

## OSNOVNE FIZIČKOGEOGRAFSKE KARAKTERISTIKE SAVSKOG PORJEČJA IZMEĐU RADEČA I SISKA\*

STJEPAN ŠTERC

UDK 911.2:551.48(497.1)

### Uvod

Velike vode Save oduvijek su ugrožavale naselja u blizini toka nizvodno od Krškog, gdje Sava izlazi iz vapnenačko-dolomitne zone i počinje teći otvorenom ravnicom. Danas se situacija u velikoj mjeri izmijenila, no ne može se reći da opasnosti od poplava nema, usprkos činjenici što su neki hidrotehnički objekti u Srednjejhrvatskom Pokuplju i Posavlju izgrađeni i što djelomično mogu izvršavati namijenjene im funkcije. Kao prilog toj tvrdnji dovoljno se sjetiti velikih vodnih valova Save 1964, 1966, 1974. i 1979. godine koji su imali katastrofalne posljedice ili zadali velike teškoće obrani od poplava.

Posebno je zanimljiv veliki vodni val Save iz stječnja 1979. god., koji je zadao velike probleme obrani od poplava Zagreba kad je poplavio 15 000 ha agrarnih površina i 796 kuća u općini Velika Gorica<sup>1</sup>, iako su savski nasipi u Zagrebu poslije 1964. god. podignuti za 4—5 m (na kritičnim mjestima i do 6 m), a dirigirani objekti obrane od poplava (kanal Sava-Odra-Sava, ustava Prevlaka i dio kanala Lonja-Strug) bili u funkciji. Prema tome, grad Zagreb i njegova okolica nisu još sasvim riješili pitanje obrane od poplava sve dok ne budu u cijelosti izgrađeni svi planirani hidrotehnički objekti vezani za regulaciju Save i njezinih pritoka u Središnjoj Hrvatskoj.

Zbog toga je uvijek interesantno i značajno razmotriti fizičkogeografske karakteristike prostora uzvodno i nizvodno od Zagreba, jer su one u krajnjoj liniji i osnovni uzrok složenih vodnih prilika. Daleko je važniji prostor uzvodno od Zagreba, zapravo savsko porječje uzvodno od Zagreba, što čini geografski okvir unutar kojeg se formiraju veliki vodni valovi Save. Značajna veličina prostora hidrometrijskog profila Zagreb<sup>2</sup> predstavlja, međutim, veliki problem u razmatranju osnovnih fizičkogeografskih karakteristika prostora. Stoga je hidrometrijski profil u Radeču, površine

7 133 km<sup>2</sup>, izabran kao reprezentativan za veliki dio porječja uzvodno. Položaj profila u Radeču je optimalan u odnosu na ušće Savinje i udaljenost od Zagreba pa upravo zato predstavlja odlučujuću stanicu za prognoziranje vodostaja na nizvodnim profilima.

Karakteristike prostora nizvodno od Zagreba nisu takvog reda značenja, no utjecaj na visinu vodostaja u Zagrebu ne može im se osporiti. Prvi nizvodni profil je Rugvica, udaljena 29,2 km, koji predstavlja ključnu točku obrane od poplava okolice Zagreba pa je stoga kao izlazni profil uzet onaj u Galdovu. Situaciju složenijom čini i porječje Odre, koje će u budućnosti kanal Sava-Odra-Sava u cijelosti skrenuti u Savu, i kao takvo nužno je uključeno u razmatranje.

### Morfološka obilježja promatranog prostora

Bez analize reljefa ne mogu se u potpunosti razumjeti složeni fizičkogeografski odnosi u savskom porječju nizvodno od Krškog. O reljefnim oblicima, odnosno geomorfološkim jedinicama, bitno ovise mogućnosti poplavlivanja i formiranja velikih voda: Zavisnost količine padalina od visine reljefa velika je pa se s pravom govori o svakoj planini kao »otoku« s povećanom količinom padalina u svojoj okolini. Veliko je značenje i energija reljefa (razlika između najviše i najniže točke u određenom prostoru) na količinu otjecanja padalinskih voda u površinske tokove ili podzemlje. Pri formiranju količine otjecanja, osim pedološkog sastava, vegetacije i litološkog sastava podloge (vapnenci, gline ...), veliki utjecaj imaju strmine ili nagibi padina kao najvažniji elementi reljefa. Slika 1 prikazuje složene geomorfološke i hidrografske odnose promatranog prostora.

Veličina izdvojenog porječja između Radeča i Siska<sup>3</sup> iznosi 6 382 km<sup>2</sup>, a oblik je nepravilan i sužava se nizvodno. Uzvodno od Zagreba porječje

tor, najbolje pokazuje usporedba s površinom SR Crne Gore koja iznosi 13 812 km<sup>2</sup>.

3. Promatrani prostor je izdvojen zapravo između vodomjernih stanica Radeče i Galdovo, no kako Galdovo danas funkcionalno pripada sisačkoj aglomeraciji, to se Sisak navodi kao najnižvodnija točka profila.

\* Članak je izvod iz diplomskog rada obranjenog u školskoj godini 1978/79.

1. Vijesti Radio-Zagreba. Zagreb, 1. II 1979. god.

2. Hidrometrijskom profilu Zagreb gravitira 12 450 km<sup>2</sup> površine savskog porječja i od toga više od 3/4 teritorijalno pripada SR Sloveniji. Koliko je to velik pros-



Sl. 1. Odnos voda i reljefa u dijelu savskog porječja između Radeča i Siska.  
A. tekućice, B. granica izdvojenog dijela porječja.

Fig. 1 Relation of water and relief in the portion of the Sava River Valley between Radeč and Sisak.  
A. flowing water, B. border of the observed section of the area.

je relativno dosta razgranato i uočava se sličnost lijevog i desnog zaobalja. Nizvodno od Zagreba lijevi dio porječja naglo se sužava, a u desnom suženje nije tako izrazito zbog uključivanja porječja Odre. Između Radeča i Zagreba Sava prima s desne strane 2 veća pritoka, Mirnu i Krku, a s lijeve nešto nizvodnije Sutlu i Krapinu. Ostali pritoci nisu takvog reda veličine, pogotovo nizvodno od ušća Krapine, gdje Sava ne prima ni jedan veći prtok. Gustoća hidrografske mreže mnogo je veća u lijevom zaobalju i posljedica je velikog udjela okršenog prostora u porječjima Mirne i Krke.

Naročito je važno u analizama fizičkogeografskih karakteristika porječja razmotriti udio krša u prostoru i morfometrijske karakteristike porječja jer su to veličine koje direktno utječu na hidrološke prilike. Tako općenito uzevši za taj prostor vrijedi karakteristika da su mogućnosti akumulacije podzemnih voda male, a o kontinuiranim vodonosnim horizontima nema ni govora. Veliko značenje je prvenstveno u pojačanom otjecanju površinskih voda, dok su krški prostori sa svojim velikim rezervoarima podzemne vode pravi hranioci površinskih tokova Mirne i Krke. Takve karakteristike gube se nizvodno od Zagreba gdje je veličina porječja mala. Specifični dotoci npr. na savskim profilima u Radeču i Čatežu iznose 32,8 i 31,6, a u

Zagrebu 25,2 l/sek/km<sup>2</sup>. Veliki dio prostora čini plitki pokriveni krš (u porječju Krke gotovo 50%) pa se neke zakonitosti o kretanju vode u podzemlju ne mogu izdvojiti.

Iz tab. 1 jasno se uočava da su krški prostori isključivo vezani za dio porječja uzvodno od Zagreba, gdje su rasprostranjeni na petini prostora. U tom se dijelu nalazi i krška vododijelnica u dužini od 65 km u jugozapadnom dijelu porječja Krke (Suha Krajina). Ako se zanemari slatkovodna vododijelnica u području između Zagreba i Beograda (Hidrološka studija reke Save, Savezni hidrometeorološki zavod, Beograd, 1969).

Savski profili	Površina porječja F km <sup>2</sup>	Površina krškog dijela F <sub>k</sub> km <sup>2</sup>	Udio krša %
do Radeča	7 103	1 070	15,1
Radeče — Čatež	2 927	800	27,3
Čatež — Zagreb	2 420	8	0,3
Zagreb — Rugvica	280	—	—
Rugvica — Galdovo	778	—	—
Galdovo — Beograd	82 892	6 186	7,5
Ukupno izdvojeni dio	6 405	808	12,6

bije okršeni prostor u podgorskom jugozapadnom dijelu Medvednice, gdje je udio krša samo 0,3% između profila Čatež i Zagreb, može se sloobodno reći da su krški fenomeni vezani isključivo za slovenski dio porječja.

S druge pak strane, razmatrajući morfometrijske karakteristike, uočavamo smještaj visokog reljefa u rubnom dijelu prostora; i upravo taj reljef čini površinsko razvođe.<sup>4</sup> Idući od Radeča prema Sisku desnim zaobaljem, razvođe čine visoki grebni Posavskih gora (Kum 1 219 m i Višnja gora), a nastavlja se okršenim prostorima Male gore, Kočevskog roga i Mirne gore. Razvođe je tu dosta neodređeno zbog okršenosti prostora pa bi se zapravo trebalo govoriti ne o topografskom razvođu, već o matematičkim putem određenoj vododijelnici (Geologija i hidrogeologija sliva rijeke Save 1969). Nastavljajući istim smjerom, napuštamo krški prostor i ulazimo u prostor normalne hidrografije u kojem se ponovo određuje topografsko razvođe kojeg čine vrhovi Žumberačke gore, niske povije Horvatskog praga i Vukomeričkih gorica sve do Siska.

