

## VISOKOVODNI VALOVI V ODVISNOSTI OD PADAVIN, VEGETACIJE IN PREDHODNE NAMOČENOSTI ZA REKO SAVINJO

Bogdan LALIĆ

Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, Ljubljana

### SUMMARY

Flood - discharge hydrographs, as well as the relevant precipitation charts of a large number of flood situations on the river Savinja were processed for the gauging stations at Laško and Nazarje. The basic hydrological characteristics of each flood wave (peak discharge ( $Q$ ), surface runoff volume, mean amount of precipitation (which was the cause of the flood wave), and the antecedent precipitation index (API)) were determined.

The most frequent range of the average surface runoff coefficient  $C$ , being one of the characteristic indicators for the type of drainage basin, was determined on the basis of the processed data. The vital factors influencing the average range of the direct surface runoff coefficient were accounted for. It became evident that for this basin the antecedent precipitation index was not the best indicator for the initial hydrological condition (state of wetness of the soil at the start of rainfall). A selective demonstration showing the influence of the former state of wetness, as to the season, was thus not possible. The best results (good correlation between the total storm rain and the flow increase  $DQ$ ) were obtained on considering the initial flow ( $Q_i$ ).

The good correlation between the flow increase ( $DQ$ ) and net storm rain served for the determination of the range values, which are of great value to the experienced hydrologist for forecasting the peak discharge on the basis of the forecasted precipitation.

### POVZETEK

Za večje število visokovodnih situacij na reki Savinji, smo za v.p. Laško in Nazarje obdelali hidrograme visokih vod s pripadajočimi padavinskimi situacijami. Za vsak val smo določili osnovne hidrološke karakteristike (konica visoke vode ( $Q_{vk}$ ), volumen vala direktnega (hitrega) odtoka, povprečno količino padavin (ki so na povodju povzročile visokovodni val), indeks predhodnih padavin (IPP)).

Na podlagi obdelanih podatkov smo ugotovili najpogostejši razpon povprečnega koeficienta direktnega odtoka  $C$ , ki je eden karakterističnih pokazateljev tipa povodja. Prikazali smo glavne dejavnike, ki vplivajo na velikost povprečnega koef. dir. odtoka. Pri tem se je pokazalo, da na obravnavanem povodju indeks predhodnih padavin (IPP) ni najboljši kazalec začetnega hidrološkega stanja (vpliv predhodne namočenosti). Predviden

selektiven prikaz vpliva predhodne namočenosti glede na letni čas tako ni bil možen. Najboljše rezultate (dobra korelacija med bruto padavinami in porastom pretoka DQ) smo dobili z upoštevanjem začetnega pretoka (Qz).

Na podlagi ugotovljene dobre korelativne povezave med porastom pretoka DQ in neto padavinami, smo dobili okvirne vrednosti, ki so izkušenemu hidrologu v precejšnjo pomoč pri izdelavi prognoze porasta visoke vode na podlagi prognoziranih padavin.

## 1. UVOD

Osnovni namen prispevka je prikazati čim večje število obdelanih podatkov, ki se (HMZ RS) zbirajo in hranijo že vrsto let. V dosedanjih hidroloških analizah so se namreč v glavnem delale obdelave, pri katerih je vhodni podatek srednja dnevna vrednost, oziroma mesečni ekstrem.

Kompleksnejši hidrološki modeli, katerih vhodni podatki so urne vrednosti, se navadno umerjajo na manjšem številu primerov. Naša želja pa je bila obdelati čim večje število visokovodnih situacij, ter jih sortirati glede na vegetacijsko in nevegetacijsko obdobje (vpliv retenzije in evapotranspiracije) in predhodno namočenost (deficit vlage v zemljišču). Iz tako sortiranih podatkov smo želeli analizirati vpliv posameznih komponent, in rezultate, kolikor se bodo pokazali uporabni, uporabiti v vsakodnevni hidrološki prognostični službi. Ker se je indeks predhodnih padavin (IPP) na našem povodju izkazal kot nezanesljiv kazalec začetnega hidrološkega stanja (vpliv predhodne namočenosti), analiza vpliva predhodne namočenosti glede na letni čas ni bila možna.

Pri izbranem načinu obdelave visokovodnih situacij smo se izognili problemu poznavanja drugih parametrov, ki vplivajo na režim odtoka (geologija in pedologija povodja, topografske in agrokulturne karakteristike).

