada za različite baze.

baza	300	320	340	360	380	400	420	440	450	500
broj godina N	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
broj pikova M	260	222	199	172	147	109	94	80	76	50
Broj pikova godišnje										
sr. broj n_{sr}	4.33	3.70	3.32	2.87	2.45	1.82	1.57	1.33	1.27	0.83
indeks disp. I_d	0.475	0.443	0.516	0.549	0.601	0.681	0.700	0.881	0.826	0.780
Visina pikova Z										
Z_{sr}	114	112	103	98	92	101	95	90	85	69
C_v	0.813	0.797	0.842	0.865	0.898	0.767	0.775	0.782	0.819	0.879
C_s	1.122	1.154	1.163	1.146	1.081	1.040	1.088	1.149	1.173	1.552

Tabela 7. Rezultati statističke analize maksimalnih godišnjih vodostaja na Dunavu kod Novog Sada metodom pikova za niz 1947-2006 (kombinacija binomne i Vejbulove raspodele za prag od 320 cm).

Povratni period T (god)	Verovatnoća prevazilaženja $1/T$	Maks. god. vodostaj (cm) za osnovni niz	Maks. god. vodostaj (cm) za niz sa alternativnim maksimumom
10	0.1	655	656
20	0.05	708	710
50	0.02	775	778
100	0.01	824	827
200	0.005	872	875
500	0.002	933	937
1000	0.001	979	983



Slika 5. Raspodela godišnjih maksimuma vodostaja na Dunavu kod Novog Sada određena metodom pikova kao kombinacija binomne raspodele za broj prekoračenja i Vejbulove raspodele za visinu prekoračenja: originalni niz (levo) i niz u kome je istorijski maksimum od 778 zamenjen vrednošću od 828 cm (desno)

Na osnovu vrednosti indeksa disperzije i testova saglasnosti, za raspodelu broja prekoračenja za baze od 300 do 420 cm može se usvojiti binomna raspodela, a za više baze Poasonova. Za nizove prekoračenja razmatrane su Vejbulova i opšta Pareto raspodela. Po proračunu parametara raspodele, opšta Pareto raspodela je odbačena zbog toga što se pri svim bazama za nju dobija pozitivan parametar oblika k . U skladu sa prethod

nim istraživanima primene opšte Pareto raspodele u metodi pikova (Plavšić, 2005), pozitivne vrednosti parametra oblika u ovoj raspodeli čine ovu raspodelu ograničenom s gornje strane, što je neprihvatljivo imajući u vidu prirodu procesa velikih voda. Vejbulova raspodela je dalje analizirana pri različitim bazama, a najbolje slaganje prema kombinaciji različitih kriterijuma je postignuto pri bazi od 320 cm.

Na osnovu svega prethodnog, za bazu od 320 cm usvojen je model prokoračenja koji predstavlja kombinaciju binomne i Poasonove raspodele (B+W). Isti model je primenjen i za niz sa alternativnim istorijskim maksimumom (niz u kojima je najveći osmotreni vodostaj od 778 cm zamenjen vodostajem od 828 cm). Zamena jedne vrednosti u nizu prekoračenja ne utiče značajno na rezultate. Ovakav zaključak je bio očekivan jer zamena jedne vrednosti u dugačkom nizu daje zanemarljivu razliku u ocenama parametara iz uzorka. Vrednosti vodostaja određenih povratnih perioda za oba niza prikazani su u tabeli 7 i na slici 5.

3. O UGROŽENOSTI NOVOG SADA OD POPLAVA

Računski nivoi velikih voda u Dunavu kod Novog Sada izračunati 1968. godine na osnovu niza od 21 maksimalnog godišnjeg vodostaja u periodu 1947-1967 korišćeni su kao merodavni za dimenzionisanje odbrambenih linija nasipa. Zemljani nasipi pored Dunava su dimenzionisani na veliku vodu povratnog perioda 100 godina (vodostaj od 800 cm) sa nadvišenjem krune od 1,2 m. Kao što je već napomenuto, kota krune nasipa kod Novog Sada u trenutku projektovanja odgovarala je koti velike vode povratnog perioda 1000 godina, dok na osnovu novih proračuna ima znatno manji povratni period od oko 400 godina. Na slici 6 prikazano je područje Novog Sada sa kotama nižim od nivoa vode koji odgovara vodostaju od 828 cm koji, prema ovim proračunima, predstavlja stvarnu 100-godišnju veliku vodu.