Razvođe u lijevo zaobalju, idući nizvodno od Radeča, čine vrhovi Posavskih gora između Save i Sutle, male visine voglajnsko-sutlanskog razvođa, da bi se nastavilo razvođem između Save i Drave, kojeg čine Plešivec, Macelj, Stobernik, Strahinčica i Ivančica. Od Ivančice prema jugoistoku razvođe čini nisko pobrđe između Krapine i Lonje, koje postepeno prelazi u masiv Medvednice, a od Kašine ide rebrastim grebenom između Vugrovog potoka i potoka Kašine u savsku ravnicu i slijedi Savu do Siska. Nizinski dio razvođa je izrazito neodređen zbog povišenih savskih nanosa uz tok.

Prema tome, visoki planinski prostori čine granični okvir unutar kojeg se slijevaju padalinske vode u Savu kao svojevrsnu erozijsku bazu. Unutar tog okvira izdvajaju se viši prostori »hribovlja« između Mirne i Krke, Orlica, Desinička i Kuna-gora, središnji i JZ dio Medvednice i izrazito rasčlanjeno tercijarno brežuljkasto područje Hrvatskog zagorja između Sutle i Krapine.

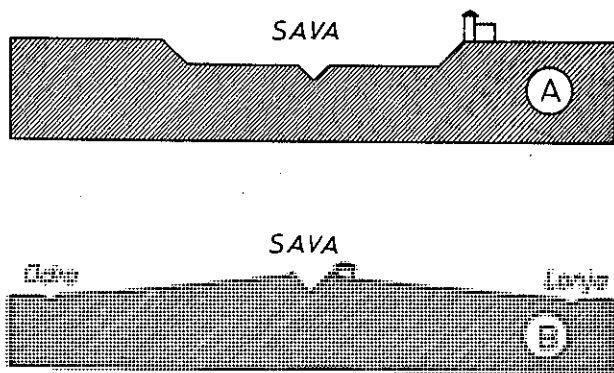
Tablica 2. Srednja apsolutna visina i prosječni pad savskog porječja do reprezentativnih hidro-metrijskih profila (Hidrološka studija... op. cit.)<sup>5</sup>

Profil	Srednja apsolutna visina m	Prosječni pad porječja m/km
Radeče	682	6,55
Čatež	604	5,09
Zagreb	543	3,75
Rugvica	525	3,56

Brojčane pokazatelje morfometrijske rasčlanjenosti prikazuje tab. 2. Izračunate vrijednosti

4. Pojam razvođe u daleko većoj mjeri odgovara topografskim putem određenim granicama porječja. U većini slučajeva granice ne predstavljaju isključivo liniju razdvajanja prostora kojem gravitiraju, već su to šire zone za koje se ne može upotrijebiti pojam razvodnica ili vododijelnica. Tek za matematičkim pu-

pokazuju već poznatu činjenicu da srednja apsolutna visina i prosječni pad porječja opadaju nizvodno. Međutim, intenzitet pada je mnogo veći između Radeča i Čateža kao i Čateža i Zagreba nego između Zagreba i Rugvice. To je i razumljivo s obzirom da srednja apsolutna visina na profilu Radeče odražava visoki reljef gornjeg toka Save. Na profilu Čatež vrijednosti su niže i odražavaju reljefne karakteristike porječja Mirne i Krke, koje su prosječno najviše u izdvojenom prostoru. Značajna karakteristika profila između Čateža i Zagreba je još manja visina porječja, dok je smanjenje prosječnog pada izrazitije (od 5,09 na 3,75 m/km), što je odraz slabije energije reljefa porječja Sutle i Krapine. Parametri na profilu u Rugvici pokazuju malo smanjenje jer je površina porječja između Zagreba i Rugvice također mala, samo 280 km<sup>2</sup>, a čine je rebrasti reljef Medvedničkog prigorja i niska aluvijalna savska ravnica. Da su izračunati pokazatelji do Galdova, umjesto do stanice Crnac, pokazivali bi bitno smanjenje zbog uključivanja u razmatranje niskog odranskog porječja.



Sl. 2. Shematski prikaz poprečnog profila savske doline uzvodnije (A) i nizvodnije (B) od Zagreba.

Fig. 2 Schematic presentation of the transversal cross section profile of the Sava Valley upstream and downstream (B) from Zagreb.

Kod razmatranja morfometrije porječja bitno je istaći i poprečne profile doline Save nizvodnije i uzvodnije od Zagreba, jer oni direktno utječu na mogućnost poplavlivanja (sl. 2). Uzvodno od Zagreba djelomično se mogu uočiti ostaci terasa koje su zapravo granice poplavnih zona. Kako su to samo ostaci nekadašnjih terasa, izrazitih granica poplavlivanja nema, što znatno komplicira hidrografske prilike.

Nizvodno od Zagreba, gdje su poplave češće i po veličini znatnije, poprečni profil doline bitno je drugačiji. Prostor uz samo korito zbog recentne akumulacije znatno je viši (i do 5 m) od

tem određene granice porječja (ukoliko je to moguće) možemo upotrijebiti pojmove vododijelnica ili razvodnica.

5. Tablica 2 se bitno razlikuje od tablice 1 stoga što su dani parametri za cijeli gravitirajući prostor do pojedinog savskog profila.

bližeg zaobalja u kojem paralelno s glavnim tokom teku Odra i Črnec. Upravo takav profil uvjetuje velike poplave Turopolja i Moslavine. Ne mislimo tu samo na površinsko izlivanje savskih voda već i na viši nivo vodnog lica i izrazito složene vodne prilike u porječjima Odre i Črnca, koje su također posljedica takvog oblika doline.

Prema morfološkim, morfometrijskim i morfografskim obilježjima, regionalno možemo izdvojiti dva prostora: prostor: zapadno od Sutle i srednjeg i donjeg toka Krke (prostor južno od gornjeg toka Krke također pripada toj cjelini) i prostor istočno od njih.

Osnovna karakteristika zapadnog dijela je alpski smjer pružanja osnovnih morfoloških jedinica: Posavskih gora, doline Save, Krške zavale i »hribovlja«, koje se nastavlja sjeverno i južno od Posavskih gora. Međutim, granični prostori na istoku i jugu pokazuju već vrlo izrazite prijelazne karakteristike koje se očituju u medvedničkom smjeru pružanja Orlice i južnog ruba Krške zavale (vidi sl. 1.) i dinarskom smjeru pružanja krškog prostora južno od gornjeg toka Krke.

Istočno od Sutle i Krke prevladava medvednički smjer pobrđa i gora, a izuzetak su krajnji južni i sjeverni dijelovi prostora: Vukomeričke gorice dinarskog smjera i zagorski niz Ivančica, Strahinčica, Kuna-gora i Desinička gora alpskog smjera pružanja. Morfološke jedinice koje se mogu izdvojiti jesu: ravnice (prisavska i ravnice u dolinama savskih pritoka), pobrđa (Vukomeričke gorice, Zagorje, Marijagoričko pobrđe, Plješivičko prigorje, Medvedničko prigorje i sjeverozapadno podgorje Medvednice) i gore (Žumberačka gora, Medvednica, Strahinčica, Ivančica, Kuna-gora i Desinička gora).<sup>6</sup>

Vrlo je važan i problem morfologije korita Save jer su promjene u koritu najdinamičnije i od velikog utjecaja na visinu vodostaja. Cijelom

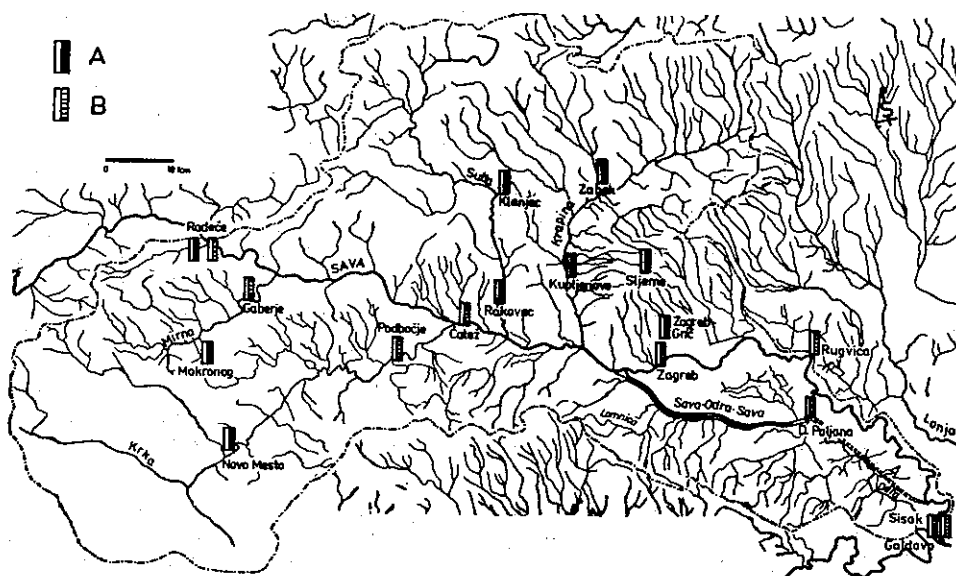
dužinom od Krškog do Siska savsko je korito usječeno u vlastitim nanosima, a od Radeča do Krškog u karbonatnu podlogu. Na cijelom profilu problem vučenog i suspendiranog nanosa nije riješen, a s jaruženjem korita odavno se prestalo. To se moralo odraziti na vodostaj. Kolike su te promjene brojčano izražene vrlo je teško odrediti iz podataka o vučenom i suspendiranom nanosu. Ipak, određeni empirijski zaključci mogu se izvesti. Tako je zamuljivanje i zatrpavanje korita očit proces u uvjetima pojačane erozije i sveopćeg onečišćenja i degradacije čovjekova okoliša. Zato bi trebalo nastaviti s ranijom praksom jaruženja korita koja bi u današnjim uvjetima razvijenije tehnologije mogla dati značajne rezultate.