Povodje reke Savinje smo izbrali iz več razlogov:

- Kot najmočnejši pritok reke Save lahko Savinja ob nastopu visokih vod (nižje od pritoka reke Savinje) prispeva tudi prek 40% pretoka k visokovodni konici, ki nastopi na v.p. v Radečah. V analizi katastrofalne povodnji leta 1990, smo ugotovili, da je imela reka Savinja nadpovprečno visok koeficient direktnega (hitrega) odtoka.
- izredno hudourniški značaj vodotoka. Porast od zelo nizke vode (v spodnjem toku) na ekstremno visok pretok lahko nastopi v manj kot 12. urah.

## 2. IZBIRA IN PRIPRAVA PODATKOV

Pri analizi smo se omejili na relativno kratek niz 1977 - 1990, ker so podatki o padavinah računalniško zbrani le za to obdobje. Ker so večino maksimalnih visokovodnih porastov povzročile manj kot 24-urne padavine, smo se omejili na take hidrološke situacije. Primere, kjer je porast visoke vode povzročilo dolgotrajnejše deževje (val je naraščal počasneje in s presledki), smo izločili. Enako velja za primere, kjer so zabeležene enodnevnne padavine povzročile sestavljen val (kvantitativna razdelitev take padavine je na enostaven način nezanesljiva, saj na celotnem povodju obstajata le dve ombrogrfski postaji). Prav tako smo izločili situacije, kjer je prišlo do tajanja snežne odeje, oziroma so padavine, ki so povzročile obravnavani porast visoke vode, prešle v sneg. Obdržali pa smo valove, kjer je bila časovna prekinitev padavin malo daljša (nastop več zaporednih valov hkrati) in se je dalo ugotoviti, da so enodnevnne zabeležene padavine vplivale le na posamezen val. V takih primerih je možno val z zadovoljivo natančnostjo razdeliti na dve ločeni enoti (glej primer na sliki 2). Bistvenega pomena je torej možnost določitve padavin, ki vplivajo na posamezen val.

Osnovna zahteva je bila torej obdelava čim bolj homogenih podatkov. Z razdelitvijo sestavljenih valov na posamezne, smo prišli do med seboj precej podobnih valov, ki so po zunanjem videzu podobni hidrogramom, ki bi jih dobili pri uporabi teorije hidrograma enote (Sherman, 1932), pri katerem je časovna enota en dan. Ker smo primere z izredno spremenljivo intenziteto padavin (sestavljen val zaradi 24 urnih padavin) izločili, smo dosegli dobro kvalitativno podobnost. (Dobra kvantitativna podobnost bi pa bila dosežena šele z uporabo bistveno krajše časovne enote (npr. ena ura), saj mora po teoriji hidrograma enote pasti v časovni enoti enakomerna padavina z izbrano intenziteto enotnega naliva (npr. 10 mm).)

## 3. IZBIRA PROGNOŠTIČNEGA MODELA IN IZRAČUN GLAVNIH KARAKTERISTIK VISOKOVODNIH VALOV

Za prognozo odtoka z določenega povodja je potrebno izbrati obliko modela z optimalnim številom glavnih parametrov, ki vplivajo na odtok. Enaka količina padlih padavin lahko namreč povzroči povsem drugačne odtočne situacije. Zato je osnovni problem določiti izgubo bruto padavin. Le-ta se lahko določa na različne načine (deficit vlage zemljine, infiltracija zemljišča, indeks predhodne vlažnosti zemljišča, indeks predhodnih padavin ...). Pri tem je določitev začetnega hidrološkega stanja, to je stanja, ko so se začele intenzivnejše padavine, ki so povzročile močnejši porast vod na nekem povodju, ključni problem.

Enostavnejši prognostični modeli skušajo določiti neto (efektivne) padavine (to je

volumen direktnega odtoka) s štirimi parametri (Wilson, 1983; Jovanović, 1975). Za tak model velja, da so neto padavine odvisne od naslednjih štirih parametrov: bruto padavine (Pbruto), indeks predhodnih padavin (IPP), čas trajanja dežja (Td), letni čas (Ns) (vpliv stanja vegetacije na povodju in klimatskih karakteristik področja), kar lahko na kratko zapišemo:

$$P_{neto} = f(P_{bruto}, IPP, T_d, N_s)$$

Ker funkcijska odvisnost ni linearna, je v praksi pogosta uporaba grafičnega prikaza medsebojne povezanosti med zgoraj opisanimi parametri.

Zaradi že omenjenega dejstva, da so večino maksimalnih visokovodnih porastov povzročile manj kot 24-urne padavine, smo parameter časa trajanja dežja (Td) vzeli kot konstanto in redke primere, kjer je bil ta čas daljši od 24 ur, kot že omenjeno, izločili.

Z obdelavo podatkov v istem letnem času (Ns=konst.) se model zelo poenostavi, saj ostanejo neto padavine odvisne le še od dveh parametrov:  $P_{neto} = f(P_{bruto}, IPP)$

To zelo poenostavi možnost grafičnega prikaza medsebojne (trodimenzionalne) povezanosti.

