

KANAL SAVA—ODRA—SAVA KAO OBJEKT OBRANE ZAGREBA OD POPLAVA

STJEPAN ŠTERC

Uvod

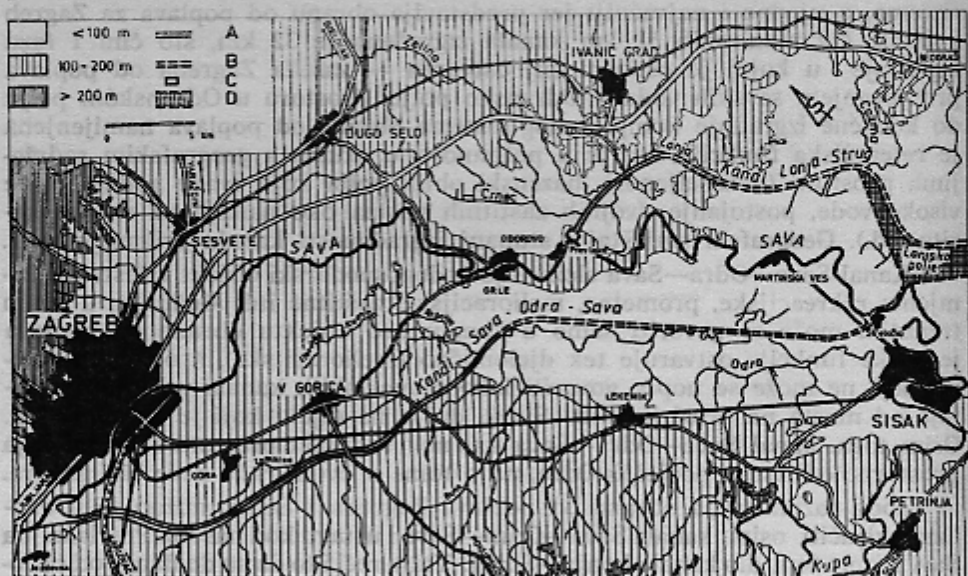
Fizičkogeografske karakteristike savskog porječja uzvodno od Zagreba nužno su uvjetovale izgradnju kompleksnog sistema obrane od poplava Zagreba i nizvodnih prostora. Kanal Sava—Odra—Sava integralni je dio tog sistema, a ujedno i najvažniji jer predstavlja obranu od poplava za Zagreb i Sisak. Od planiranih 52 km kanala izgrađeno je 32 km, što čini I fazu izgradnje u kojoj je osnovni cilj ostvaren — zaštita Zagreba od poplava prelijevanjem savskih voda u Odransko polje. Prostoru u Odranskom polju do konačne izgradnje kompleksnog sistema obrane od poplava namijenjena je retencijska funkcija, što je u potpunosti u skladu s geografskim sadržajima prostora (nenaseljenost, bazenski oblik polja koje svake godine plave visoke vode, postojanje dvojnih zaštitnih nasipa oko naselja uz savsko korito itd.). Geografski smještaj i stupanj izgrađenosti kanala prikazuje sl. 1.

Kanal Sava—Odra—Sava složeni je vodogospodarski objekt višestruke namjene: rekreacijske, prometne, melioracijske, zaštitne itd. Međutim, u ovom trenutku može se govoriti samo o kanalu kao objektu obrane od poplava jer neke funkcije ostvaruje tek djelomično (melioracijske), a o nekim (prometnoj) ne može se uopće govoriti iako plovni oblik kanala počinje nizvodnije od mosta na pruzi Zagreb—Sisak, dakle na dijelu koji je već izgrađen. Osim toga, kanal Sava—Odra—Sava kao novi sadržaj u prostoru bitno mijenja prostorne odnose u porječju Odre, no o tome u ovom radu neće biti govora.

Zbog razmatranja obrane od poplava Zagreba i Siska, nužno je u analizu uključiti osim kanala Sava—Odra—Sava i ustavu kod naselja Prevlaka na Savi i izgrađeni dio kanala Lonja—Strug. Valja reći i to da su do danas od cjelokupnog sistema obrane od poplava u Središnjoj Hrvatskoj izgrađeni: kanal Sava—Odra—Sava u dužini od 32 km, ustava na ulazu u kanal Lonja—Strug kod Prevlake, 8 km kanala Lonja—Strug, kanal Kupa—Kupa, 6 km kanala Zelina—Lonja—Glogovnica—Česma i obnovljeno 68 km nasipa.

Kanal Sava—Odra—Sava ima kapacitet 1 000 m³/sek, a na samom ulazu izgrađen povišeni čvrsti preljev preko kojeg prima sve savske vode više od 350 cm, što odgovara protoku od 1 900 m³/sek. Nešto nizvodnije od preljeva izgradnja je i poprečni nasip čija je visina jednaka visini bočnih nasipa kanala, a funkcija mu je da potpuno zatvara ulaz visokim vodama u kanal. Jedino u izuzetnim slučajevima — kod pojave vrlo velikih voda — pristupa se miniranju poprečnog nasipa i ispuštanju voda u kanal. Tako će biti sve do konačne izgradnje sistema.

U periodu od 1945. do 1974. kanal Sava—Odra—Sava vremenski bi bio u upotrebi 13 dana¹⁾ Iza dijagrama trajanja redovne i izvanredne obrane od poplava (sl. 2) jasno se uočava da bi kanal češće preuzimao velike vode u jesenskim nego u proljetnim mjesecima. Zapravo, kanal ne bi bio u upotrebi u 5 mjeseci: veljači, travnju, lipnju, srpnju i kolovozu. Za ljetne mjesece to je u skladu s prosječnim protokom, dok »nerad« u travnju odstupa od pojave sekundarnog maksimuma srednjih voda na hidrometrijskom profilu Zagreb²⁾. Iako je maksimum srednjih i najvećih voda u studenom, najduže vrijeme rada kanala i obrana od poplava je u listopadu kao posljedica sporijeg širenja vodnih valova. U tim danima kanal ne bi u potpunosti bio ispunjen vodom jer volumen vode u kanalu određuje veličina i oblik vala u Savi. Kanal neće preuzimati sve vode iznad protoka od 1900 m³/sek, nego će ih samo reducirati. To znači npr., ako Savom protiče 2700 m³/sek uzvodno od ulaza u kanal, kanal Sava—Odra—Sava prihvatit će 400 m³/sek, a 2300 ostat će u koritu Save nizvodno od ulaza u kanal. Tu nema upravljanja vodama jer se one prirodno prelijevaju u kanal iznad 1900 m³/sek.

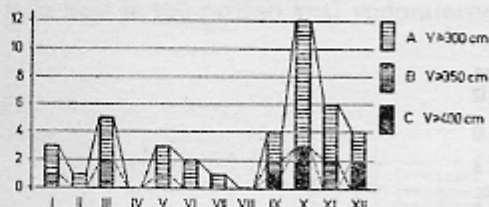


SL 1 — Geografski smještaj kanala Sava—Odra—Sava. A — Izgrađeni dio; B — Planirani dio; C — Ustave i D — Akumulacija.

Fig. 1 — Geographic position of the Sava—Odra—Sava canal. A — already built; B — planned; C — sluices, and D — accumulation.

- 1) Broj dana rada kanala dan je prema srednjim vodostajima; to znači da je to broj dana funkcioniranja preljeva na ulazu u kanal. Sam kanal bi s obzirom na njegovu dužinu i brzinu kretanja vode radio duže.
- 2) Šterc S.: Osnovne fizičkogeografske karakteristike porječja Save između Radeča i Siska, Radovi Geografskog odjela 14, 47—59, Zagreb, 1979.

Da se ne bi funkcije kanala razmatrale kao potencijalne, uzete su za primjer velike vode Save zadnjih dana siječnja i prvih dana veljače 1979. god. i na njihovu primjeru razmatrane funkcije objekta. To je uostalom i bilo prvo uklapanje kanala u sistem obrane od poplava jer ranije za to nije bilo uvjeta — nije bila završena I faza gradnje kanala.



Sl. 2 — Trajanje redovne i izvanredne obrane od poplava u Zagrebu i broj dana rada kanala u periodu 1945—1974. god. A — Redovna obrana, B — Rad kanala i C — Izvanredna obrana.

Fig. 2 — Duration of regular and emergency flood defense in Zagreb and number of days when the canal worked in the period 1945—1974. A — regular defense, B — canal working, C — emergency defense.