### Hidrometeorološke karakteristike

Određivanje hidrometeoroloških i hidroloških karakteristika porječja nužno zahtijeva analizu podataka s reprezentativno izabраних kišomjernih i vodomjernih stanica u nizu od najmanje 30 godina. (Hidrografsku mrežu i prostorni raspored reprezentativnih stanica prikazuje slika 3.)

Prilikom izabiranja stanica vodio sam računa o prostornom rasporedu i dužini kontinuiranog motrenja. Nastojao sam izabrati reprezentativne vodomjerne stanice na Savi i njezinim glavnim pritocima, dok su kišomjerne stanice izabrane tako da reprezentiraju porječje glavnih pritoka. Pored toga, bila je bitna i nadmorska visina stanice.

Za visinu vode u tekućici nisu bitni svi klimatski elementi iako ih je teško odvajati zbog njihove izrazite povezanosti i međuovisnosti. Svakako najvažniji meteorološki element su padaline koje, doslovno rečeno, hrane tok, a osim njih po redu važnosti dolaze evaporacija, temperatura, vlažnost zraka i vjetrovi.<sup>7</sup>



Sl. 3. Izabrane kišomjerne (A) i vodomjerne (B) stanice u dijelu savskog porječja između Radeča i Siska.

Fig. 3 Selected rain measuring stations (A) and water measuring stations (B) in the part of the Sava River Basin between Radeč and Siska.

6. Roglić J.: Elementi i dinamika reljefa, Geografski institut PMF-a, Zagreb, 1963.

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

Tablica 3. Broj dana s padalinama i maksimalna visina snijega na izabranim meteorološkim stanicama u periodu 1944—1973. god.

Stanica	Apsolutna visina stanice u m	Broj godina motrenja	Broj dana		Maksim. visina snijega u cm
			s kišom > 10 mm	sa snijegom	
Radeče	230	18	40	41	28
Mokronog	251	27	40	50	38
Novo Mesto	220	28	39	57	45
Klanjec	263	21	36	48	34
Zabok	150	26	33	38	32
Sljeme	1007	30	43	99	69
Zagreb — Grič	157	30	30	38	28
Sisak	98	30	59	42	35

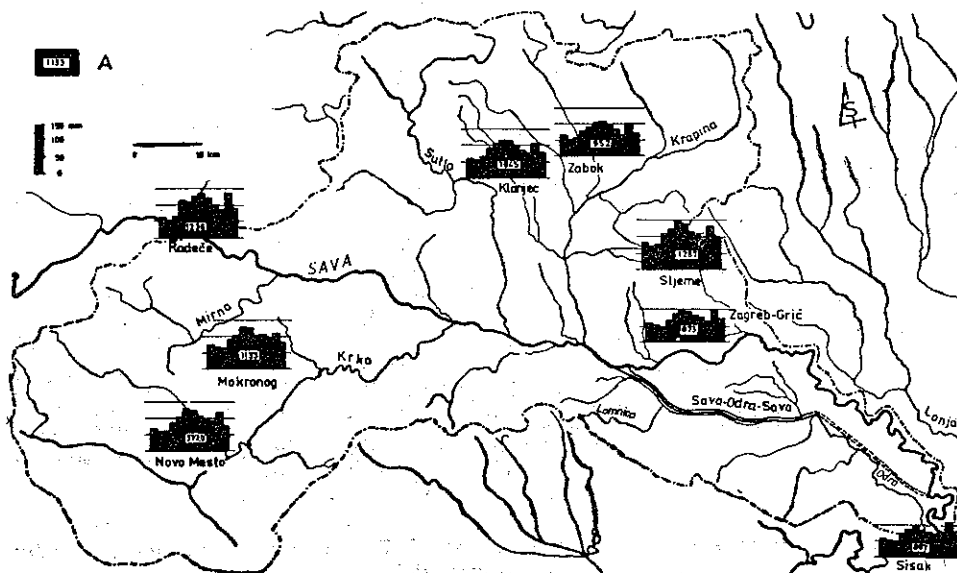
Najvažnije veličine pri promatranju padalina jesu godišnja suma padalina, godišnji hod padalina, broj dana s padalinama većim od 10 mm, maksimalna visina snijega u toku godine i broj dana sa snijegom.

Na osnovu podataka iz tabela 3 i 4, pluviograma na slici 4 i geografske raspodjele padalina na slici 5 mogu se izvesti određeni zaključci o hidrometeorološkim obilježjima prostora.

Gledajući u cjelini, raspodjela i količina padalina u našoj zemlji (prema tome i u promatranom prostoru) ovisi o čestini prolaza ciklona i anticiklona, jer je Jugoslavija pod izmjeničnim utjecajem anticiklona iz subtropskog pojasa visokog tlaka, onih iz područja sjeverno od polarne fronte kao i ciklona s polarne i arktičke fronte. Za količinu padalina važan je dalje razvoj konvekcije u toplom dijelu godine, a od klimatskih faktora (modifikatora) nadmorska visina (odnosno reljef) i udaljenost od Jadranskog mora. Za izdvojeni dio savskog porječja vrlo je važna relativna blizina mora i otvorenost prema Panonskoj nizini. Poznata činjenica, da količina padalina opada s udaljenošću od mora, nije tako jednostavna jer

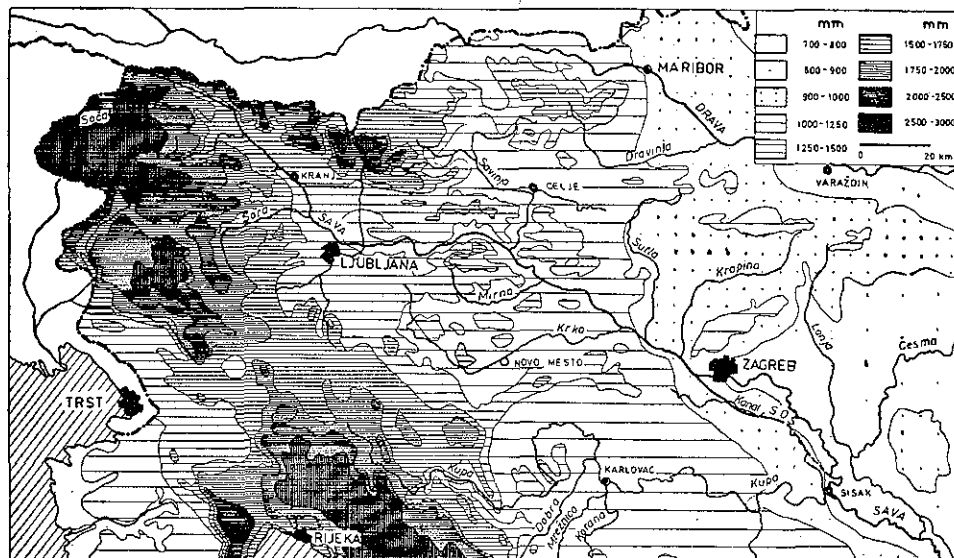
Tablica 4. Godišnja suma i godišnji hod padalina na izabranim meteorološkim stanicama u periodu 1944—1973. god.

Stanica	Srednje mjesečne padaline												Srednje godišnje padaline
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Radeče	65	60	68	119	114	128	138	124	102	89	138	90	1236
Mokronog	73	64	63	88	102	128	123	102	107	92	110	83	1133
Novo Mesto	70	60	61	89	105	128	124	108	98	90	116	79	1129
Klanjec	61	59	64	94	102	115	112	101	86	73	107	76	1045
Zabok	62	50	55	77	88	101	109	96	84	65	100	70	952
Sljeme	81	69	77	104	121	149	139	115	100	88	131	93	1287
Zagreb—Grič	57	49	48	66	84	99	92	80	74	61	96	68	873
Sisak	58	53	47	71	83	91	80	81	71	67	103	76	887



Sl. 4. Godišnji hod padalina u izabranim kišomjernim stanicama u periodu 1944-1973. god. A srednja godišnja padalina.