### 3.1 RAČUN SREDNJE KOLIČINE BRUTO PADAVIN NA POVODJU

Zaradi obdelave velikega števila padavinskih situacij, smo za izračun srednje količine padlih padavin na povodju uporabili metodo Thiessenovih poligonov (Thiessen, 1911), ki je pri takih obdelavah najbolj razširjena metoda. Če je število dežemernih postaj na povodju dovolj veliko (v našem primeru je), metoda ne daje bistveno slabših rezultatov od točnejše metode konstruiranih izohiet. Glavna pomanjkljivost uporabljene metode je, da v našem primeru v višjih legah ni dežemernih postaj, metoda sama pa ne upošteva topografije.

Vse čase trajanja padavin smo preverili s pregledom ombrografskih podatkov, in primere, ki so odstopali od sprejete zahteve, izločili. (Ponavadi se že iz hidrograma vidi, ali je porast vode povzročila več kot 24-urna padavina.)

### 3.2 RAČUN SREDNJE KOLIČINE NETO PADAVIN NA POVODJU

Neto padavine smo preračunali iz hidrogramov direktnega odtoka. Hidrogram celotnega odtoka smo razdelili na dva dela: hidrogram direktnega (hitrega) odtoka (površinski odtok + hitri podpovršinski odtok) in hidrogram baznega odtoka (podzemni odtok + zakasneli podpovršinski odtok). Čas konca visokovodnega vala (To (glej sliko 1) je čas, ki je potreben, da preneha direktni odtok.) smo določili z grafom s semilogaritmično razdelbo (Wilson, 1983).

Pri določitvi upadajočega dela hidrograma direktnega odtoka je bilo potrebno izločiti sekundarni val, ki so ga povzročile naknadne padavine na že upadajoči del primarnega

visokovodnega vala (slika 2). Pri tej določitvi je ključni problem določitev pretoka ( $Q_{kon}$ ) na koncu visokovodnega vala, to je baznega pretoka, ki bi nastopil, če po 24-urnih padavinah, ki so povzročile porast visoke vode, ne bi prišlo do dodatnih padavin (dokler ne preneha površinski odtok). Vse te pretoke ( $Q_{kon}$ ) smo določili z diagramom (porast bazičnega odtoka v odvisnosti od konice vala  $Q_{vk}$ ), ki smo ga dobili z upoštevanjem tistih visokovodnih valov, pri katerih v času  $T_u$  pred porastom vala in po njem ni bilo nobenih padavin (slika 1).

Na osnovi podanega smo izračunali povprečni odtočni koeficient direktnega odtoka (C), ki je razmerje med volumnom vode hidrograma direktnega odtoka (neto padavine) in bruto padavinami. Odtočni koef. direktnega odtoka se med celim letom spreminja. Predvsem se intenzivno spreminja v času porasta visokovodnega vala. Zato govorimo o njegovi povprečni vrednosti, ki jo izračunamo za vsak posamezen val posebej. Na hitrejši dvig C-ja bistveno vpliva močna predhodna namočenost terena (oziroma predhodne padavine) in letni čas, ko sta retenzija vegetacije in evapotranspiracija čim manjša.

### 3.3 RAČUN INDEKSA PREDHODNIH PADAVIN (IPP)

Indeks predhodnih padavin (IPP) se določi na osnovi padavin, ki so padle v zadnjih 30 - 45 dneh pred padavinami, ki so povzročile obravnavani porast odtoka visoke vode (Wilson, 1983; Jovanović, 1975).

Za izračun IPP se najpogosteje uporablja naslednja enačba:

$$IPP = \sum_{t=1}^N K^t P_t$$

kjer pomeni  $P_t$  srednjo 24-urno količino bruto padavin, ki so na povodje padle v t dneh pred padavinami, ki so povzročile obravnavani porast visoke vode. Vrednost  $K^t$  je funkcija časa t. Pri tem je konstanta K funkcija fizičnogeografskih, klimatskih in drugih karakteristik povodja. Pri tem je potrebno ugotoviti optimalno vrednost konstante K, ki se navadno išče v območju med 0.85 in 0.98. Pri tem se vpliv letnega časa (evapotranspiracija) lahko upošteva, pri čemer se konstanto K med letom spreminja (Wilson, 1983). V našem primeru spreminjanje konstante K ni bilo smiselno, saj se je kljub sortiranim visokovodnim situacijam po letnih časih izkazalo, da za povodje Savinje IPP ni preveč dober kazalec začetnega hidrološkega stanja.