Uzroci postanka velikih voda

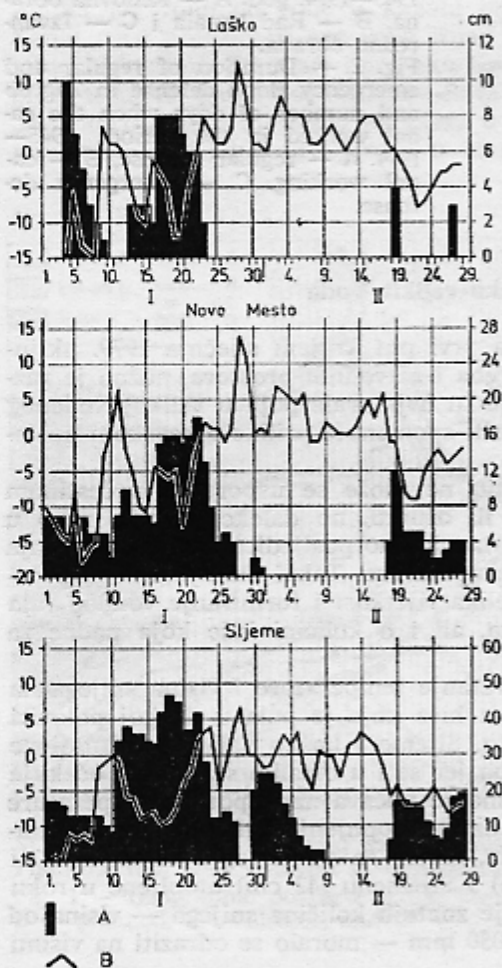
Pošto je kanal Sava—Odra—Sava prvi put krajem siječnja 1979. uključen u sistem obrane od poplava Zagreba i nizvodnih prostora, nužno je razmotriti hidrometeorološke prilike koje su uvjetovale pojavu velikog vodenog vala. Prvenstveno je potrebno razmotriti spomenute prilike u savskom porječju uzvodno od Zagreba.

Učestalost velikih voda u siječnju ne može se usporediti s čestinom velikih voda u listopadu, studenom ili ožujku, no daleko je veća nego u veljači ili travnju. Velik vodni val nastao je kao posljedica naglog kopnjenja snijega uslijed intenzivnog porasta temperature. Takvi slučajevi naglog porasta temperature u siječnju nisu velika rijetkost i formiranje vodenog vala ovisi o količini akumuliranog snijega, ali i o količini kiše koja padne za vrijeme i nakon kopnjenja snijega.

Na slikama 3 i 4 prikazano je kretanje temperature i visina snijega na tlu u siječnju i veljači, kao i količina kiše koja je pala u drugoj polovici siječnja. Uzete su stanice Novo Mesto, Sljeme i Laško kao reprezentativne za savsko porječje uzvodno od Zagreba jer se i u ostalim stanicama očekuje slična ili ista situacija. Na slici 3 jasno se uočava nagli porast temperature od 20. do 23. siječnja koju prati intenzivno kopnjenje snijega u svim stanicama. Zbog manje količine u Laškom, snijeg se otopio za 3 dana, dok su veće količine u Novom Mestu (18 cm) i Sljemenu (42 cm) otopljene u roku od 7 dana. Takvo intenzivno kopnjenje znatnih količina snijega — visina od 42 cm snijega daje sloj vode visine 1 050 mm — moralo se odraziti na visinu vodostaja Save i njezinih pritoka.

Procesu otjecanja pogodovala je činjenica što je prvo kopnjenje manjih količina snijega u prvoj polovici siječnja zasitilo tlo vodom pa ono nije apsorbiralo veće količine snježnice. Drugi faktor je bilo dosta smrznuto tlo zbog vrlo niskih temperatura. U prvoj polovici siječnja temperatura se na svim promatranim stanicama spuštala vrlo nisko, tako se na stanicama Laško i Novo Mesto spustila do -15°C , a na stanici Sljeme i ispod te vrijednosti.

Srednja mjesečna temperatura nije bitno odstupala od višegodišnjeg prosjeka. To isto vrijedi i za maksimalnu visinu snijega. Međutim, zato je maksimalna temperatura mjeseca bila izuzetno visoka: Sljeme 6,6, Laško 13, Novo Mesto 14, Zagreb—Grič 13,3 i Sisak 13,7°C. Značajno je da su se maksimalne temperature pojavile samo 2 dana nakon zabilježenih negativnih vrijednosti. Te činjenice uvjetovale su, usprkos srednjim vrijednostima koje nisu bitno odstupale od višegodišnjih vrijednosti, nagli porast vodostaja.

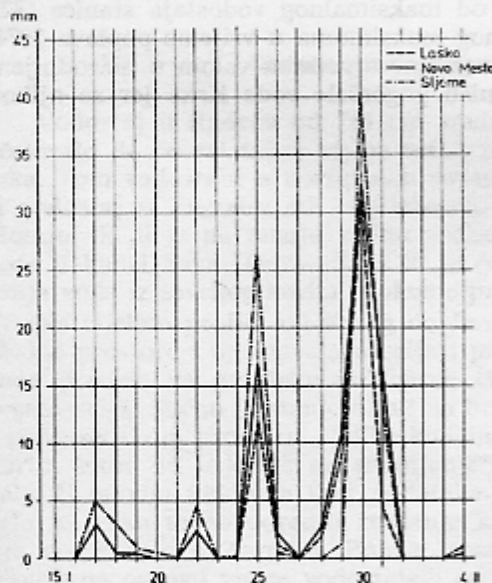


Sl. 3 — Kretanje temperature i visine snijega na tlu na stanicama Laško, Novo Mesto i Sljeme u I i II mjesecu 1979. god. A — Snijeg i B — Temperature.

Fig. 3 — Temperatures and height of snow cover in the stations in Laško, Novo Mesto and Sljeme in January and February 1979. A — snow and B — temperature.

Opća atmosferska cirkulacija pogodovala je i znatnim količinama kiše, što je bilo dodatno opterećenje za tokove. Najveći dio kiše koja je pala u vrijeme i nakon koptjenja snijega mogao je zbog povoljnijih uvjeta otjecanja najbližim putem i relativno brzo doći u korita rijeka.

Vrijednosti u tabeli 1 ukazuju na znatno odstupanje siječanjskih padalina od višegodišnjih vrijednosti i to na svim stanicama. Usprkos tome što ne raspolažemo s većim brojem stanica, može se izvesti zaključak o porastu odstupanja s porastom apsolutnih visina prostora. Još je značajnije da je 25. siječnja u svim stanicama palo prosječno 15% od ukupne mjesečne sume padalina (sl. 4), što nije velik udio, ali je vrlo značajan jer je pao u vrijeme najintenzivnijeg kopnjenja snijega. Maksimalne padaline bile su 30. siječnja, ali nisu mogle bitnije utjecati na visinu ranije formiranog vodnog vala koji je već prošao kraj vodomjerne stanice Zagreb.



Sl. 4 — Kretanje dnevnih količina padalina na kišomjernim stanicama Laško, Novo Mesto i Sljeme od 15. siječnja do 4. veljače 1979. god.

Fig. 4 — Daily amounts of rainfall in the pluviometric stations in Laško, Novo Mesto and Sljeme from January 15 to February 4, 1979.

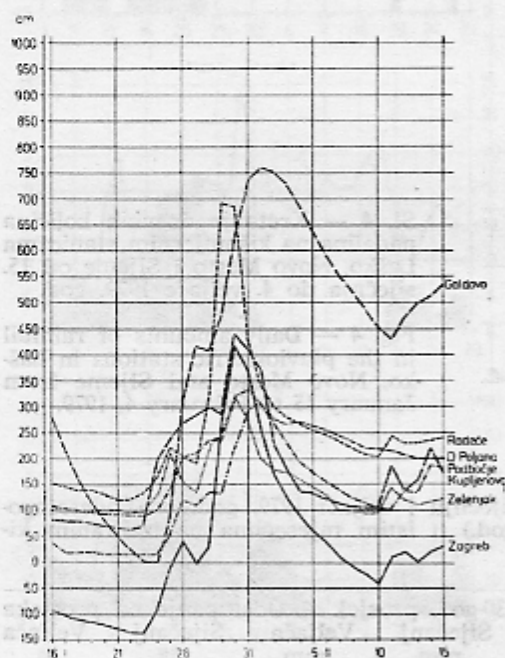
Tab. 1. Odstupanje sume padalina u siječnju i veljači 1979. god. od tridesetogodišnjeg prosjeka (1931—1960. god.) u istim mjesecima na izabranim kišomjernim stanicama (u %)

Stanica	Padaline 1979. god.		30-god. prosjek		Odstupanje od prosjeka	
	Siječanj mm	Veljača mm	Siječanj mm	Veljača mm	Siječanj %	Veljača %
Novo Mesto	92,6	92,1	70	60	32,0	53,5
Zabok	100,6	—	62	50	62,3	—
Sljeme	154,1	96,1	81	69	90,2	39,3
Zagreb-Grič	110,8	70,9	57	49	94,4	44,7
Sisak	82,7	—	58	53	42,6	—

Izvor: Mjesečni izvještaji o oborinama, Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske, Zagreb, siječanj i veljača 1979. god.