Fig. 4 Yearly precipitation in selected rain-measuring stations in period 1944-73. A. Average yearly precipitation.



Sl. 5. Godišnja raspodjela padalina u periodu 1931-1960. god. u savskom porječju uzvodno od Siska (Atlas klime SFRJ, Savezni hidrometeorološki zavod, Beograd s. a.)

Fig. 5 Yearly precipitation in the period from 1931 to 1961 in the Sava River Basin upstream from Sisak (Atlas klime SFRJ, Hydrometeorologic Association Bureau, Belgrade, s. a.)

ju znatno modificiraju nadmorska visina i ostali faktori. Kako visina terena opada od sjeverozapada prema jugoistoku, u tom smjeru opada i godišnja količina padalina. Tu pravilnost remete Medvednica (stanica Sljeme 1287 mm) i Žumberačka gora, koje svojom visinom i oblikom povećavaju količinu padalina. Značajno je da i manji reljefni oblici — brda npr. — povećavaju količinu padalina. S druge pak strane, doline rijeke prostori su s manjom količinom padalina (sl. 5).

Broj dana s kišom većom od 10 mm ne pokazuje takvu pravilnost kao godišnja suma padalina i očito je vezana za cirkulaciju atmosfere u većim dimenzijama i veće reljefne oblike. Tu se uočava i modifikatorski utjecaj grada (Zagreb 30 dana, Sisak 59), a godišnji hod dana s padalinama u cjelini podudara se s godišnjim hodom padalina. Na godišnji hod padalina (sl. 4 i tab. 4) bitno utječe udaljenost od mora. Na svim izabranim stanicama uočavamo kontinentski pluviometrijski režim padalina, što znači da veća količina padne u toplom dijelu godine od IV do IX mjeseca. U Sisku je maksimum padalina u studenom, a u svim ostalim stanicama u lipnju ili srpnju. Sekundarni maksimum u tim stanicama je u studenom i upravo je to posljedica blage maritimnosti prostora pod utjecajem Jadranskog mora. Taj utjecaj vidi se i u povećanju padalina u zimskim mjesecima idući prema jugoistoku — stanice Mokronog i Novo Mesto. Sekundarni maksimum u studenom, koji se u apsolutnim vrijednostima približava maksimumu u lipnju ili srpnju, glavni je uzročnik velikih i čestih jesenskih poplava. Sigurno je da negativni utjecaj maksimuma u studenom povećava relativno veća zasićenost tla vodom, smrznutost tla, oskudnija vegetacija i bitno smanjenje evaporacije; sve to utječe na veći indeks otjecanja i stalnu opasnost od poplava. Od

značenja je i činjenica da se u kasnu jesen često javljaju duga i intenzivna kišna razdoblja posljedica kojih je trenutačni porast vodostaja u pritocima i glavnom toku. Takva situacija prethodila je velikim poplavama 1964. i 1974. godine. U prvoj je stradao Zagreb, a druga je značajna po dužini trajanja visokog vodostaja nizvodno od Zagreba, kada je broj dana redovne obrane od poplava u Galdovu trajao neprekidno 27 dana, a izvanredne 17. Pritom treba naglasiti da se dugo i intenzivno kišno razdoblje u tom dijelu godine, koje može izazvati katastrofalne poplave slične onima iz 1974. godine, može javiti svake godine.<sup>8</sup>

Za razliku od jesenskih velikih voda, proljetni povodnji su posljedica kopnjenja snijega i istovremenih obilnih kiša. Kontinuirani porast temperature uzrokuje kopnjenje snijega idući prema toplom dijelu godine. Također i nagli porast temperature u zimskim mjesecima; npr. velike vode krajem siječnja i početkom veljače 1979. godine.

Zbog toga sam razmatrao i slijedeće pokazatelje: broj dana sa snijegom i maksimalnu visinu snijega u toku godine. Svi ranije navedeni faktori koji utječu na količinu i geografsku raspodjelu kiše, utječu i na količinu i raspodjelu broja dana sa snijegom i maksimalnu visinu snijega. Glavni modifikator je nadmorska visina, s njenim povećanjem povećavaju se i spomenute veličine. Osim njih bitan je i utjecaj grada, jer je u Zagrebu 38 dana sa snijegom i maksimalnom veličinom od 28 cm, a u Sisku, kao znatno manjem — gotovo zanemarljivom na takve utjecaje — 42 dana i 35 cm.

Za formiranje proljetnog povodnja važno je je znati koliku će količinu vode dati masa snijega akumulirana u prostoru uzvodno od Galdova. Iako se radi o višegodišnjem prosjeku i prosjeku za čitav dio porječja, pri čemu mogu biti znatna

8. Izvanredne meteorološke i hidrološke prilike u SR Hrvatskoj za vrijeme poplava u rujnu i listopadu 1974.

god. Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske, Zagreb 1974.

odstupanja, rezultat može dobro poslužiti i samom prognoziranju.

Srednja maksimalna visina snijega u izdvojenom porječju iznosi 0,386 m, a prosječni volumen 2 463,45 km<sup>3</sup>. Ako se uzme<sup>9</sup> prosječna gustoća snijega 0,25 g/cm<sup>3</sup> i pomnoži prosječnim volumenom snijega, dobije se količina vode u snijegu od 615,86 km<sup>3</sup>. Ili na osnovu drugačijeg pristupa<sup>10</sup> (pomnoži se visina snijega i gustoća, a rezultat pomnoži sa 10) dobije se količina padalina od 965 mm koja je veća od prosječnih godišnjih padalina Siska, Zaboka i Zagreba. Dobivene srednje vrijednosti ukazuju na mogućnost stvaranja povodnja, a ako se tome dodaju odstupanja i veće količine snijega u prostoru uzvodno od Radeča, mogućnost je još veća.

Prema tome, analiza meteoroloških uvjeta u promatranom prostoru pokazala je da su količina, geografska raspodjela i pluviometrijski režim padalina takvi da mogu u velikoj mjeri i relativno često ugroziti nizinske prostore nizvodno od Krškog.

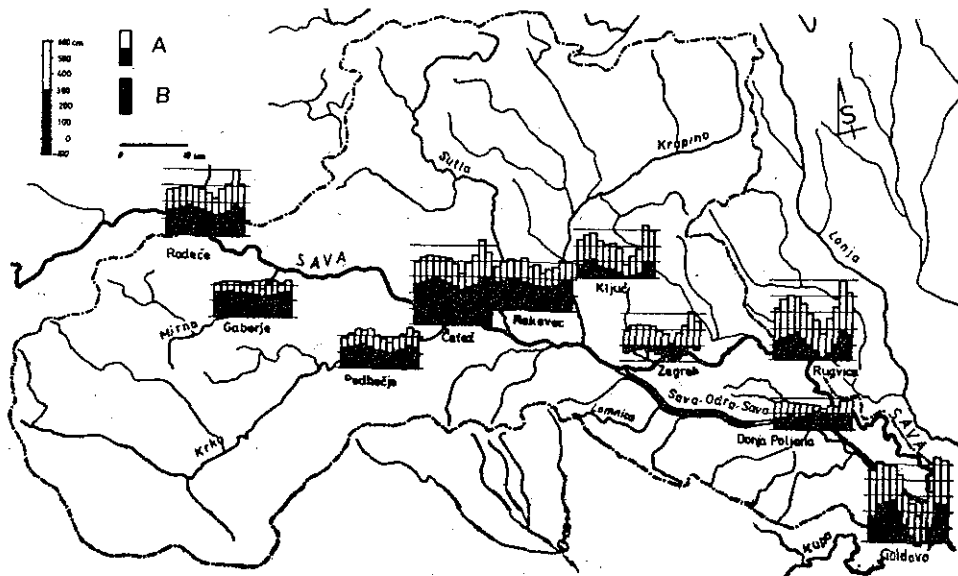
### Hidrološke karakteristike

Hidrološke karakteristike posljedica su svih navedenih karakteristika prirodnogeografske os-

nove i klimatskog kompleksa prostora uzvodno od Galdova. One su, dakle, rezultanta djelovanja tih faktora. Hidrološke veličine se mijenjaju u prostoru i vremenu u vezi s promjenama geografskog sadržaja. Najvažniji faktor promjene je društvo koje svojim konstruktivnim i destruktivnim djelovanjem direktno utječe na hidrološke veličine.

Da bi se ukazalo na osnovna hidrološka obilježja, u razmatranje su uzete osnovne veličine vodostaja i protoka na izabranim vodomjernim stanicama u periodu od 30 godina.<sup>11</sup> Iz podataka o vodostaju i protoku mogu se izračunati brojni pokazatelji od kojih su u razmatranje uzeti slijedeći: prosječni godišnji vodostaji i protoci, godišnji hodovi vodostaja i protoka, specifični dotoci, padaline koje otječu i koeficijenti otjecanja. Izdvojeni pokazatelji dani su i za maksimalne vodostaje i protoke koji se moraju uzeti u obzir zbog specifičnih vodnih prilika.