### 4. OPIS REZULTATOV IN NJIH UPORABNOST

Kako pomembno je določiti začetno hidrološko stanje (predhodna namočenost terena v določenem letnem času), je razvidno iz slike 4, kjer vidimo, da lahko enaka količina bruto

padavin povzroči tudi prek 4-kratno razliko v porastu pretoka DQ. Povdariti moramo, da je tu poleg začetnega hidrološkega stanja skrit tudi vpliv različne časovne razporeditve intenzitete obravnavanih 24-urnih padavin, ki ga nismo analizirali. Da je vpliv intenzitete nasproti vplivu začetnega hidrološkega stanja sekundarnega značaja, je razvidno iz slike 5, kjer je začetno stanje vsebovano v izvrednotenih neto padavinah. Prikazana medsebojna soodvisnost je precej močnejša. Ob pravilni prognozi neto padavin je tako maksimalno odstopanje le še do 25%, v povprečju pa 14%. Ob predpostavki, da so podatki točni, lahko to odstopanje pripišemo različno razporejeni intenziteti obravnavanih 24-urnih padavin, katere posledica je različna hitrost porasta visoke vode in tudi različen vpliv koincidence konic valov rečnih pritokov ob vodi navzgor.

Iz korelacije med porastom pretoka DQ in neto padavinami za v.p. Laško (slika 5), se lahko sklepa, da se pri pretoku Savinje nad 800 m<sup>3</sup>/s začnejo večja razlivanja na delu njenega gornjega toka. Na račun povečevanja poplavnih območij preide linearna korelacija med neto padavinami in porastom pretoka DQ v parabolo (sploščitev konice vala). Iz diagrama odčitamo, da je ob ujmi iz leta 90 to pomenilo ca. 200 m<sup>3</sup>/s nižjo konico vala oziroma v takrat poplavljenem Laškem več kot 3/4 m nižjo gladino vode.

V nadaljnjem postopku smo vse situacije zajetih visokovodnih valov prikazali v odvisnosti med bruto in neto padavinami ob upoštevanju velikosti IPP (slika 6). Že na prvi pogled je razvidno, da je povezava med bruto in neto padavinami v odvisnosti od IPP slabo izražena. Glede na to smo isti postopek uporabili v prikazu odvisnosti med bruto in neto padavinami v odvisnosti od začetnega pretoka Qz (slika 7). V tem primeru se pokaže trdnejša medsebojna povezanost, na osnovi katere smo lahko celotno območje točk visokovodnih valov razdelili na 5 sektorjev. Pri tem je sektor št.1 območje, kamor padejo točke visokovodnih valov z zelo majhno predhodno namočenostjo (minimalna ovojnica velja za situacije, ko je bila pred nastopom porasta pretoka DQ suša oz. zelo majhen Qz). Sektor št.5 je območje, izredne predhodne namočenosti. Zunanja meja sektorja in hkrati celotnega območja je premica, ko je odtočni koef. dir. odtoka C=1.0. Glavnina obdelanih valov se nahaja v prvih treh sektorjih. V 4. sektorju se v glavnem nahajajo sestavljeni valovi in to sekundarni valovi, ki so v kratkem (ena- do dvo- dnevem) časovnem zamiku nastopili na še vedno visok upadajoči del direktnega odtoka visokega primarnega visokovodnega vala (2 primera sta prikazana na sliki 2).

Na podlagi zgoraj opisane analize lahko zaključimo, da nam IPP, ki se kot eden od indikatorjev začetnega hidrološkega stanja uporablja tudi v bolj zahtevnih matematičnih (računalniških) modelih, ne daje zadovoljivih rezultatov v primerjavi z upoštevanjem uporabe začetnega pretoka. Ker je samo IPP preslab indikator začetnega hidrološkega stanja, nam tudi sortiranje obdelanih visokovodnih valov glede na letni čas, katerega smo izdelali, da bi ločeno prikazali vpliv vegetacije, ni dalo željenih rezultatov.

V nadaljnjem smo dobljene rezultate skušali uporabiti za hitro prognozo visokih vod reke Savinje. V ta namen smo uporabili zakonitosti iz slik 5 in 7 in prikazali medsebojno odvisnost med bruto padavinami in porastom pretoka DQ v odvisnosti od začetnega pretoka Qz (slika 8).

Za testiranje uporabnosti smo prognozirali konico vala za nekaj visokovodnih valov, ki jih v obdelavi nismo zajeli. Pri tem smo dobili vrednosti, ki so povsem zadovoljive (tabela 1), saj je povprečno odstopanje med dejansko (Q<sub>vk</sub>) in prognozirano konico visoke vode (Q<sub>vkp</sub>) za v.p. Laško 11%, za v.p. Nazarje pa 13%.