Takve hidrometeorološke prilike u siječnju, naročito u njegovoj drugoj polovici, uvjetovale su nagli porast vodostaja i zadale dosta problema obrani od poplava. Kretanje vodostaja na Savi i njezinim pritocima prije i poslije formiranja velikog vodnog vala prikazano je na slici 5. Na slici nisu prikazane srednje dnevne vrijednosti vodostaja, već rezultati jednog, i to jutarnjeg mjerenja u 7 sati (na nekim stanicama pola sata kasnije), pa su maksimalne vrijednosti vodostaja nešto niže od stvarnih.

Bitna karakteristika prikazanog vodnog vala njegovo je brzo formiranje i mali vremenski period trajanja. Ako se izuzme relativno mali porast vodostaja 27. siječnja od 192 cm na 312 cm, može se reći da je veliki vodni val u Radeču formiran u toku jednog dana; 28. siječnja porast je iznosio gotovo 400 cm. Maksimalni vodostaj izmjeren je 29. siječnja u 19 sati i iznosio je 764 cm. To je vodostaj znatno niži od maksimalnog vodostaja stanice (825 cm), ali je za 68 cm viši od izmjerene maksimuma u vrijeme poplava 1974. god. To je već ukazivalo na velike probleme s vodnim valom u nizvodnijem dijelu porječja. Međutim, situaciju nisu pogoršale vode Krke jer se njihov



Sl. 5 — Kretanje vodostaja na izabranim vodomjernim stanicama na Savi i njezinim pritocima i Odrj od 16. siječnja do 15. veljače 1979. god.

Fig. 5 — Water level in chosen water-meter stations on the Sava and Odra river from January 16 to February 15, 1979.

maksimum vodostaja pojavio dan kasnije nego u Zagrebu, a po veličini je bio znatno niži od maksimuma iz 1964. i 1974. godine. Vode Sutle i Krapine imale su udjela u formiranju vala jer su im maksimalne vrijednosti vodostaja zabilježene prije pojave maksimuma u Zagrebu — misli se na pojavu maksimuma na reprezentativnim profilima. No taj maksimum bio je daleko niži od maksimuma iz 1974. god., a na profilu Kupljenovo čak za 134 cm.

Jasno se vidi iz navedenog da je za formiranje velikog vodnog vala bio odlučan prostor savskog porječja uzvodnije od Radeča, a da su Mirna, Krka, Sutla, Krapina i ostale neposredne tekućice još više pogoršavale stanje vodostaja iako ne tako izrazito kao u ranijim poplavama.

Visoki vodostaj u Galdovu zadržao se duže, što je i karakteristika Save na tom profilu zbog uspora voda Kupe. Situacija na Odri bila je daleko kompleksnija zbog puštanja savskih voda u kanal Sava—Odra—Sava i popuštanje savskog nasipa kod sela Zablatje koje se nalazi na desnoj obali nasuprot Rugvici. Tako su se u Odri našle planirano i neplanirano velike količine vode i razlijevale se u privremenu retenciju u JI dijelu Odranskog polja. Inače uvjeti u samom porječju Odre nisu bili povoljni za formiranje velikog vodnog vala na glavnom toku.

Obrana grada Zagreba od poplava

Vodostaj u Radeču od 764 cm smatra se vrlo visokim pa se s pravom očekivalo da će val takve visine teško proći uska grla u nizvodnijem dijelu toka. Tom vodostaju u normalnim uvjetima morao bi odgovarati znatno veći vodostaj u Zagrebu od zabilježenog. Na osnovu toga može se postaviti pitanje: da li je na manju visinu vodnog vala u Zagrebu utjecalo puštanje vode u kanal Sava—Odra—Sava ili je ona samo posljedica prirodnog izlivanja voda iz savskog korita u okolne prostore uzvodno od ulaza u kanal.

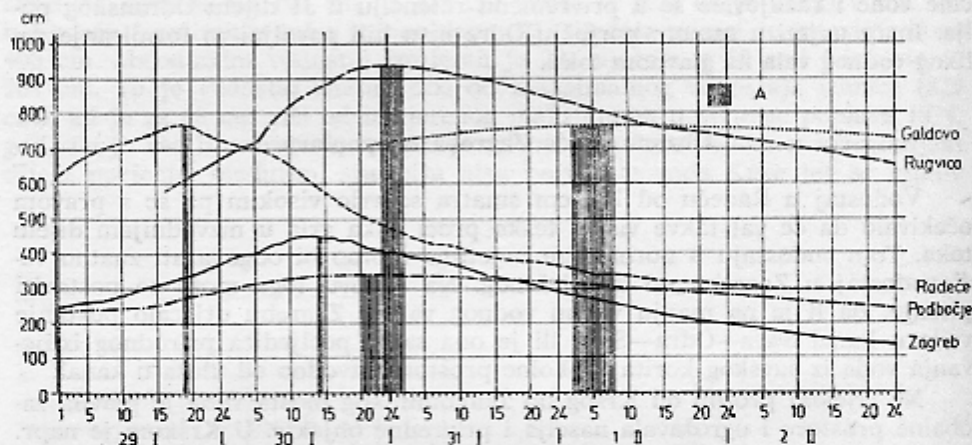
Na cijelom profilu od Kršog do Jankomirskog mosta voda je plavila zaobalne prostore i ugrožavala naselja i privredne objekte. U Krškom je napr. voda prodrila na gradilište nuklearne elektrane i pogone nekih privrednih organizacija. Slično je stanje bilo i na brežičkom, zaprešičkom, samoborskom i podsusedskom prostoru. Velike količine vode koje su se izliale iz savskog korita bitno su utjecale na smanjenje visine, brzine i propagacije vodnog vala. U takvim uvjetima (bez podataka o volumenu vala i veličini protoka) vrlo je teško točno odrediti značenje kanala Sava—Odra—Sava na smanjenje visine vala u Zagrebu. Prema izrazu $Q = a(h+b)^m$ moguće je odrediti protok na osnovu visine vodostaja³⁾; on je u Radeču iznosio 2 420 m³/sek, a u Zagrebu 2 425 m³/sek. Uspoređujući to s vodnim valovima iz 1973. i 1974. god., protok je znatno manji od očekivanog na vodomjeru u Zagrebu. Navedeni odnos protoka i vodostaja mora se uzeti s rezervom s obzirom na visok nivo vode u Zagrebu, koji je ukazivao na veći protok.

Razlika između zabilježenih maksimuma u Radeču i Zagrebu, prema podacima o kretanju vodostaja po satima (sl. 6), iznosi 19 sati. Raniji podatak za propagaciju vodnog vala između istih profila iznosi 21,9 sati, što daje razliku od 2,9 sati. Ta razlika mogla bi upućivati na utjecaj kanala, ali treba imati na umu da je propagacija vodnog vala funkcija inundacijskih površina koje se stalno smanjuju. Noviji podaci dobiveni u Republičkom hidrometeorološkom zavodu SR Hrvatske govore o propagaciji vala između Radeča i Zagreba za $16,7 \pm 4,2$ sata⁴⁾. Previše je pretpostavki (naročito o protoku i površini poplavljenih prostora između Radeča i Zagreba) da bi se zadovoljavajuće odredilo vrijeme koncentracije vodnog vala koje bi ukazivalo na efekt smanjenja vala pod utjecajem kanala Sava—Odra—Sava. Vremenska

3) Srebrenović D.: Problemi velikih voda, Tehnička knjiga, Zagreb, 1970.

4) Rezultat je dobiven analiziranjem 55 vodnih valova u periodu 1966—1978. god.

razlika između pojave maksimalnog vodostaja na profilima Radeče i Zagreb od 19 sati i udaljenost između njih duž savskog toka daje srednju brzinu kretanja vodnog vala od 3,3 km/sat. To je srednjak između veće brzine vala na profilu Radeče — Krško i manje između Krškog i Zagreba. Takav srednjak može se uzeti kao okvir razmatranja iako su utjecaji poplavnih površina na ovom drugom profilu dosta značajni. Na osnovu toga pokušao sam iz srednje brzine kretanja vala i udaljenosti ulaza u kanal od vodomjera u Zagrebu kod Savskog mosta odrediti smanjenje vala u Zagrebu pod utjecajem kanala Sava—Odra—Sava.