Režimi Save na reprezentativnim profilima (to vrijedi i za savske pritoke) mogu se odrediti na osnovu godišnjeg hoda vodostaja i protoka i njihovih grafičkih izraza nivograma i hidrograma. Navedeno pokazuju slike 6 i 7. Za određivanje režima korištena je podjela slovenskog geografa S. Ilešiča.<sup>12</sup>



Sl. 6. Nivogrami srednjih (B) i srednjih maksimalnih (A) vodostaja na izabranim vodomjernim stanicama u periodu 1945-1974. god.

Fig. 6 Nivograms medium (B) and moderate maximal (A) water levels at selected water measuring stations in the period 1945-1974.

9. Srebrenović D.: ... op. cit. str. 95.

10. Vujičić-Gamser K.: O ulozi snežnog pokrivača pri prognozi i obrazovanju proletnjeg povodnja, Prvi kongres o vodama Jugoslavije I, 177-181, Beograd, 1969.

11. Sve izabrane stanice nemaju tako dugi period mjerenja vodostaja i protoka pa izračunate srednje vrijednosti mogu dosta odstupati. Iako vodostaj nije veličina relevantna za usporedbu stanja na pojedinim stanicama, on je uzet u razmatranje zbog određivanja režima i stoga što vodostaj mjere sve izabrane stanice. Protok je daleko važnija veličina za usporedbu tokova i izračunavanje ostalih parametara, ali ga nisam uspio dati u odgovarajućem nizu godina za stanice Galdovo i Donja Poljana. Vodomjerna stanica

Galdovo nalazi se nekoliko km uzvodnije od ušća Kupe koja snagom vode usporava tok Save, što se odražava i na vodostaj i na protok, te to nisu podaci od velike vrijednosti za analizu. Vodomjer u Galdovu više je služio za kontrolu plovih prilika, a za to su podaci o vodostaju bili dovoljni. Kako između Rugvice i Galdova Savi ne pritječe ni jedan manji ni veći tok, to podaci s profila u Rugvici mogu poslužiti umjesto podataka za Galdovo. Razlozi neizračunavanja protoka na Odrri u Donjoj Poljani nisu mi poznati, no najvjerojatnije je tome uzrok potpuna nenaseljenost uz tok nizvodno od stanice.

12. Ilešič S.: Rečni režimi v Jugoslaviji, Geografski vestnik 19, 71-108, Ljubljana, 1948.

Obilježja vodostaja i protoka u Radeču ukazuju na kišno-snježni režim umjereno mediteranskog tipa s najvećim vrijednostima srednjeg i srednjeg maksimalnog vodostaja i protoka u studenom, a minimalnog u kolovozu. Sekundarni maksimum javlja se u travnju i posljedica je kopnjenja snijega i proljetnih pljuskova. Maksimume u studenom uvjetuju intenzivne jesenske kiše koje zbog povećanog otjecanja (maksimalnog u toku godine) gotovo trenutačno podižu nivo vode. Značajna je i činjenica da travnjaški maksimum može u pojedinim godinama biti veći od onog u studenom, što je rezultat snježno-kišnog režima uzvodnih savskih pritoka. Ljetni maksimumi nisu u skladu s maksimumima padalina (sl. 4) zbog jake evaporacije, slabog otjecanja i trajanja kiše. Ljetne su kiše najčešće intenzivne, kratkotrajne i prostorno ograničene (padaju iz kumulonimbusa), a to se malo odražava na vodostaju većih rijeka (potoka da!). Tako npr. u kolovozu u protjecanju Save na profilu Radeče sudjeluje samo 35,9% padalina, a u studenom čak 83,4%. Osim evaporacije na te veličine ima utjecaj i suho, vegetacijom bogato tlo koje apsorbira velike količine vode.

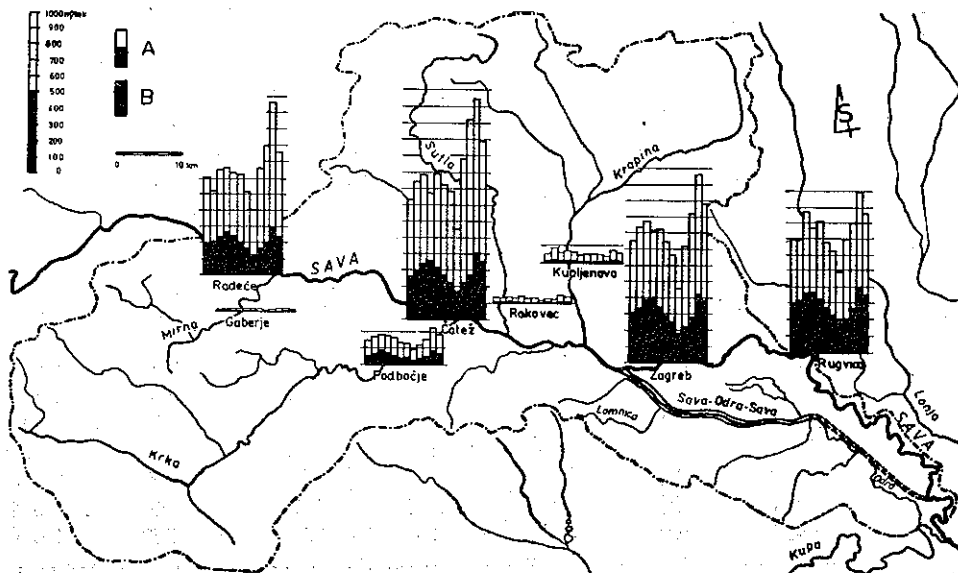
Nizvodno od Radeča mjerenja na stanicama Čatež, Zagreb i Rugvica pokazuju isti režim Save kao i u Radeču; maksimum je u studenom, minimum u kolovozu i sekundarni maksimum u travnju. Izuzetak je Galdovo gdje je maksimum u travnju, a zatim po veličini vodostaja slijede ožujak i studeni, što već upućuje na kišno-snježni režim posavskog ili prijelaznog srednjeevropskog tipa. Sigurno je da se u pojedinim godinama izmjenjuju režimi vodostaja kod Galdova jer srednji najveći vodostaji pokazuju kišno-snježni režim umjereno mediteranskog tipa.

Veći pritoci — Mirna, Krka, Sutla i Krapina — pokazuju prijelaz kišno-snježnog režima prema čistom usmjerenom kontinentalnom režimu, s tim

da se kod Krke i Mirne osjeća jači utjecaj snježnog, a Sutle i Krapine kišnog režima. Maksimumi su u stanicama Gaberje i Podbočje u ožujku, minimumi u kolovozu, dok srednji najveći vodostaji imaju izrazite maksimume u studenom. Vodomjeri na Sutli i Krapini pokazuju takvo stanje vodostaja prema kojem ih možemo ubrojiti u pluvijalne režime umjerenog kontinentalnog tipa (najveći vodostaji idu ovim redom: ožujak, veljača, travanj i studeni).

Interesantno je da 9-godišnji srednji najveći protoci na profilu Kupljenovo na Krapini pokazuju maksimum u veljači. To je jedino odstupanje od maksimuma u studenom koje je zabilježeno na svim hidrometrijskim profilima. Međutim, vodostaji u 25-godišnjem periodu (1944—1968) na istom toku, ali u stanici Ključ, pokazuju maksimum srednje i visoke vode u studenom. To je očit primjer promjene režima Krapine u donjem dijelu toka, najvjerojatnije uvjetovane hidrotehničkim zahvatima.

Daleko najinteresantniji slučaj pokazuju vrijednosti vodostaja u Donjoj Poljani na rijeci Odri. Srednji maksimalni vodostaji ne odstupaju od očekivanih vrijednosti, ali zato hod srednjih mjesečnih vodostaja pokazuje potpuno neočekivano stanje; pokazuje nivo glacijalni režim Odre koji karakteriziraju maksimalni vodostaji u ljetnim mjesecima (srpnju, kolovozu, rujnu i lipnju). Takav režim ne odgovara karakteristikama porječja Odre u kojem je najviša točka terena 244 m. Vodomjer u Vukovini na istom toku, ali nekoliko km uzvodnije, ne pokazuje nikakvih odstupanja pa uzrok toj neočekivanoj pojavi treba tražiti u izrazito neodređenim porječjima Kosnice, Ribnice i Ilovinaka. Pojava se može objasniti jedino podzemnim vezama Save i navedenih tokova. Maksimum srednjih vodostaja Odre javlja se 8 mjeseci poslije savskog maksimuma u Zagrebu, a uzrok je vrlo sporo kretanje podzemnih voda — prosječ-



Sl. 7. Hidrogrami srednjih (B) i srednjih maksimalnih (A) protoka na izabranim vodomjernim stanicama u periodu 1945-1974. god.

Fig. 7 Hydrograms of mean (B) and mean maximal (A) tributaries at selected water measuring stations in the period 1945-1974.



no 2 m na dan. Prema tome, to je još jedan dokaz podzemnih veza Save i Odre.

Nakon razmatranja režima Save i njezinih pritoka može se zaključiti da su režimi velikih voda jednaki na svim hidrometrijskim profilima, maksimalni vodostaji dolaze u studenom, sekundarni maksimumi u travnju, a minimumi u kolovozu. To ne znači, međutim, da se velike vode koje prijetu poplavom javljaju samo u XI i IV mjesecu — one se mogu javiti u toku cijele godine (vidi tab. 5).