## 5. ZAKLJUČEK

Prispevek zajema obdelavo večjega števila visokovodnih valov reke Savinje na v.p. Laško in Nazarje in prikazuje medsebojno odvisnost med 24-urnimi bruto in neto padavinami ter porastom visokovodnega vala DQ. Pri tem se je pokazalo, da je za opis začetnega hidrološkega stanja (samo z enim parametrom) namesto IPP mnogo boljša uporaba začetnega pretoka Qz. Določitev začetnega hidrološkega stanja je pomembna tudi za katerikoli kompleksnejši model prognoze visokih vod. V bližnji prihodnosti se bo izdelovala prognoza samo še s takimi modeli, ki pa za zdaj v naši vsakodnevni hidrološki praksi ne morejo najti pravega pomena, saj jih zaradi pomanjkanja potrebnih trenutnih podatkov (osnovni vhodni podatek so vsako uro izmerjene enourne padavine; za izdelavo časovno daljnosežnejše prognoze visoke vode pa se lahko doda še kratkoročno vremensko prognozo (upr. 6-urna.) lahko uporabljamo predvsem za analizo preteklih situacij.

Rezultate, do katerih smo prišli z opisanim pristopom, smo stestirali na nekaj primerih in pri tem ugotovili, da jih lahko uporabimo v vsakodnevni prognozi. Izkušen hidrolog - prognostik precej dobro ve, kakšno je trenutno (začetno) hidrološko stanje. S poznavanjem začetnega pretoka Qz lahko izbere pravi segment v diagramu DQ-bruto padavine (slika 8) in tako prognozira porast visoke vode.

## 6. LITERATURA

- E. M. Wilson: Engineering Hydrology; third edition 1983
- Dr. S. Jovanović: Parametarska hidrologija; Beograd 1975
- D. Srebrenović: Primijenjena hidrologija; Zagreb 1986
- A.H. Thiessen: Precipitation for large areas. Mounthly Weather Rev. vol.39, 1911

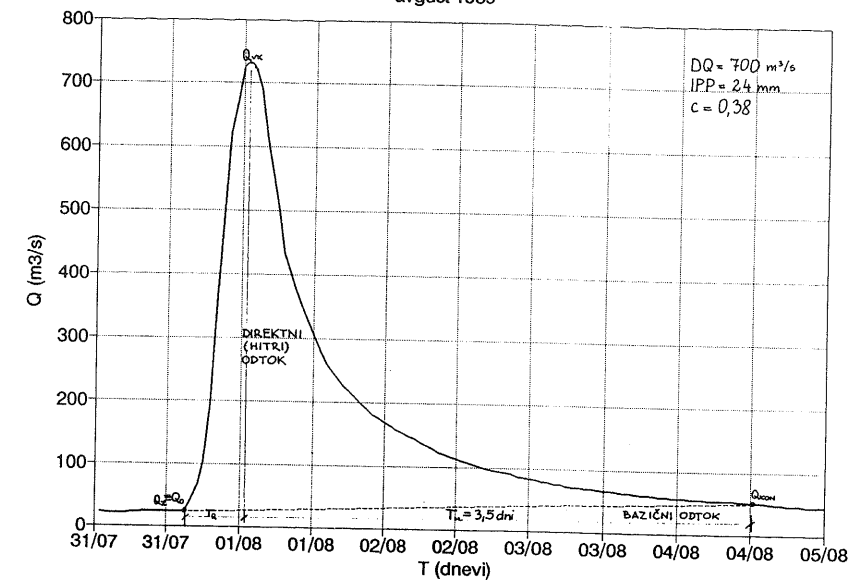
TABELA 1: primerjava rezultatov med dejanskim (DQ) in prognoziranim porastom pretoka (DQp) v Laškem na Savinji

datum	Qvk	Qz	Pbruto	DQ	DQp	Qvkp	napaka
DD.MM.LL	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
16.05.61	395	18	58	377	280	298	25
29.07.61	530	25	66	505	400	425	20
05.07.65	533	25	68	508	440	465	13
30.11.65	573	100	51	473	470	570	1
23.06.73	488	12	70	476	380	392	20
17.10.73	600	47	63	553	520	567	5
07.11.73	442	23	70	419	450	473	7
30.06.74	600	17	79	583	550	567	5
25.09.74	395	62	43	333	310	372	6
05.10.74	800	56	80	744	770	826	3