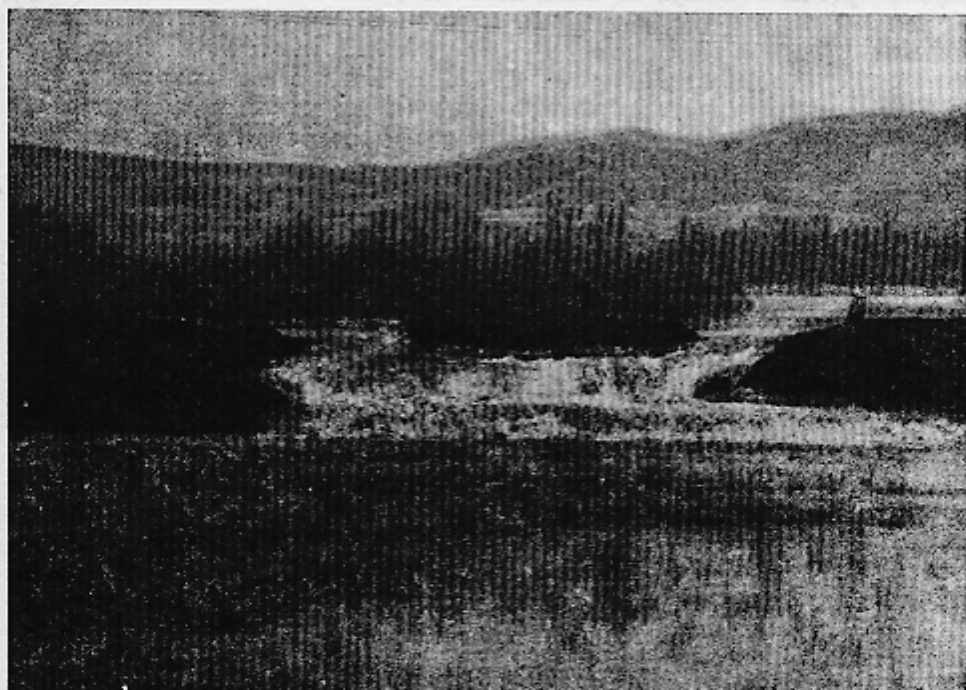
Sl. 6 — Kretanje vodostaja po satima u izabranim vodomjernim stanicama na Savi i Krki od 29. siječnja do 2. veljače 1979. god. A — Zabilježeni maksimumi.

Fig. 6 — Water level in chosen water stations on the Sava and the Krka from January 29 to February 2, 1979. A — observed maximums.

Udaljenost između ulaza u kanal i spomenutog vodomjera iznosi oko 8 km, što znači da bi valu prosječne brzine kretanja 3,3 km/sat bilo potrebno nešto više od 2 sata da prevali tu udaljenost. Otvaranjem poprečnog nasipa na ulazu u kanal nastojao se smanjiti nivo vode u Zagrebu i rasteretiti usko grlo u Rugvici. Rušenju nasipa pristupilo se 30. siječnja u 13 sati, a prvi m³ vode pušteni su u kanal oko 1 sat i 15 minuta⁵⁾ (sl. 7). Prema tome, na osnovu jednostavnog odnosa može se zaključiti da su se utjecaji puštanja vode u kanal na vodomjeru u Zagrebu mogli osjetiti za nešto više od 2 sata, dakle negdje između 15 i 16 sati. Prema podacima kretanja vodostaja po satima, vidi se da je u Zagrebu maksimalni vodostaj zabilježen u 14 sati, a već u 15 vodostaj je počeo opadati iako se utjecaj puštanja vode u kanal Sava—Odra—Sava još nije mogao odraziti na vodomjeru u Zagrebu. Moglo se očekivati da će maksimalni vodostaj biti zabilježen u 15 sati ili čak 16 i da će se tek onda zabilježiti jači pad vodostaja pod utjecajem puštanja vode u kanal. Veći vodostaj od zabilježenog nisu očekivali ni stručnjaci koji su rukovodili obranom od poplava na osnovu poznavanja konkretnih stanja, kao npr. veličine poplavljenih površina (Večernji list, Zagreb, 30. siječnja 1979).

5) Otvaranju poprečnog nasipa osobno sam prisustvovao, a službeno vrijeme otvaranja ustave u Prevlaci bilo je 12 sati i 30 minuta. Treba još reći da je otvaranje jednog i drugog objekta predviđeno u isto vrijeme.

Na slici intenziteta promjene vodostaja neposredno prije i poslije zabilježenog maksimuma u Zagrebu i Rugvici (sl. 8) vidi se da je pad vodostaja dosta intenzivan između 14 i 15 sati na vodomjeru Zagreb, ali se već u 16 sati očituje porast za 4 cm. Takve oscilacije vodostaja mogle bi se pripisati



Sl. 7 — Otvaranje poprečnog nasipa na ulazu u kanal Sava—Odra—Sava.

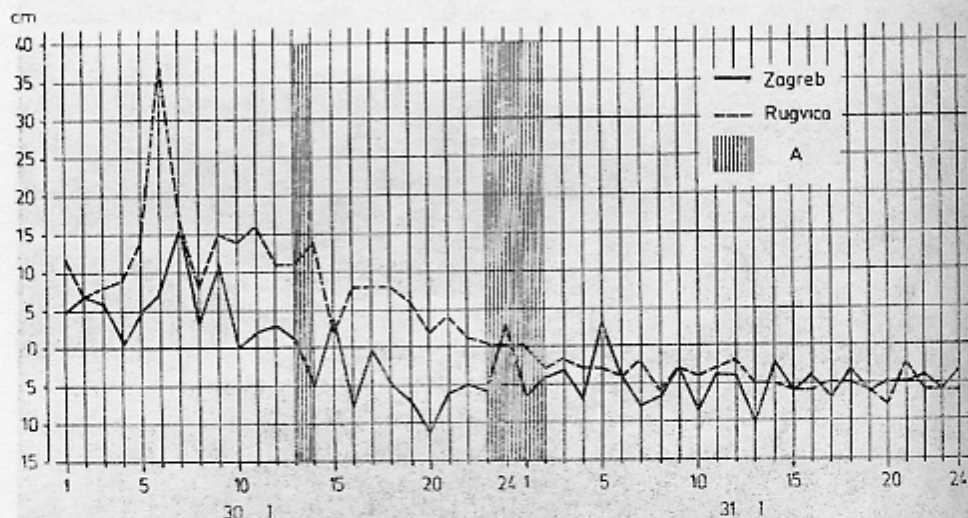
Fig. 7 — Mining the transversal levee at the entrance to the Sava—Odra—Sava canal.

puštanju vode u kanal (naročito intenzivan pad u 15 sati, dok se porast od 4 cm u drugom satu nakon zabilježenog maksimuma ne može dovesti u vezu s kanalom), ali se isto tako mogu objasniti i lokalnim turbulencijama vode oko samog vodomjera i rezanjem vodnog vala u slovenskom dijelu porječja. Treba reći da spomenute oscilacije nisu izrazito uočene na limnigramu pa je moguće da podaci nisu točni.

Iz svega navedenog može se izvesti zaključak da je maksimum vodnog vala prošao ulaz u kanal Sava—Odra—Sava kad se pristupilo otvaranju poprečnog nasipa. To ne znači da puštanje vode u kanal nije imalo utjecaja na vodostaj u Zagrebu; utjecaj je postojao — samo daleko manji od očekivanog.

Svi problemi takve vrste mogli bi se riješiti i pravovremeno izbjeći da nema poprečnog nasipa. U tom slučaju sve vode iznad nivoa preljeva nesmetano bi otjecale u kanal i dalje u retenciju u Odranskom polju. Međutim, tu se postavlja pitanje opravdanosti puštanja u kanal onih voda koje ne bi

ugrozile Zagerb, naselja uz Savu do Siska i sam Sisak, a većeg su nivoa od visine preljeva. U slučaju puštanja u kanal tih voda morale bi se zatvoriti cestovne prometnice izgrađene kroz kanal i poplaviti agrarne površine u II dijelu Odranskog polja. Takve vode vrlo su rijetke i dosta bi se polagano slijevale prema retenciji, ne zadajući većih problema stanovnicima naselja uz kanal. Kako one vremenski malo traju, ne bi bio veći problem potražiti



Sl. 8 — Intenzitet promjene vodostaja neposredno prije i poslije najvećeg vodostaja na stanicama Zagreb i Rugvica krajem siječnja 1979. god. A — Zabilježeni maksimumi.

Fig. 8 — Intensities of changes in water level directly before and after highest water level at the stations in Zagreb and Rugvica at the end of January 1979. A — Observed maximums.

nove veze između naselja s jedne i druge strane kanala. To su sve lokalne prometnice jer intraregionalne i interregionalne imaju izgrađene mostove. Pošto velike vode (veće od nivoa preljeva) nailaze najčešće u kasnu jesen i rano proljeće kad u prostorima predviđenim za retenciju nema značajnijih radova,⁶⁾ kanal Sava—Odra—Sava mogao bi i danas djelovati bez poprečnog nasipa.