Prije analize tab. 5 treba reći da redovna obrana od poplava počinje kod vodostaja 300 cm u Zagrebu, 600 cm u Rugvici i Galdovu, a izvanredna kod 400 cm u Zagrebu i 700 cm u Rugvici i Galdovu. Prema navedenim podacima i podacima iz tab. 7, vidi se da redovne obrane od poplava u Zagrebu nije bilo jedino u kolovozu i travnju, iako su i tada zabilježeni visoki vodostaji. Za kolovoz ta činjenica i ne iznenađuje, ali je neobična za travanj u kojem su zabilježeni sekundarni maksimumi vodostaja. Ta neobičnost upućuje na značajnu varijabilnost velikih voda. Na stanicama u Rogvici i Galdovu redovna je obrana zabilježena u svim mjesecima, a odraz je morfologije korita i jakog zaokreta Save kod Rugvice kao i utjecaja uspora kupskih voda u Galdovu.

Izvanredne obrane od poplava u Rugvici nije bilo samo u veljači, lipnju i kolovozu, a u Galdovu u lipnju, kolovozu i rujnu.

Unutar promatranog razdoblja od 10 promatranih stanica u 5 je zabilježen najveći vodostaj od osnutka stanice. No daleko je važnije da su maksimumi u svim stanicama zabilježeni za vrijeme poplave u listopadu 1964. god., i to u stanicama Rakovec, Ključ, Zagreb, Rugvica i Donja Poljana. Podatak upućuje na mogućnost zajedničkog utjecaja tokova na visoki vodni val Save u promatranom prostoru. Maksimumi su izostali uzvodno od Sutle i u Galdovu, iako je interferencija vodnih valova Kupe i Krke s vodnim valovima Save moguća. To upućuje na činjenicu da se višak vode može formirati unutar izdvojenog dijela porječja iako se glavina vodne mase formira uzvodno od Sutle.

Vrijednosti hidroloških veličina u tablici 6 ukazuju na veliko značenje reljefa, ali i svih ostalih fizičkogeografskih karakteristika porječja. Prosječna količina vode koju Savi zajedno donose Mirna, Sutla i Krapina mala je, za polovinu manja od voda Krke koje se ulijevaju u Savu, iako im je porječje veće za 14 km<sup>2</sup>. To nije samo posljedica smanjenja padalina u porječjima Mirne, Sutle i Krapine već jakih krških izvora koji hrane

Tablica 5. Najveći zabilježeni vodostaji po mjesecima na izabranim vodomjernim stanicama u periodu 1945—1974. god.

Stanica	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	MV	NZV
Radeče	586	576	558	450	626	564	508	564	636	805	614	728	805	825
Čatež	670	622	658	570	700	650	659	608	742	728	707	702	742	760
Zagreb	374	317	382	291	396	322	306	280	429	514	376	486	514	514
Rugvica	828	671	812	716	867	675	768	680	862	944	909	888	944	944
Galdovo	782	721	804	760	784	604	714	676	640	796	755	794	804	845
Gaberje	360	379	349	350	390	340	390	346	347	405	482	400	482	482
Podbočje	290	342	385	346	376	319	386	323	368	392	358	360	392	440
Rakovec	405	495	550	501	535	387	524	383	486	671	506	530	671	671
Ključ	553	515	557	491	543	503	503	346	493	509	590	555	590	590
D. Poljana	328	274	365	352	340	306	282	296	256	385	309	320	385	385

MV — Maksimalni vodostaj u periodu

MZV — Najveći zabilježen vodostaj od osnutka stanice

Tablica 6. Karakteristične hidrološke veličine na izabranim profilima Save i pritoka u periodu 1945—1974. god.

Stanica	$Q_{sr}$ m <sup>3</sup> /sek	q 1/sek/km <sup>2</sup>	V 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	He mm	C %	$Q_{maks}$ m <sup>3</sup> /sek	$q_{maks}$ 1/sek/km <sup>2</sup>	F km <sup>2</sup>	H mm
Radeče	223	31,4	77 037	991	60	2 699	380	7 103	1 645
Čatež	300	29,9	9 467	944	61	3 001	299	10 030	1 545
Zagreb	316	25,4	9 972	801	56	3 140	252	12 450	1 430
Rugvica	301	23,6	9 498	746	53	2 330	183	12 730	1 420
Podbočje	57	27,8	1 805	878	64	490	238	2 056	1 380
Gaberje	4,4	16,4	139	516	43	100	372	269	1 200
Rakovec	8,6	15,3	271	482	48	142	252	563	1 010
Kupljenovo	12,4	9,7	391	306	31	168	131	1 280	1 000

H — Prosječna visina padalina u prostoru koji gra vitira pojedinom profilu.

Krku. Međutim, promatrajući maksimalnu količinu vode koju Savi daju spomenute rijeke (410 m<sup>3</sup>/sek — podatak je nešto i veći jer između stanica i ušća postoji izvjestan broj manjih pritoka), vidi se da je ona približno jednaka količini koju Savi može dati Krka. Zajedno je to velika količina vode koja predstavlja polovinu protoka potrebnog za redovnu obranu od poplava u Zagrebu.

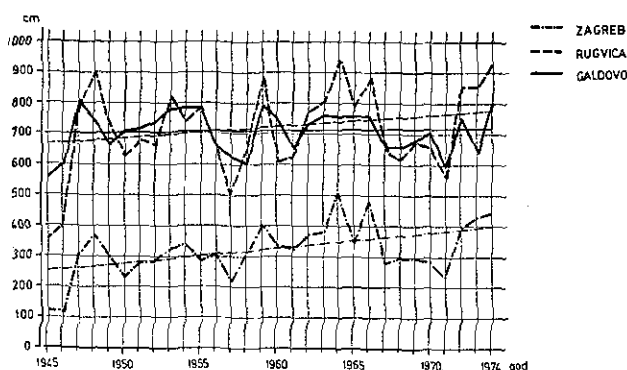
Specifični dotok i koeficijent otjecanja opadaju nizvodno kako opada prosječna visina reljefa, a raste udio nizinskih površina. Jasno, odnos nije tako jednostavan jer na njega utječu još brojni faktori: veličina i oblik porječja, količina padalina itd. Vrlo male vrijednosti parametara u porječju Krapine su neočekivane u uvjetima relativno većeg porječja i posljedica su morfološko-geološko-pedološke strukture prostora koji apsorbira veliki udio padalinskih voda.

Iz tab. 6 vidi se da je protok u Rugvici, srednji i posebno maksimalni, manji nego u Zagrebu iako je Rugvica 30 km nizvodnije. Razlika u protoku gubi se površinskim izlivanjem ili podzemnim putem kojim se hrani izvor Kosnice kod istoimenog naselja. Za vrijeme velikih voda, protok u Rugvici je manji čak i od protoka u Čatežu, što jasno ukazuje na poplavne površine i poniranje vode u debelim šljunkovitim i pjeskovitim naslagama u širem području Zagreba. Tu treba spomenuti i značajno »iscrpljivanje« podzemnih voda u periodu prije poplave za potrebe privrede i stanovništva Zagreba.

Podataka za Odru nema jer se, uostalom, protok na profilu u Donjoj Poljani ni ne izračunava, no generalno se može reći da se napaja podzemnim putem, da često plavi okolni teren i da dolazi do prelijevanja kupskih voda u njezino korito i dalje u nizinske močvarne prostore Odranskog polja.

Osim uočenih fizičkogeografskih karakteristika koje uvjetuju poplavljanje prostora, od početka stoljeća bilježi se kontinuirano pogoršavanje vodostaja, što ionako složene prilike čini još složenijima. Pogoršavanje je izrazitije u Zagrebu i Rugvici nego u Galdovu (sl. 8). Kod Galdova se opet mora spomenuti utjecaj Kupe i velikog kupskog porječja koje u velikoj mjeri ublažava promjene režima. Sada kad se govori o promjeni režima vodostaja, valjalo bi povući vezu između padalina i vodostaja i utvrditi u kolikoj mjeri promjena klime utječe na promjenu i pogoršavanje vodostaja.

U radu »Sekularne fluktuacije padalina u Zagrebu«<sup>13</sup> egzaktno je utvrđena veza padalina i vodostaja na primjeru vodomjerne i kišomjerne stanice Zagreb. Isto tako utvrđene su tri fluktuacije padalina (1882—1937, 1937—1966. i 1966) i, što je vrlo značajno, lagani trend smanjenja padalina. Smanjenje se ne odnosi na zimski period kada se naročito u studenom (nešto manje u si-



Sl. 8. Kretanje najvećih godišnjih vodostaja u periodu 1945-1974. god. na stanicama Zagreb, Rugvica i Galdovo.

Fig. 8 Changes in the highest yearly water levels in the period 1945-1974 at the stations of Zagreb, Rugvica and Galdovo.

ječnju i veljači) osjeća izrazitiji porast padalina. To smanjenje padalina nije u skladu s promjenama vodostaja.