Ovi nasipi bili su prethodne četiri decenije prikrivena dodatna zaštita područja Novog Sada od velikih voda. Nakon toga, sve provere velikih voda odnosno svaka analiza sa novim nizovima maksimalnih godišnjih vrednosti davala je manje vrednosti od zvaničnih izračunatih i usvojenih 1968. godine. Time su stručne službe i stručna javnost bile uljuljkane i sigurne u zaštitu nasipa dimenzionisanih na osnovu proračuna iz 1968. godine.

Međutim, veliki broj studija o uticaju klimatskih promena na vodne resurse i na velike vode dovele su do zabrinutosti u vezi sa potencijalnim povećanjem učestalosti poplava u slivu Dunava. Prema ICPDR (2006), očekuje se da se verovatnoća pojave i intenzitet ekstremnih kišnih epizoda u zimskom periodu povećaju unutar sliva Dunava, što bi dovelo do značajnih velikih voda u budućnosti. Prema GRDC (2004), Caspary (2000) je ukazao na primetno povećanje u amplitudi velikih voda na četiri reke u Nemačkoj. Poređenjem učestalosti velikih

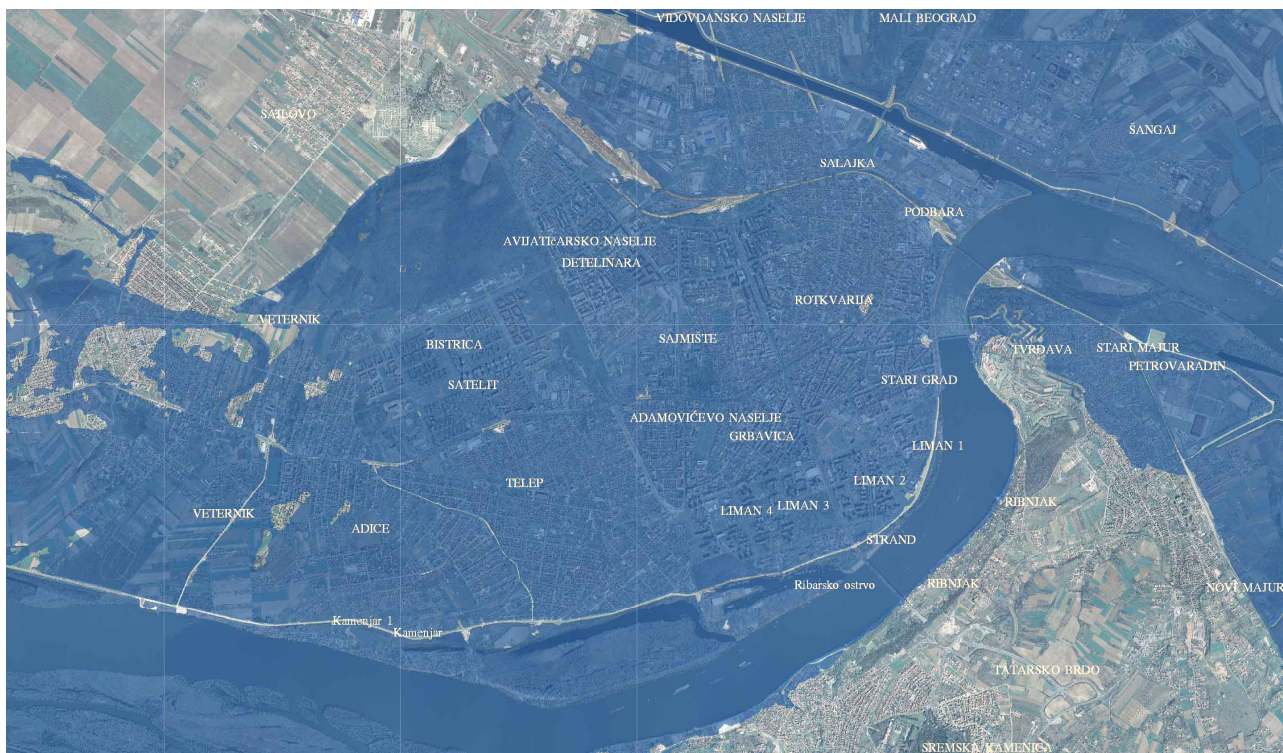
voda iz starijih podnizova sa skorijim, on je zaključio da velike vrednosti proticaja na ovim rekama postaju učestalije. Nobilis i Lorenz (1997) su razmatrali trendove u velikim vodama na austrijskim rekama i detektovali su značajne trendove u oko dve trećine slučajeva.