Za vrijeme prolaza vodnog vala mogao se uočiti vrlo visok nivo vode u Zagrebu usprkos otvaranju kanala. Još zanimljiviji slučaj sam uočio 31. siječnja u 8 sati kad je visina vodostaja na vodomjeru u Zagrebu iznosila 382 cm, a preljev na ulazu u kanal nije reducirao višak vode! To dovodi u sumnju podatak da preljev počinje djelovati kod visine vodostaja od 350 centimetara.

Na taj način vodni je val prošao ulaz u kanal i u Zagrebu pokazivao na vodomjeru maksimalnu vrijednost 450 cm. Ta visina vodostaja je za 64 cm manja od najvećeg do sada zabilježenog 1964. godine. Vodni val te visine nije

6) Najveći udio površina u tom prostoru pod krmnim je kulturama i šumom. Šume su uglavnom na ocjeditijem prostoru dok poplavljanje površina pod krmnim kulturama ne predstavlja značajniji problem za poljoprivredu.

mogao zadati većih problema obrani od poplava Zagreba jer su obrambeni nasipi poslije 1964. god. povišeni i do 180 cm. Međutim s porastom površinskog nivoa vode rastao je i nivo podzemnih voda koje su poplavile manje površine u naselju Kajzerica. Nužno je bilo iseliti nekoliko kuća i zatvoriti za promet ulice koje su se našle pod vodom. Kako je vodostaj intenzivno padao, podzemne vode su se povukle relativno brzo ne ostavljajući većih šteta.

Otvaranju poprečnog nasipa i puštanju savskih voda u kanal prethodilo je zatvaranje lokalnih cestovnih veza koje su izgrađene njegovim dnom, a povezuju naselja sa sjeveroistočne i jugozapadne strane kanala. Na mjestima gdje ceste prelaze preko nasipa u gornjem dijelu kanala, nasipi su niži, što je zahtijevalo podizanje pomoćnih nasipa. Nizvodno od mosta, na pruzi Zagreb—Sisak, nema takvih cesta jer je na tom mjestu u kanal skrenuta rijeka Lomnica.⁷⁾ Za promet su 30. siječnja zatvorene lokalne cestovne veze Blato—Lučko, Botinec—Kupinečki Kraljevec, Botinec—Obrež, Gornji Čehi—Obrež, Hrašće—Lukavec, Donja Lomnica—Lukavec, Gradići—Petrovina i Kuće—Rakitovec.

Dio visokog vodnog vala Save koji je pušten u kanal slijevao se polagano prema retenciji u Odranskom polju. Kod mosta na pruži prema Sisku kanal je primio i znatne količine vode Lomnice, što je sve zajedno uvjetovalo visok nivo vode u kanalu. Situacija se u Odranskom polju jugoistočnije od Čičke Poljane dosta zakomplicirala zbog popuštanja savskog nasipa kod mjesta Zablattie i neplaniranog izlivanja velikih količina voda. Usprkos znatnim količinama voda koje je donijela Lomnica sa SI padina Plješevice i Vukomeričkih gorica, voda koje su puštene kanalom i voda koje su nadošle nakon popuštanja savskog nasipa, situacija u JI dijelu Odranskog polja nije bila kritična. To je još jedan dokaz da bi kanal Sava—Odra—Sava mogao djelovati bez poprečnog nasipa i u današnjim uvjetima.

Obrana od poplava grada Zagreba ima danas 99,9 postotnu sigurnost od velikih voda.⁸⁾ Time se na zagrebačkom limnigrafu postiže kota visine vode od 117,45 m nad Jadranskim morem. To je omogućilo izgradnju nasipa koji se visinom i oblikom uklapaju u urbanu strukturu južnog dijela Zagrebačke urbane regije. Nasipi su rekonstruirani nakon poplave 1964. god. na cijelom profilu od Podsuseda do Ivanje Reke u dužini od 27 km. Prosječna širina korita rijeke na tom dijelu iznosi 100 m, a inundacijske površine s jedne i druge strane također 100 m. Visina nasipa kreće se između 4 i 5 m, a na najkritičnijim mjestima i do 6 m. Građenju nasipa uzvodno od Podsuseda ne smije se pristupiti do potpunog dovršenja kanala Sava—Odra—Sava i ustave Palanek kod istoimenog mjesta na lijevoj obali Save, nešto uzvodnije od Siska, jer bi to značilo daljnje pogoršanje režima visokih voda.

Poseban problem za grad predstavlja vučeni i suspendirani nanos koji na područje grada donosi Sava. Prema nekim podacima Direkcije za Savu koritom rijeke na profilu slovenska granica—Rugvica prosječno godišnje kreće se 1 500 000 tona suspendiranog nanosa i 113 000 m³ vučenog nanosa. Tim značajnim količinama materijala koje mogu utjecati na režim velikih voda treba dodati i veliki relativni pad Save kroz grad (do Rugvice iznosi

7) Jedina veza u donjem dijelu kanala (koja nema mosta na cijelom objektu) lokalna je cestovna veza Kuće—Rakitovec. Međutim, zbog klasičnog oblika objekta u tom dijelu i stalnog toka Lomnice, most je izgrađen samo preko plovnog nivoa.

8) Hidrotehnička problematika Srednjeg Posavlja. Ključno rješenje vodoprivredne problematike sliva rijeke Save, Direkcija za Savu, Zagreb, 1971.

0,98%). To ukazuje na prijelazne brdsko-nizinske karakteristike Save kroz grad koje problem vučenog nanosa čine još kompleksnijim. Problem se ne odnosi na kanal jer preljev na ulazu počinje djelovati kod visokog vodostaja, što znači da se u kanal slijeva samo površinski sloj vode koji je gotovo neopterećen vučenim nanosom. Veće značenje može imati suspendirani nanos samo u slučaju dužeg rada kanala, a takvi su slučajevi u sadašnjim uvjetima savskog porječja nemogući.

Kontrola grubljeg vučenog nanosa za Zagreb je nužna, posebno ako se zatvore prirodno plavljeni prostori uzvodnije od Podsuseda. Ona se može (i planira) postići gradnjom ustave kompleksnije namjene. Prema radu »Studija regulacije i uređenje rijeke Save u Jugoslaviji« planirane su tri takve ustave: Podsused, Jarun i Rugvica ukupne snage 120 MW. Da li će se sve tri graditi, veliko je pitanje, ali najuzvodnija bi se morala izgraditi upravo zbog kontrole vučenog i suspendiranog nanosa.

Rezimirajući problem obrane od poplava Zagreba, još jedanput treba istaći da sistem njegove obrane od poplava čine: savski nasipi na cijelom gradskom prostoru visine 4–5 m (na kritičnim mjestima i do 6 m), inundacije unutar nasipa širine 200 m i kanal Sava—Odra—Sava kapaciteta 1 m³/sek. Promatrajući djelovanje tog sistema na primjeru velikih voda krajem siječnja 1979. god., uočava se njegova velika sigurnost od površinskog izlivanja voda, ali i visok nivo vode u gradu, što se ne bi smjelo dozvoliti danas kad je kanal djelomično u funkciji. Visok nivo vode u koritu ima za posljedicu porast podzemnih voda koje ugrožavaju najniže dijelove grada. Porast podzemnih voda nije i jedina posljedica prevelikog nivoa vode — posljedice se vide i kod uskog grla u Rugvici gdje je popustio obrambeni nasip i velike količine voda preplavile su okolna sela.

Sigurno je da udjela u tome ima zakašnjenje u otvaranju poprečnog nasipa i veći nivo praga preljeva od planiranog.

Obrana od poplava naselja uz Savu između Zagreba i Siska i grada Siska

Otvaranjem poprečnog nasipa na ulazu u kanal Sava—Odra—Sava i ispuštanjem velikih voda u retenciju Odransko polje postiže se smanjenje protoka nizvodno od Zagreba. Između Zagreba i Siska Sava ne prima ni jedan veći ili manji prtok pa reduciranje vodostaja još više dolazi do izražaja. Smanjenje voda ispuštanjem u kanal Sava—Odra—Sava nije jedini faktor koji utječe na hidrološke veličine na tom profilu. Zbog specifičnih karakteristika savskog korita i stanja u Sisku, u sistem obrane od poplava ovog prostora treba uljučiti ustavu kod Prevlake, kanal Lonja—Strug, akumulaciju Lonjsko polje te planirane ustave Palanjek na akumulaciji Lonjsko polje i Strelječko na Savi. Ustave kod Palanjka i Strelječkog planirane su za gradnju u II fazi izgradnje i predstavljaju objekte složenije namjene. U vrijeme spomenutog vodnog vala svi izgrađeni objekti bili su uključeni u obranu od poplava.