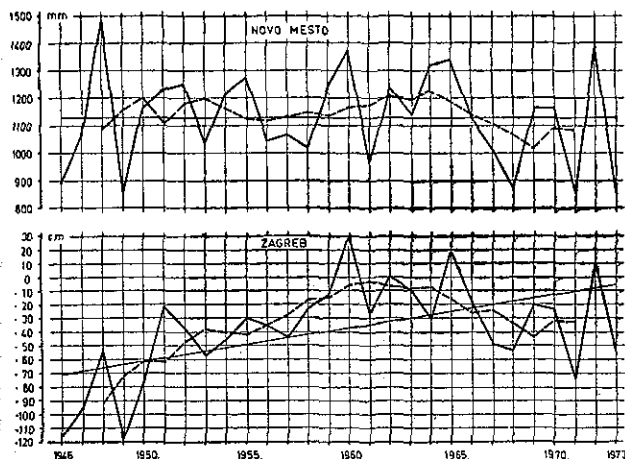
Na slici 9 pokušao sam utvrditi isti odnos padalina i vodostaja na primjeru kišomjerne stanice Novo Mesto i vodomjerne stanice Zagreb. Stanica u Novom Mestu uzeta je kao reprezentativna za prostor uzvodno od Zagreba, u kojem se moraju tražiti uzroci promjena vodostaja na samom profilu Zagreb. Prije usporedbe padalina i vodostaja, treba reći da je vodostaj u Zagrebu odraz padalinskog režima gornjeg toka Save kojeg samo jedna stanica ne može u dovoljnoj mjeri reprezentirati. Vodostaj pokazuje i manju varijabilnost nego padalina jer ovisi o intenzitetu padalina, propusnosti podloge u kojoj se nalazi korito, evaporaciji, profilu korita i postojanju nasipa (T. Šegota 1969). Sve to utječe na vrlo složen odnos između padalina i vodostaja.

Usprkos tome, jasno se vidi povezanost godišnjih srednjaka padalina i vodostaja. Naročito je ta povezanost izrazita u posljednjih 10—15 godina kad se intenzivno uređuju vodne prilike, što dosta smanjuje sekundarne utjecaje na vodostaj. U tom periodu vrlo značajnu korelaciju i kauzalnost pokazuju 5-god. presizajući srednjaci. Međutim, linearni trendovi padalina i vodostaja pokazuju sasvim druge karakteristike. Razvoj količine padalina pokazuje izrazitu stagnaciju, usprkos tome što period 1946—1973. god. pripada dvjema fluktuacijama, a trend srednjih i visokih voda vrlo izraziti porast. Pogoršavanje vodostaja nije, dakle, posljedica promjene klime (ustvari padalinskog režima), iako je povezanost i međuovisnost velika.

Razloge pogoršavanja režima vodostaja u Zagrebu i nizvodnim stanicama treba tražiti u aktivnostima društva, prvenstveno u gradnji nasipa

13. Šegota T.: Sekularne fluktuacije padalina u Zagre-

bu, Geografski glasnik XXXI, 5-35, Zagreb, 1969.



Sl. 9. Korelacija godišnjih količina (puna crta) i 5-god. presizajućih srednjaka (isprekidana crta) padalina i vodostaja u periodu 1946-1973. god. na kišomjernoj stanici Novo Mesto i vodomjernoj stanici Zagreb.

Fig. 9 Correlation of yearly amounts (solid line) and 5-year running means (broken line) of precipitation and water levels in the period 1946-1973 at the rain measuring stations at Novo Mesto and Zagreb.

i općenito u uređenju tokova. Time se smanjuju prirodno pravljene prostori, što ima za posljedicu smanjenja, u sadašnjim uvjetima, pozitivnog efekta retardacije, a odražava se i na sve hidrološke veličine. Na pogoršavanje režima znatno utječe i izdizanje savskog korita kao posljedica sedimentiranja materijala. Proces je očit i dosta dinamičan te mu je nužno posvetiti određenu pažnju. Društvo djeluje i posredno na pogoršavanje vodostaja jer krčenjem i općom degradacijom prirodne osnove potencira erozijske procese koji djeluju na porast otjecanja i vodostaja. Mijenjajući fizičko-geografske karakteristike prostora — u ovom slučaju misli se u negativnom smislu — čovjek mijenja i režim vodostaja.

Kolika je uloga retencijskih prostora uzvodno od Zagreba pokazuju velike vode 100-god. povratnog perioda na hidrometrijskom profilu Zagreb: protok bez retencija bio bi 3650 m<sup>3</sup>/sek. Ako se to prenese na poplavu Zagreba 1964. god., može se zamisliti kakve bi dodatne posljedice izazvao protok od 450 m<sup>3</sup>/sek<sup>14</sup>.

Na osnovu tab. 7 može se zaključiti da je vjerojatnost pojave dosad najvećeg zabilježenog protoka u Zagrebu jedanput u 100 godina. No to ne isključuje mogućnost njegove pojave i ranije.

Kao primjer toj tvrdnji naveo bih vodomjernu stanicu Zagreb u kojoj se vrijednost 10-god. povratnog perioda javila 1973, 1974. i 1979. god., dakle u 7 godina 3 puta, i to dvije godine za redom. Međutim, daleko najizrazitiji primjer pojave potpuno neočekivanih vodostaja zabilježen je u posljednjih nekoliko godina na profilu u Rugvici.

Tablica 7. Maksimalni protoci povratnih perioda i vrijeme koncentracije vodenog vala na reprezentativnim profilima Save u periodu 1926—1965. god. (Srebrenović D.: Problemi velikih voda, Tehnička knjiga, Zagreb, 1970).

Profil	Povratni period			Vrijeme koncentracije vodenog vala
	10 god.	100 god.	1000 god.	
Radeče	2 200	2 870	3 382	97,3
Čatež	2 524	3 026	3 400	110,6
Zagreb	2 415	3 198	3 929	119,2
Rugvica	1 837	2 150	2 351	125,7

Na tom profilu su 1972, 1974. i 1979. god. zabilježeni protoci koji odgovaraju povratnom periodu od 100 godina. Dakle, vrijednosti čija je vjerojatnost pojave jedanput u 100 godina pojavile su se unutar 7 godina 3 puta! Tako izrazito pogoršanje režima protoka u Rugvici ukazuje na velike promjene u savskom porječju uzvodno od Rugvice, a vjerojatno i u samom koritu Save. Ako se vrijednost 100-god. povratnog perioda pojavila u godinama kad se to nije očekivalo s obzirom na vodostaje u Radeču i Zagrebu, teško je predvidjeti kakva će situacija biti kad se i na tim profilima pojave 100-godišnje velike vode. Ta činjenica ide u prilog tvrdnji da opasnosti od poplava u neposrednoj blizini Zagreba postoje i danas.

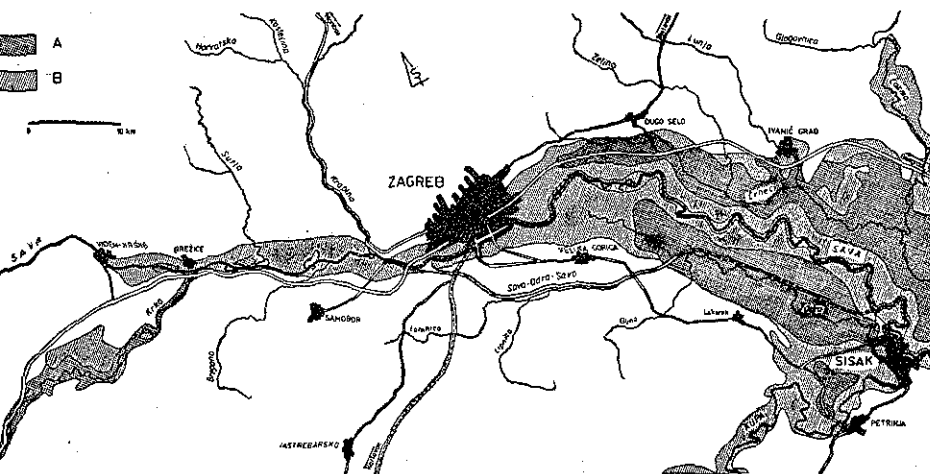
Vremena koncentracije vodnih valova funkcija su veličine, oblika, pada i okršenosti porječja, ali i veličine poplavnih površina. Zato je normalno da se zbog opsežnih melioracijskih radova u posljednje vrijeme vremena koncentracije smanjuju, što je također jedan od uzroka pogoršavanja režima vodostaja.

Na kraju razmatranja hidroloških karakteristika ukazao bih na plavljene površine u dijelu porječja između Radeča i Siska. Uzvodno od Zagreba plavljenih površina ima u porječju Krke (sl. 10), i to uz sam tok u donjem dijelu, u Brežičkom polju i oko ušća Sutle. Nizvodno od Zagreba je površina stalno poplavljanog prostora daleko veća i može se izdvojiti izohipsom 100 m u srednjim i donjim tokovima Odre, Zeline, Črnca i Lonje. To su pretežno samo ekstenzivno iskorištavani nenaseljeni prostori, ali zato potencijalno vrlo vrijedni zbog blizine Siska i Zagreba.

Veće značenje, zapravo odlučno, za izgradnju sigurnijeg sistema obrane od poplava imaju pros-

14. Analiza režima velikih voda Save. Direkcija za Savu,

Zagreb, 1975.