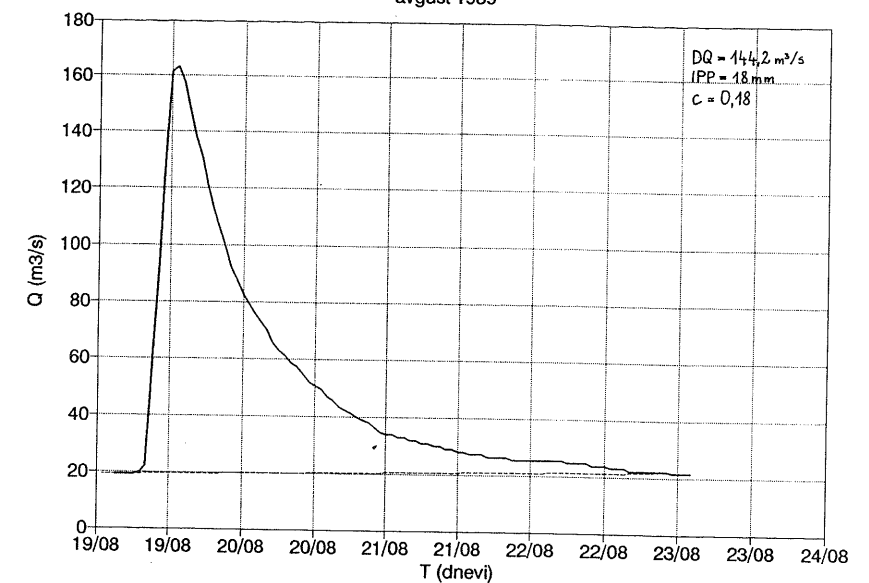
Legenda:

- (1) Datum nastopa visokovodne konice vala (Qvk)
- (2) Konica vala - največji pretok
- (3) Začetni najnižji pretok visokovodnega vala, preden je le-ta začel naraščati
- (4) Bruto padavine: srednje dnevne 24-urne padavine na povodju
- (5) Porast pretoka, povzročen od zadnjih 24-urnih padavin:  
 $DQ = Qvk - Qz$
- (6) Prognozirani porast pretoka (uporaba diagrama - slika 8)
- (7) Prognozirana konica vala:  $Qvkp = DQp + Qz$
- (8) procent odstopanja:  $abs(1 - Qvkp/Qvk)$

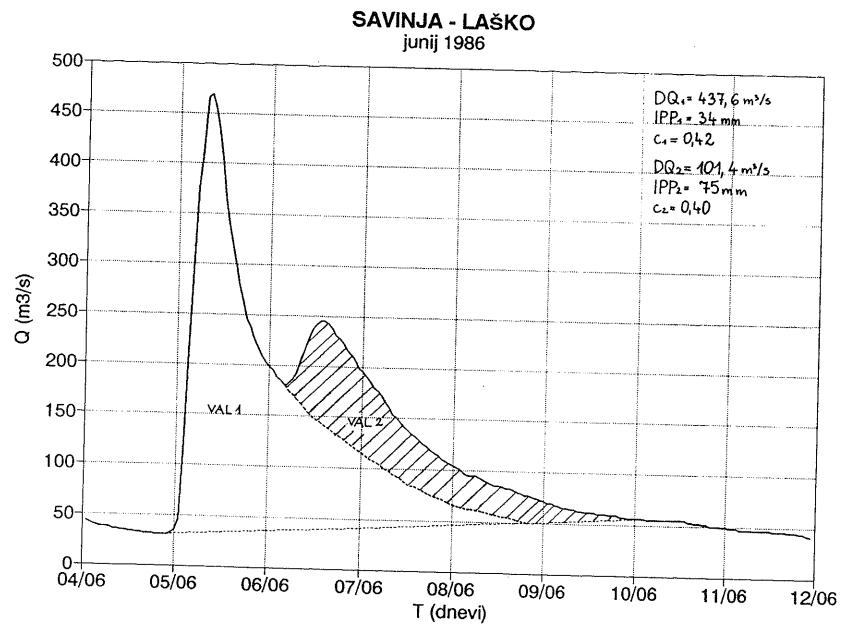
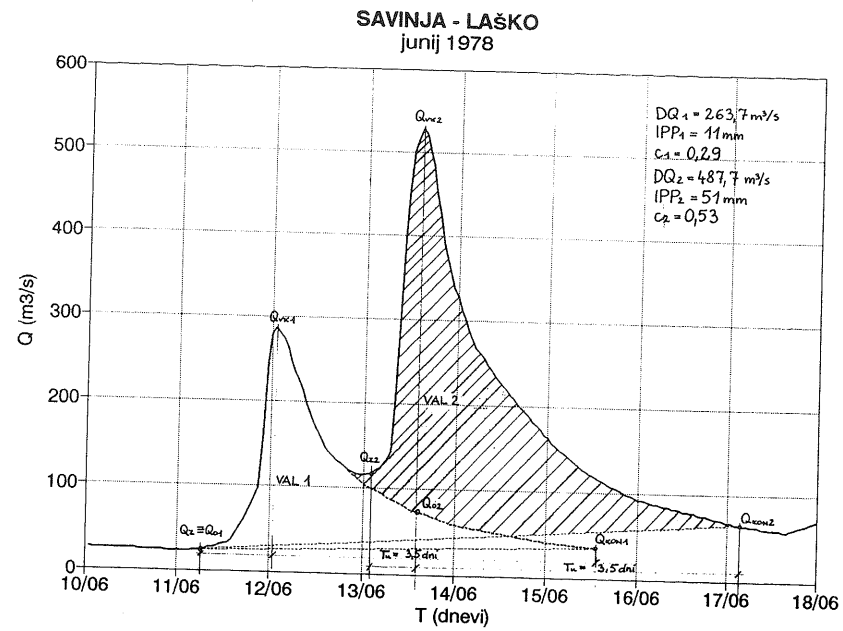
SAVINJA - LAŠKO  
avgust 1989