Profil Save od Zagreba do Siska ima neke specifične karakteristike. Dok kroz grad Sava pada 1%, od Rugvice do Galdova pad iznosi svega 0,05%. Od Rugvice Sava zapravo poprma karakter nizinske rijeke s brojnim vrlo ostrim meandrima, rukavcima i svim ostalim obilježjima nizinske rijeke.

Rugvica je granični prostor od kojeg se nizvodno bitno mijenjaju morfološko-hidrauličke karakteristike korita, zbog vrlo oštrog meandra, suženja korita i slabog pada Save. Protoci veći od 1 900 m³/sek donose značajne probleme obrani od poplava, dok iste protoke savsko korito u Zagrebu može bez poteškoća propustiti. U ranijim poplavama razlika između protoka na tim profilima površinskim se putem prelijevala u okolne prostore. Između Rugvice i Galdova postoji još nekoliko kritičnih suženja korito, što se rješavalo miniranjem savskog nasipa kod sela Lijeva Luka, čime su se savske vode rasterećivale u Lonjsko polje. Na cijelom profilu obrambeni nasipi su izrađeni, no tek njihovom rekonstrukcijom prema najvećim zabilježenim protocima Sava bi mogla primiti protoke vode od 2 200 m³/sek. Ilustracije radi, treba spomenuti da najveći izmjereni protoci u Zagrebu i Rugvici iznose 3 140 m³/sek, odnosno 2 218 m³/sek, što daje razliku od gotovo 1 000 m³/sek. Sigurno je da uspor u Rugvici ima odraza na visinu vodostaja u Zagrebu pa je zapravo Rugvica ključ rješavanja obrane od poplava na cijelom profilu. Danas ne postoje mogućnosti tehničkim zahvatima proširenja korito za prihvat većeg vodnog vala zbog brojnih naselja smještenih na samim savskim nasipima⁹. Proširenje korita nije moguće, ali sasvim je sigurno da je moguće produbljanje, s čime se, nažalost, odavno prekinulo.

Na osnovu ovih činjenica moguće je zaključiti da se zahvat savskih voda mogao izvrsti i između Zagreba i Rugvice, što može stajati, no Zagrebu kao sutrašnjem milijunskom centru potrebna je sigurnija obrana od poplava.

Svi objekti složenog sistema obrane od poplava građeni su s obzirom na pojavu stogodišnjih velikih voda bez utjecaja retencijskih površina uzvodno od Zagreba. Na ulaznom profilu cijelog sistema računa se s protokom Save od 3 650 m³/sek. Takav izuzetno visoki vodni val najprije će biti reduciran kanalom Sava—Odra—Sava na protok 2 650 m³/sek. O mogućnostima pojave većeg vala, u današnjim uvjetima većeg od 3 200 m³/sek, zasad nećemo razmišljati. Protok od 2 650 m³/sek proći će koritom Save kroz Zagreb bez značajnijih problema i nastaviti do ustave kod mjesta Prevlaka, koja će vodni val reducirati za daljnjih 450 m³/sek jer profil nizvodno od Rugvice može propustiti maksimalno 2 200 m³/sek¹⁰. Namjerno je naglašeno od Rugvice, a ne od Prevlake, što znači da će profil od Rugvice do Prevlake morati prihvatiti protoke do maksimalnog iznosa 2 650 m³/sek. Ako se prihvatiti račun propagacije koji smanjuje vodni val na 2 450 m³/sek prije ustave kod Prevlake, profilu u Rugvici namijenjeni su preveliki protoci. Takvi veliki protoci uvijek će ugroziti slabije nasipe na tom profilu, što je bio slučaj i s velikim valom koji promatramo.

Visina promatranog vala bila je 935 cm, i to je samo 11 cm manje od najvećeg do sada zabilježenog vodostaja u Rugvici kojem prema ranije spomenutom izrazu odgovara protok od 2 169 m³/sek. Ako se izraz može uzeti kao odgovarajući, a s obzirom na visinu vodostaja može, onda je navedeni protok jednak velikim vodama stogodišnjeg povratnog perioda. Takav izuzetno veliki protok nije se očekivao, što bi se također moglo pridodati tvrdnji da se otvaranju poprečnog nasipa na ulazu u kanal kasno pristupilo i da je prag preljeva veći od predviđenog.

⁹) Između Zagreba i Siska na obalama Save smješteno je 61 naselje. U taj broj uračunata su kao zasebna istoimena naselja na suprotnim obalama, što ona zapravo i jesu.

¹⁰) Analiza režima velikih voda Save, Direkcija za Savu, Zagreb, 1975.

Nakon što je kanal Sava—Odra—Sava prihvatio dio vodnog vala uzvodno od Zagreba, ustava Prevlaka postaje glavni objekt dirigitirane obrane od poplava naselja uz Savu do Siska i samog Siska. Ona će to biti sve do izgradnje ustava Palanjek i Strelječko. Ustava Prevlaka izgrađena je na vrlo povoljnom mjestu koje je početak prirodno plavljenih prostora u lijevom zaobalju. Izgrađeni dio kanala Lonja—Strug nije u potpunosti zatvoren za prihvata savskih voda jer još uvijek postoje otvori na lijevom nasipu za prihvata voda Zeline i Črnca u neposrednoj blizini ustave i naselja Posavski Bregi.

Kanalom Sava—Odra—Sava i ustavom Prevlaka vodni se režim kod Siska bitno poboljšava, ali još uvijek Sisak nema adekvatnu obranu od poplava. Ako se pretpostavi redukcija voda na spomenutim objektima, još uvijek velike vode u Sisku mogu imati slijedeće vrijednosti:

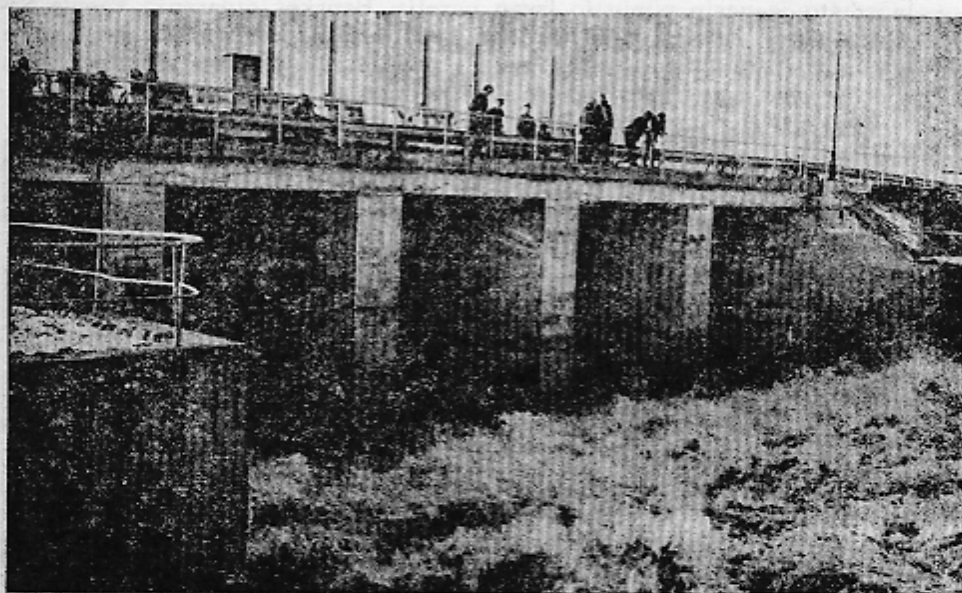
$$\begin{aligned} Q_p &= 100 = 2\,480 \text{ m}^3/\text{sek} \\ Q_p &= 50 = 2\,420 \text{ m}^3/\text{sek} \\ Q_p &= 25 = 2\,350 \text{ m}^3/\text{sek} \\ Q_p &= 10 = 2\,260 \text{ m}^3/\text{sek} \text{ (Aanaliza režima. . . op. cit.)} \end{aligned}$$

Maksimalno mogući kapaciteti Save u Sisku imaju veličinu 2 350 m³/sek, a to je protok u 25-god. povratnom periodu. Značajnom privrednom centru kakav je Sisak potrebna je daleko sigurnija obrana od poplava od one spomenute, a koju u sadašnjim uvjetima nije moguće poboljšati. Takvo će stanje trajati sve dok se ne izradi ustava Palanjek kapaciteta 2 500 m³/sek, za što je potrebno izdvojiti velika materijalna sredstva.