Sl. 10. Plavljeni prostori na izdvojenom profilu između Radeča i Siska.  
A jednogodišnje velike vode  
B stogodišnje velike vode.

Fig. 10 Areas which have experienced flooding in the profile presented between Radeče and Sisak.  
A. One-year high waters  
B. hundred-year high waters.

tori plavljeni u vrijeme izuzetno velikih voda (100 god. velike vode). To su uski prostori uz Savu te Krškog do Zagreba, čitav južni dio Zagreba te široka zona nizvodno od Zagreba sa svim obalnim naseljima: Ivančić-Gradom, Siskom i vrijednim naftonosnim poljima oko Stručeca.

Zbog vrlo značajnih sadržaja koji potencijalno mogu doći ili su za vrijeme najvećeg zabilježenog vodostaja došli pod vodu, cjelovito rješenje obrane od poplava predstavlja nužnost. Na to upućuju i sve fizičkogeografske karakteristike razmatrane u ovom radu.

### Summary

#### BASIC PHYSIO-GEOGRAPHIC CHARACTERISTICS OF THE SAVA RIVER BASIN BETWEEN RADEČE AND SISAK

by  
Stjepan Šterc

In the area downstream from Krško, the Sava River has endangered settlement in the vicinity of the course of the river from time immemorial. Although the situation has changed to a large extent, it cannot be said that the danger of flood no longer exists. The best example of this is the high waters in January 1979 which caused great problems in the protection of Zagreb from flooding and flooded a considerable area. Because of this, it is always interesting and significant to examine physio-geographic characteristics of the areas upstream (primarily) and downstream from Zagreb. The observations were carried out in the part of the Sava River Basin between Radeč and Galdovo near Sisak.

The size of the area observed is 6,382 km<sup>2</sup> and the shape is irregular and narrows downstream. In this profile, the Sava receives only four large tributaries: the Mirna, the Sutla, the Krka and the Kravina. In considering this section of the water basin, it is important to determine the karst section and morphometric characteristics of the area, the size of which directly influences the size of the hydrologic parameters. The karst section of the area under observation totals 12.6% and except for a small area of 8 km<sup>2</sup> in the SW part of Medvednica, it is exclusively upstream from Čatež. The largest section of karst is in the Krka area, approximately 50% of the total.

In Figure 1, the location of the high relief in the marginal parts of the area is clearly seen, and this relief is the watershed of the area. These high mountainous areas are the border of the framework within which precipitated water flows into the Sava as a type of erosion basin. The medium absolute altitude and average incline of the area fall downstream, and the relative fall is greatest between Čatež and Zagreb. According to the morphologic characteristics of the area, we can divide it into two regional entities: the area west of the Sutla including the middle and lower course of the Krka (the area south of the upper course of the Krka also belongs in this entity) and the area east of these.

The hydrometeorologic and hydrologic characteristics are determined according to data at representative selected rain-measuring and water-measuring stations (Fig. 2).

The distribution and amount of precipitation depends on the frequency of passing low pressure and high pressure zones because Yugoslavia is located under the changeable influence of high pressure zones from subtropical high pressure belts and from the northern area there are polar fronts and low pressure zones with polar and arctic fronts. Also of importance are the development of convection in the warm parts of the year, the climatic factors of the altitude above sea level, distance from the Adriatic

Sea and exposure to the Panonian Lowlands. At all stations the continental precipitation regime was recorded and the degree of precipitation falling toward the southeast and medium altitude terrain as well. The maximum precipitation is in June or July except in Sisak where this occurs in November as a result of the mild maritime area. It is very significant that the long rainy season which causes great floods can appear practically every year. Spring floods are the results of melting snow and simultaneous heavy rains.

The hydrologic characteristics are resultant from all the remaining physiogeographic factors in the area. In this work, the water levels and records over a thirty-year period were studied.

According to data from stations in Radeč, Čatež and Zagreb, the Sava with its rain-snow regime can be considered to be of the Mediterranean type. However, data in Galdovo shows a transition towards the same regime, but with traits of or in transition from the Central European type. The larger tributaries — the Mirna, the Sutla, the Krka and the Krpina — show transition rain-snow regimes towards

a pure moderate continental regime, and at the Krka and the Mirna a stronger snow influence is felt, while at the Sutla and Krapina the rain regime is predominant.

Analysis from Table 5 shows the appearance of high waters throughout the entire year, and not only in certain months according to the types of regimes. It can also be noticed that all the flowing water in the observed area can participate in the formation of Sava flood waters.

The critical point in protecting Zagreb from flood is Rugvica, the profile of which can allow almost 1000 m<sup>3</sup>/sec. less water to pass than 30 km. upstream from Zagreb. Because of this, the problem of flood protection is still present today. On the downstream profile from Zagreb it is possible to notice a constant worsening of the water level regime which is not a result of the worsening of the precipitation regime, but constructive and destructive activities of society.

All the cited factors point to the importance of the more rapid construction of a complete, all encompassing system of flood protection in Central Croatia.

#### LITERATURA:

- Dukić D.: Sava-potamološka studija, SAN, Posebna izdanja, knjiga CCLXXV, Beograd, 1957.
- Fričanović M.: Vode zagrebačke regije, Geografski institut PMF-a, Zagreb, 1964.
- Gams I.: Prispevek k klasifikaciji poplavl v Sloveniji, Geografski vestnik 20, 8-13, Ljubljana, 1973.
- Herak M., Nedela-Devide D.: Geologija zagrebačke regije, Geografski institut PMF-a, Zagreb, 1963.
- Ilešič S.: Rečni režimi v Jugoslaviji, Geografski vestnik XIX, 71-108, Ljubljana, 1948.
- Jenko F.: Novi vidici vodoprivrednog rešavanja porečja Gornje Save, Prvi kongres o vodama Jugoslavije 1,446-450, Beograd, 1969.
- Kokole V.: Morfološki razvoj područja med Savo i Sotlo, Geografski vestnik 25, 167-187, Ljubljana, 1953.
- Kovačević P., Kalinić M., Pavlić V. i Bogunović M.: Tla Gornje Posavine, Institut za pedologiju i tehnologiju tla, Zagreb, 1972.
- Kranjc V., Hernitz Z. i Prelogović E.: Strukturno-geomorfološko proučavanje neotektonskih gibanja u dijelu Posavine između Zagreba i Siska te obziri kod planiranja gradnji, Drugi simpozij o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji 2, 163-186, Sarajevo, 1972.
- Melik A.: Hidrografska i morfološki razvoj na srednjem Dolenjskem, Geografski vestnik 7, 66-101, Ljubljana, 1931.
- Miletić P.: Hidrogeološke karakteristike Sjeverne Hrvatske, Geološki vjesnik XXII, 11-16, Zagreb, 1969.
- Miletić P. i Borčić D.: Prilog poznavanju podzemnih voda na području Zagreba, Geološki vjesnik XX, 285-291, Zagreb, 1967.
- Rakovec I.: Morfološki razvoj v območju posavskih gub, Geografski vestnik 7, 1-66, Ljubljana, 1931.
- Ričanović J.: Vode i reljef u regiji Zagreba, Geografski institut PMF-a, Zagreb, 1965.
- Roglić J.: Elementi i dinamika reljefa, Geografski institut PMF-a, Zagreb, 1963.
- Srebrenović D.: Problemi velikih voda, Tehnička knjiga, Zagreb, 1970.
- Šegota T.: Klimatologija za geografe, Školska knjiga, Zagreb, 1976.
- Šegota T.: Sekularne fluktuacije padalina u Zagrebu, Geografski glasnik XXXI, 5-53, Zagreb, 1969.
- Vujičić-Gamsar K.: O ulozi sneznog pokrivača pri prognozi i obrazovanju prolejnog povodnja, Prvi kongres o vodama Jugoslavije, knjiga I, 177-181, Beograd, 1969.
- Atlas klime SFRJ, Savezni hidrometeorološki zavod, Beograd, s. a.
- Analiza režima velikih voda Save, Direkcija za Savu, Zagreb, 1975.
- Geografija SR Hrvatske I i II, Školska knjiga, Zagreb, 1974.
- Geologija i hidrologija sliva rijeke Save, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 1973.
- Hidrološka studija reke Save. Savezni hidrometeorološki zavod, Beograd, 1969.
- Hidrološka studija reke Save, Institut za vodoprivredu »Jaroslav Černi«, Beograd, 1974.
- Hidrotehnička problematika Srednjeg Posavlja, 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.
- Prikaz studije regulacije i uređenja reke Save u Jugoslaviji (konačni izveštaj), Direkcija za Savu, Zagreb, 1977.

#### IZVORI PODATAKA

- Hidrološki godišnjaci. Savezni hidrometeorološki zavod, Beograd, 1945. do 1974. god.
- Izveštaji o padavinama. Savezni hidrometeorološki zavod, Beograd, 1943-45, 1946-47. i 1948. god.
- Meteorološki godišnjaci. Savezni hidrometeorološki zavod, Beograd, 1944. do 1973. god.
- Vijesti Radio-Zagreba. Zagreb, 1. II 1979. god.