Imajući u vidu da je režim velikih voda Dunava na njegovom potezu kroz Srbiju uvek bio pod direktnim uticajem uzvodnih događanja, nije neopravdana zabrinutost u vezi sa povećanom učestalošću velikih voda na Dunavu kod Novog Sada koja se statističkim testovima ne može pokazati. Velike poplave su se događale 1999, 2002, 2005 i 2006, kada je kod Novog Sada izmeren drugi najveći vodostaj od 746 cm. Sve ove poplave bile su posledica velikih poplava u gornjem i gornjem srednjem slivu Dunava (o ovim poplavama može se više naći u dokumentaciji ICPDR, 2005). Pored toga, ima i naznaka da brojni izvedeni hidrotehnički i vodoprivredni radovi u gornjem slivu Dunava imaju uticaja na režim velikih voda nizvodno. Uzrok dosadašnjim poplavama bila je i koincidencija maksimuma talasa na glavnom toku i na slovačkim pritokama Moravi, Hornu, Vahu i Ipelu (Pekarova, 2009). Kako se Novi Sad nalazi na sektoru između ušća Drave i Tise, obe ove reke mogu da ugroze grad nepovoljnom koincidencijom sa velikom vodom Dunava.

Dakle, usled kombinacije antropogenih, topografskih i klimatskih faktora, postoji osnov za mišljenje da se rizik od plavljenja duž Dunava uzvodno od Novog Sada povećava, što će imati i odgovarajuće posledice na Dunav kod Novog Sada. Statistička analiza vodostaja sprovedena u ovom radu predstavlja najskoriji pokušaj da se kvantifikuje rizik od plavljenja grada.

4. ZAKLJUČAK

Statistička analiza maksimalnih godišnjih vodostaja na Dunavu kod Novog Sada urađena je za nizove različite dužine koji su obuhvatali različite periode osmatranja. Rezultati proračuna za 100-godišnju veliku vodu variraju u rasponu od 18 cm, pri čemu je najveća (788 cm) dobijena iz najkraćeg niza za period 1947-1967. Zamenom vrednosti istorijskog maksimuma od 778 cm vrednošću od 828 cm (dobijenom rekonstrukcijom nivograma tokom poplave iz 1965. godine i eliminisanjem uticaja uzvodnih prodora nasipa), statistička analiza je ponovljena i dobijeni su viši 100-godišnji vodostaji. U ovom slučaju, vrednosti se kreću od 781 cm do 828 cm, dok je najveća vrednost ponovo dobijena iz najkraćeg niza.



Slika 6. Područje Novog Sada sa kotama nižim od 100-godišnjeg nivoa Dunava koji odgovara vodostaju od 828 cm kao indikacija potencijalne plavne zone.

Primena metode pikova na niz iz perioda 1947-2006 dala je iste rezultate za niz sa osmotrenim istorijskim maksimumom i niz sa povećanim maksimumom, pri čemu su rezultati praktično jednaki rezultatima dobijenim na osnovu „najkritičnijeg“ niza godišnjih maksimuma, tj. najkraćeg niza sa povećanim istorijskim maksimumom. Ovakvi rezultati pokazuju da se metodom pikova može prevazići osetljivost metode godišnjih maksimuma na izbor niza u smislu promene dužine niza i perioda osmatranja. To potvrđuje mišljenja da metoda pikova omogućava da se dobije veća vrednost informacija iz nizova prekoračenja nego iz godišnjih maksimuma.