Sve do 30. siječnja navedena obilježja obrane od poplave naselja uz Savu do Siska i samog Siska nije bilo moguće provjeriti u praksi. Da bismo mogli razmotriti ta obilježja, moramo se ponovo vratiti praćenju siječanjskog vodnog vala. Poslije 14 sati 30. siječnja vodostaj Save u Zagrebu počeo je opadati, a vodni se val prosječnom brzinom od 3,3 km/sat nastavio kretati prema Rugvici. Naime, maksimalni vodostaj 935 cm u Rugvici zabilježen je u 23 sata istog dana (sl. 6), a udaljenost između profila duž savskog korita iznosi 29,7 km, što daje prosječnu brzinu 3,3 km/sat. Ta je brzina ista kao i na profilu uzvodno od Zagreba, što ukazuje na ranije spomenutu činjenicu daje pad Save do Rugvice relativno vrlo velik. Od 13 sati i 15 minuta kanal Sava—Odra—Sava počeo je prihvaćati dio vodnog vala, a ustava kod Prevlake otvorena je, prema podacima s kojim raspolažem, u 12 sati i 15 min i znatne količine vode reducirane su kanalom Lonja—Strug u Lonjsko polje (sl. 9).

Dakle, uzvodno i nizvodno od hidrometrijskog profila u Rugvici otvoreni su objekti za prihvata znatnih količina voda. To se odrazilo na oblik vodnog vala u Rugvici koji je poprimio razvučeniji oblik (sl. 6) s maksimumom koji je stagnirao 4 sata. Između Zagreba i Rugvice nije bilo značajnijih problema s vodnim valom jer su na cijelom profilu kroz grad nasipi dovoljno visoki, a između Žitnjaka i Rugvice postoje široke inundacije koje su bile ispunjene vodom. Već u 7 sati 30. siječnja u Rugvici je proglašeno izvanredno stanje obrane od poplava (pri vodostaju 700 cm). Sve do 23 sata porast vodostaja bio je vrlo intenzivan (sl. 8) i tada je zabilježen

moksimum. Tako veliki vodostaj od 935 cm — odgovara mu protok od 2 170 m³/sek — sasvim sigurno nije očekivan s obzirom na visinu vodostaja u Radeču i Zadrebju. Da nisu puštene veće količine voda u kanale, vrlo je vjerojatno da bi bio zabilježen vodostaj veći od 994 cm ili sasvim blizu njega.



Sl. 9 — Reduciranje velikog vodnog vala Save 30. siječnja 1979. god. ustavom kod mjesta Prevlaka.

Fig. 9 — Reducing the great water wave on the Sava on January 30, 1979, with the sluice at the village of Prevlaka.

Općenito uzev, u posljednjih nekoliko godina, točnije od 1972. god., u Rugvici se pojavljuju potpuno neočekivani protoci čija je veličina jednaka ili veća velikoj vodi stogodišnjeg povratnog perioda. Tako je 1972, 1974. i 1979. godine zabilježen protok veći od 2 150 m³/sek, i to sve uz manju visinu vodostaja od one iz 1964. god. To su potpuno neočekivani protoci koji djelomično negiraju zakone vjerojatnosti. Takvo izrazito pogoršanje režima protoka u Rugvici ukazuje na velike promjene u savskom porječju uzvodno od Rugvice, ali i u samom koritu Save, što je još vjerojatnije. Ako su se 100-god. velike vode pojavile u godinama kad to nije očekivano s obzirom na vodostaje u Radeču i Zagrebu, teško je predvidjeti posljedice u Rugvici kad se i u Zagrebu pojave 100-godišnje velike vode. Zbog toga će suženje u Rugvici biti i nadalje otvoreni problem obrane od poplava naselja uz Savu, Siska, ali i samog Zagreba.

Nakon ove kratke digresije ponovo ćemo se vratiti promatranom vodnom valu u Rugvici. Tako visoki protok od 2 170 m³/sek nisu mogli izdržati dosta slabi savski nasipi pa je kod mjesta Zablatje, na desnoj obali, došlo

do popuštanja nasipa i izlivanja velikih količina voda u otvoreni prostor (sl. 10). Dodatno rasterećenje velikog vodnog vala, uz rasterećenje kanalima, slobodno se može reći, spasilo je prostor nizvodno od Rugvice. Do popuštanja nasipa došlo je 31. siječnja između 1 i 2 sata i voda se prelila u nizinski prostor, plaveći 15 000 ha agrarnih površina i ozbiljno ugrožavajući naselja Zablatje, Bukevje, Obed, Čret i Čičku Poljanu. U tim naseljima poplavljeno je 796 kuća i izazvana vrlo velika šteta¹¹⁾. U svemu tome sretna je okolnost što je nasip popustio izvan naselja. Usprkos otvaranju kanala Sava—Odra—Sava, ustave kod Prevlake i popuštanja nasipa, na intenzitetu promjena vodostaja neposredno prije i poslije zabilježenog maksimuma u Rugvici ne osjeća se značajnije rezanje vodnog vala (sl. 8).



Sl. 10 — Dio savskog nasipa između Zablatja i Sopa kojeg je 31. siječnja 1979. god. razorio veliki vodni val Save.

Fig. 10 — Part of the Sava levee between Zablatje and Sop, destroyed by the great water wave on the Sava on January 31, 1979.

Tako je vodni val prošao i Rugvicu, ostavljajući tragove poplava u prostoru sjeverno od Čičke Poljane. Duž cijelog profila od Rugvice do Prevlake bilo je potrebno graditi u naseljima pomoćne nasipe. U Prevlaci je vodni val reduciran ustavom i kroz izgrađeni dio kanala Lonja—Strug voda je sprovedena prema budućoj akumulaciji Lonjsko Polje. Pošto kanal Lonja—Strug ima otvore za prihvat voda iz lijevog savskog zaobalja, voda je pro-

11) Vijesti Radio-Zagreba 1. II 1979.

drila kroz njih i počela ugrožavati naselja Trebovec i Posavske Brege (niže dijelove). Kad je situacija u tim naseljima postala kritična, ustava se na određeno vrijeme morala zatvoriti. Međutim, još je teže stanje bilo na profilu između Prevlake i Siska pa se reduciranje savskih voda ustavom moralo ponovo nastaviti.

Vrlo je interesantan slučaj zabilježen upravo na tom dijelu toka. Maksimalni kapacitet savskog korita u idealnim uvjetima iznosi tu 2 200 m³/sek. Još jedanput treba podsjetiti da je protok u Rugvici bio oko 2 170 m³/sek, da su velike količine vode reducirane u Odransko i Lonjsko polje i da su velike količine vode probile nasip između Zablatja i Sopa. Dakle, usprkos svim tim planiranim i neplaniranim redukcijama, stanovnici naselja uz Savu morali su podizati pomoćne nasipe na nekim mjestima čak i do pola metra visine¹²⁾. Izvan naselja gdje nije bilo moguće graditi pomoćne nasipe, voda se prelijevala u okolna polja. Sve to ukazuje da je rasterećenje vodnog vala moralo biti još veće; ono se nije moglo postići ustavom Prevlaka, ali se moglo kanalom Sava—Odra—Sava. Pored toga, može se i mora izvući zaključak da su se u savskom koritu nizvodno od Zagreba dogodile velike promjene. Promjene u koritu općenito i jesu najdinamičnije s obzirom na vučeni nanos, no isto je tako veliko pitanje kakve radove vršiti u koritu Save da se ne dovede u pitanje obrana od poplava prostora nizvodno od Siska.

U Galdovu je vodostaj od 700 cm izmjeren 30. siječnja u 19 sati kad je proglašeno izvanredno stanje obrane od poplava. Porast vodostaja nije bio intenzivan, ali je zato bio konstantan sve do 1. II, kad je u 1 sat izmjeren maksimum od 762 cm. Nakon što je 7 sati stagnirao na toj visini, počeo je vrlo polagano opadati. Takav vodostaj nije velika rijetkost u Galdovu gdje on bitno ovisi o režimu Kupe. Taj maksimum je za 34 cm manji od maksimalnog vodostaja stanice zabilježenog za vrijeme velikog vodnog vala 1974. god. Stanje u Sisku nije bilo tako kritično niti je vodni val ostavio takve tragove kao uzvodno od njega.

Velike količine voda koje su ispuštene u Odransko polje nisu u većoj mjeri ugrozile naselja na njegovu rubu. Da nije bilo popuštanja savskog nasipa, pod vodom se ne bi našlo ni jedno naselje. Zato može stajati mišljenje da su u Odransko polje morale biti ispuštene veće količine voda kako bi se rasteretila uska grla između Zagreba i Siska.

Rugvica je, dakle, bila i ostala najkritičnija točka obrane od poplava zagrebačkog prostora. Najviše zabrinjava činjenica što se u posljednjim godinama u Rugvici pojavljuju izvanredno veliki protoci koji odgovaraju velikim vodama vjerojatnosti pojave jedamput u 100 godina. Takva pojava daje još veće značenje kanalu Sava—Odra—Sava koji bi morao funkcionirati već u sadašnjim uvjetima bez poprečnog nasipa.