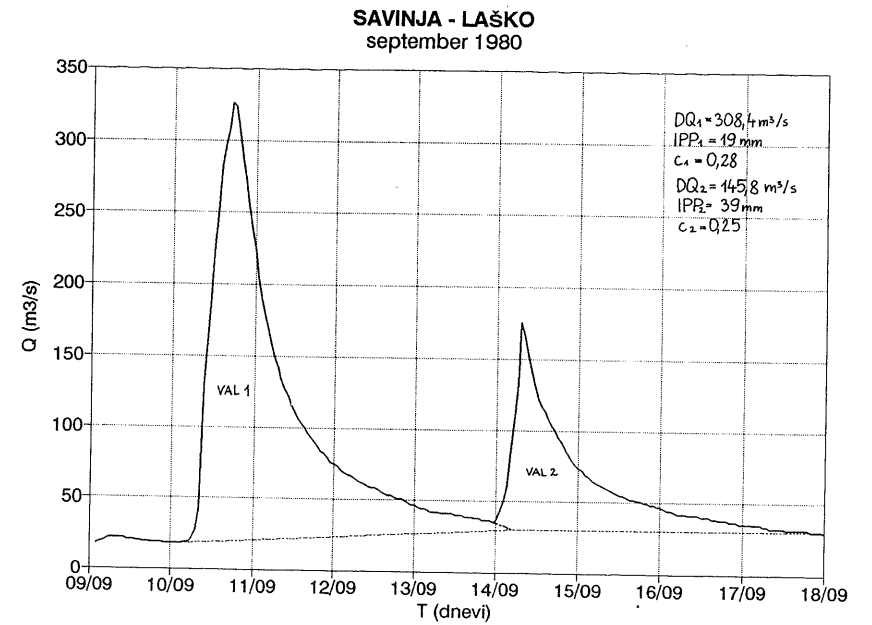
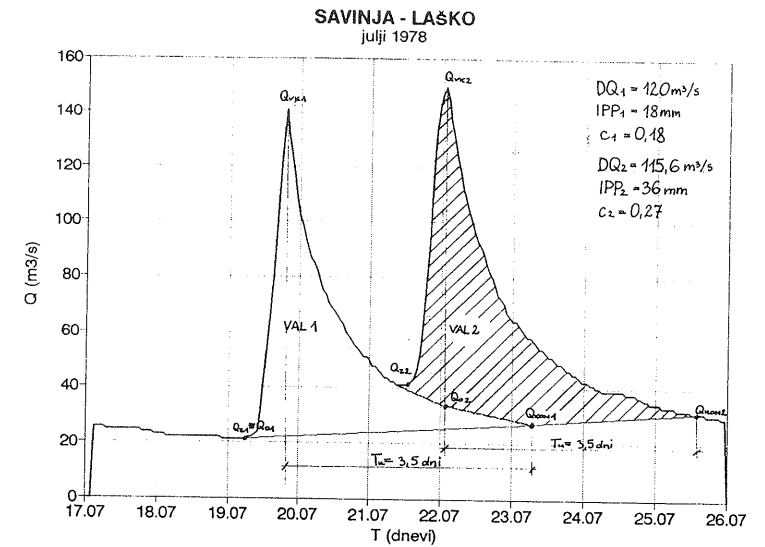
SAVINJA - LAŠKO  
avgust 1989