Nasipi na obalama Dunava kod Novog Sada dimenzionisani su na osnovu ocene 100-godišnjeg maksimalnog vodostaja od 800 cm sa nadvišenjem krune od 1,2 m, pa je u trenutku projektovanja koti krune nasipa približno odgovarala 1000-godišnja velika voda. Sa takvom visinom nasipa naizgled nema opasnosti od plavljenja Novog Sada. Međutim, analize prikazane u ovom radu pokazuju da je 100-godišnji maksimalni vodostaj veći za

oko 30 cm, a 1000-godišnji za oko 60 cm, u odnosu na prethodne rezultate. Ovi rezultati se mogu interpretirati i tako što se može konstatovati da postojeći nasipi nadvišuju 100-godišnju veliku vodu za svega 90 cm, a od 1000-godišnje su niži za 60 cm. Takođe, kejski zid na koti koja odgovara vodostaju od 880 cm nadvišuje 100-godišnju veliku vodu za svega 50 cm, a od 1000-godišnje je niži za 1 m. Na taj način se nameće zaključak da je stepen zaštite grada Novog Sada od plavljenja ispod projektovanog.

Autori smatraju da primer Novog Sada nedvosmisleno pokazuje da nadležne vodoprivredne organizacije treba da kontinuirano proveravaju stepen zaštite postojećih sistema zaštite od poplava, kao i da kontinuirano procenjuju rizik od plavljenja. Takvo kontinuirano praćenje treba da obuhvati ne samo inovirane statističke analize na vodotocima na kojima postoje relevantni podaci, već i sve druge faktore koji rizik od poplava čine izrazito složenom i dinamičkom kategorijom.

LITERATURA

- [1] Caspary, H.-J. (2000) Increased risk of river flooding in southwest Germany caused by changes of the atmospheric circulation across Europe. In: Bronstert, A., Bismuth, Ch. & Menzel, L. (eds) Proc. Eur. Conf. on Advances in Flood Research, PIK Report No. 65, Vol. 1, 212-223.
- [2] GRDC (2004) Detection of change in world-wide hydrological time series of maximum annual flow, ed. Z. Kundewicz, Report 32, Global Runoff Data Centre, Federal Institute of Hydrology, Koblenz, Germany.
- [3] ICPDR (2004) *Flood Action Programme*, International Commission for the Protection of the Danube River, Vienna.
- [4] ICPDR (2005) Facing the Floods, *Danube Watch 4/2005*, International Commission for the Protection of the Danube River, Vienna.
- [5] Nobilis, F. & Lorenz, P. (1997) Flood trends in Austria. In: Leavesley, G. H, Lins, H. F. Nobilis, F., Parker, R. S., Schneider, V. R. & van de Ven, F. H. M. (eds) *Destructive Water: Water-caused Natural Disasters, their Abatement and Control*, IAHS Publ. No. 239, Wallingford, UK.
- [6] Pekarova, P. (2009) *Multiannual runoff variability in the upper Danube region*, doktorska disertacija. Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences (http://147.213.145.2/pekarova/dizertacia/DDP_Pekarova.pdf).
- [7] Plavšić, J. (2005) *Analiza velikih voda pomoću prekidnih slučajnih procesa*, doktorska disertacija, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu.
- [8] RHMZ, Republički hidrometeorološki zavod Srbije, internet prezentacija, http://www.hidmet.gov.rs/ciril/hidrologija/karakteristicne_p.php.

ON DESIGN FLOOD LEVELS OF THE DANUBE RIVER AT NOVI SAD

by

Jasna PLAVŠIĆ
Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade
Rade MILUTINOVIĆ
Hidrobiro, Novi Sad

Summary

Protection of the city of Novi Sad from floods relies mainly on levees along the banks of the Danube River. These levees were reconstructed after a great flood in 1965, when they were designed to protect the city from a 100-year flood level. This design flood level was the result of frequency analysis of annual maximum water stages for a 21-year long record (1947-1967). Such a choice of the observed record for frequency analysis resulted in levee heights that secured additional protection of Novi Sad from floods in last 40 years. Any other choice of record length and period would have resulted in lower design levels and poorer protection

from floods. The paper discusses the effects of the choice of the subrecord on design flood level by investigating results of flood frequency analysis for different periods of observed water stages of the Danube at Novi Sad. The results show that the level of flood protection of the city of Novi Sad is now lower than designed 40 years ago.

Key words: floods, frequency analysis, annual maxima, peaks over threshold method, design stages, flood control.

Redigovano 07.06.2010.