12) Za ove podatke nije potrebno navoditi izvor jer sam osobno sudjelovao u podizanju pomoćnih nasipa i sprečavanju preljevanja savskih voda u naselja. Kod nekih naselja dovoljno je spriječiti prodor vode u samom naselju jer imaju izgrađene nasipe i sa zaobalne strane. Da bi se spoznala sva težina obrane od poplava u posavskim naseljima, mora se to doživjeti. Isto tako je nužno svaki vodni val s najvećom pažnjom pratiti na terenu, jer se tek na taj način, naravno uz podatke o vodostaju na kritičnim mjestima, mogu uočiti njegove specifičnosti i mogućnosti obrane.

Zaključak

Prvi put otkako su izgrađeni objekti sistema obrane od poplava, u praksi se moglo provjeriti njihovo značenje na velikom vodnom valu u siječnju 1979. god. Prateći spomenuti vodni val u njegovu kretanju od Radeča do Siska, moglo se uočiti da će problema s velikim vodama i nadalje biti, prvenstveno kod Rugvice koja još uvijek predstavlja glavnu točku obrane od poplava na tom cijelom profilu. Zbog toga bi bilo nužno poduzeti slijedeće:

- funkcija kanala Sava—Odra—Sava u obrani od poplava Zagreba i naselja uz Savu do Prevlake mora biti primjerna njegovu kapacitetu, obliku i smještaju, a može se ostvarivati jedino u uvjetima slobodnog funkcioniranja preljeva na ulazu u kanal;

- točno se moraju definirati uzroci zaista neočekivano velikih protoka u Rugvici koji će najvjerojatnije i nadalje zadavati velike probleme obrani od poplava, usprkos postojanju sistema te obrane;

- problemu vučnog nanosa treba posvetiti veću pažnju i po mogućnosti produbljivati savsko korito;

- potrebno je što prije izgraditi upusne objekte na kanalu Lonja—Strug da ne bi u slučaju redukcije savskih voda ustavom Prevlaka došlo do nepotrebnog poplavlivanja topografski nižih naselja u lijevom zaobalju;

- nužno je ispitati sigurnost savskih nasipa, naročito u naseljima da se ne bi ponavljali slučajevi popuštanja nasipa kao 31. siječnja 1979. god. kod Zablatja i

- daleko je najpotrebnije nastaviti što prije gradnju ostalih objekata obrambenog sistema jer je posljednji veliki vodni val pokazao da se izuzetno visoke vode pojavljuju sve češće, usprkos računima vjerojatnosti.

Neki nedostaci obrane od poplava mogu se opravdati tek djelomičnom izgradnjom objekata, no neki se ne bi smjeli ispoljavati kad su mogućnosti obrane od poplava velike.

LITERATURA

- Dukić D.: Plovidba na Savi, *Geografski glasnik* 32, 5—37, Zagreb, 1970.
 Dukić D.: Sava-potamološka studija, SAN, Posebna izdanja, Knjiga CCLXXV, Beograd, 1957.
 Franolić V.: Urbanistički problemi Zagreba kao velegrada, Zagreb, 1976.
 Friganović M.: Vode zagrebačke regije, *Geografski institut PMF*, Zagreb, 1964.
 Kovačević P., Kalinić M., Pavlić V. i Bogunović M.: Tla Gornje Posavine, *Institut za pedologiju i tehnologiju tla*, Zagreb, 1972.
 Miletić P. i Borčić D.: Prilog poznavanju podzemnih voda na području Zagreba, *Geološki vjesnik* 20, 285—291, Zagreb, 1967.
 Pisačić A. i Bukl S.: Podaci za regulaciju Save i melioraciju Posavlja, Zagreb, 1919.
 Riđanović J.: Geografski aspekti proučavanja voda, *Zbornik VIII Kongresa geografa Jugoslavije*, 541—556, Skopje, 1968.
 Riđanović J.: Opskrba vodom grada Zagreba, *Geografski glasnik* 26, 33—64, Zagreb, 1964.
 Roglić J.: Elementi i dinamika reljefa, *Geografski institut PMF*, Zagreb, 1963.
 Srebrenović D.: Problemi velikih voda, *Tehnička knjiga*, Zagreb, 1970.
 Srebrenović D.: Zagreb i njegova hidrotehnička problematika, *Građevinar*, 10, Zagreb, 1976.
 Šegota T.: *Klimatologija za geografe*, Školska knjiga, Zagreb, 1976.
 Šterc S.: Osnovne fizičkogeografske karakteristike porječja Save između Radeča i Siska, *Radovi Geografskog odjela*, 14, 47—59, Zagreb, 1979.

- Analiza režima velikih voda Save, Direkcija za Savu, Zagreb, 1975.
 Hidrološka studija reke Save. Savezni hidrometeorološki zavod, Beograd, 1969.
 Hidrološka studija reke Save, Institut za vodoprivredu »Jaroslav Černi«, Beograd 1974.
 Hidrotehnička problematika Srednjeg Posavlja, Ključno rješenje vodoprivredne problematike sliva rijeke Save, Direkcija za Savu, Zagreb, 1971.
 Izvanredne meteorološke i hidrološke prilike u SR Hrvatskoj za vrijeme poplava u rujnu i listopadu 1974. god., Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske, Zagreb, 1974.
 Obrana od poplava Zagreba, Karlovca i Siska, Direkcija za Savu, Zagreb, 1969.
 Oteretni kanal »Odra«, Direkcija za Savu, Zagreb, 1970.
 Prikaz studije regulacije i uređenja rijeke Save u Jugoslaviji (konačni izvještaj), Direkcija za Savu, Zagreb, 1973.

IZVORI PODATAKA

1. Hidrološki godišnjaci. Savezni hidrometeorološki zavod, Beograd, 1945—1974.
2. Izvještaji centra za obranu od poplave. Direkcija za Savu, Zagreb, I-II 1979.
3. Izvještaji o padavinama. Savezni hidrometeorološki zavod, Beograd, 1943—1945, 1946—1947. i 1948.
4. Meteorološki godišnjaci. Savezni hidrometeorološki zavod, Beograd, 1949—1973.
5. Mjesečni izvještaji o temperaturi, količini oborina i visini snijega. Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske, Zagreb, I-II 1979.
6. Mjesečni izvještaji vodokaznih motrenja. Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske, Zagreb, I-II 1979.
7. Vjesnik, Zagreb, 3. II 1979.
8. Vijesti Radio-Zagreba 1. II 1979.
9. Večernji list, Zagreb, 30. I 1979.

Summary

ZAGREB FLOOD DEFENCES BY THE SAVA — ODRA — SAVA CANAL

by

S. ŠTERC

The physical and geographical characteristics of the Sava river basin upriver of Zagreb made it necessary to build a complex system of flood defenses in central Croatia. The Sava—Odra—Sava canal is an integral part of that system, and also its most important part, because it defends the urban agglomerations of Zagreb and Sisak from high waters.

At the end of January and the beginning of February 1979 high waters in the Sava threatened Zagreb and downriver settlements, and the canal was used for flood defenses for the first time. That water wave served as the basis for an analysis of the canal's importance for the wider Zagreb region.

After a sudden rise in temperature, not a rare event in January, which resulted in the intense thawing of snow and much rain, the Sava's waters rose. In most meteorological stations maximum January temperatures were about 14°C. A very high water wave was formed in the Sava in a very short period of time (almost in one day), which flooded great regions upriver of Zagreb. A very high water level in Radeče also indicated great problems with the water wave in Zagreb and downriver. However, there was no critical water level on the Zagreb profile. This was not the result of the functioning of the canal, but the influence of the great inundations upriver of Zagreb. An analysis of data on the water level measured in the Zagreb station showed that the transversal levee at the entrance to the canal was not opened until the maximum water level had passed by the canal entrance. Thus the canal's positive effect could not come to expression.

This resulted in a very high level of water showed by the Zagreb water meter, a break through the Sava levees by the village of Zablatje and the flooding of several settlements close to the river banks. It is interesting that the flow noticed in Rugvica corresponded to the 100-year great waters, which should be an important warning in future flood defense. The appearance of exceptionally high flows in Rugvica in the past 5—6 years clearly indicates that the Sava—Odra—Sava canal should function without the transversal levee, in spite of the fact that it has been only partly built.

On the whole profile of the Sava downriver of Rugvica emergency levees had to be built because the Sava's real levees were not enough to hold back the high water level of that wave. As it is possible for the Sava—Odra—Sava canal to carry out its function, the population of the settlements beside the Sava downriver from Rugvica should not be allowed to fear every high water wave, as happened at the time in question.

An analysis of the water wave in January 1979 showed that high waters will continue to be a great source of concern for flood defense, especially downriver from Zagreb, and that the canal's defense functions do not come completely to expression when its entrance is closed with a firm transversal levee which is mined when necessary, and makes the whole canal less efficient.