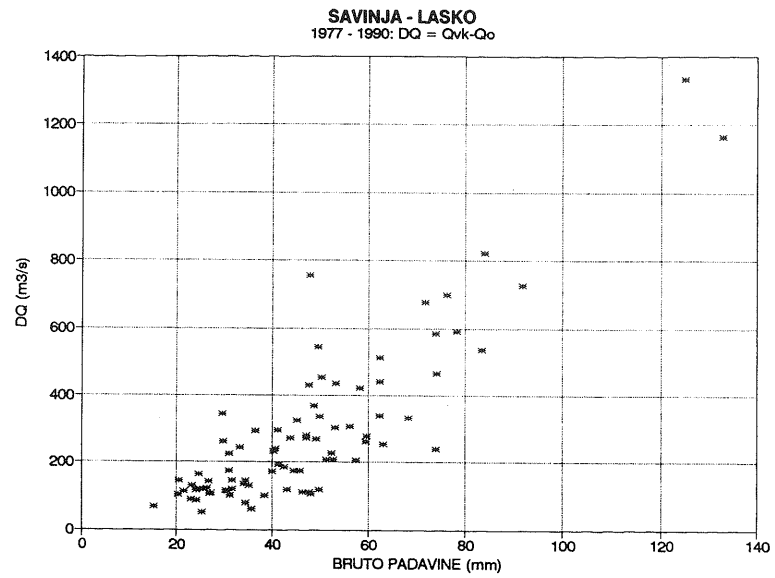
Slika 1: hidrogram visokovodnega vala z nizko in visoko konico



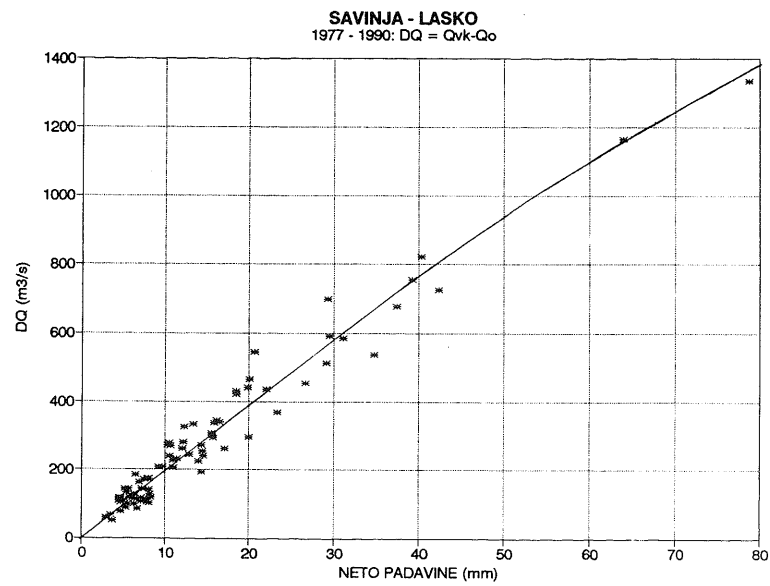
Slika 2: hidrogram dvojnega vala, kjer je sekundarni val bistveno večji (manjši) od primarnega



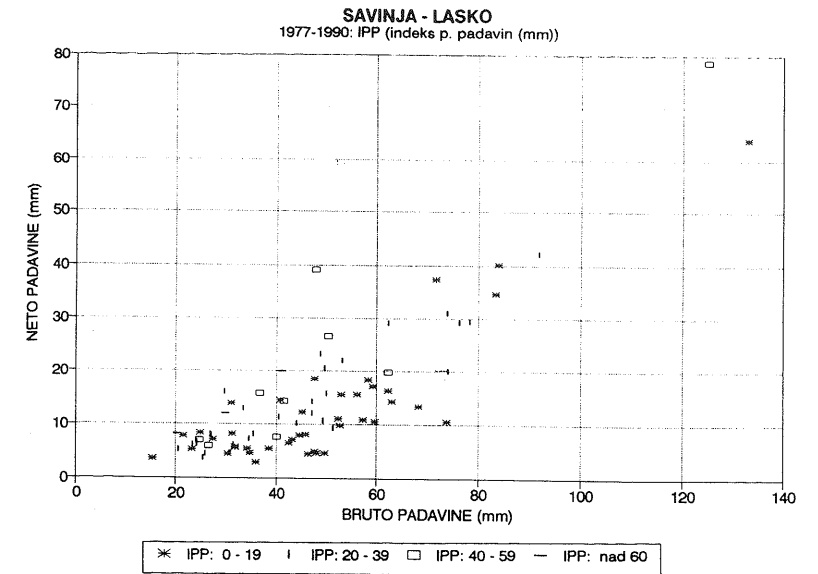
Slika 3: hidrogram dvojnega vala (med primarnim in sekundarnim je potekel kratek (daljši) čas



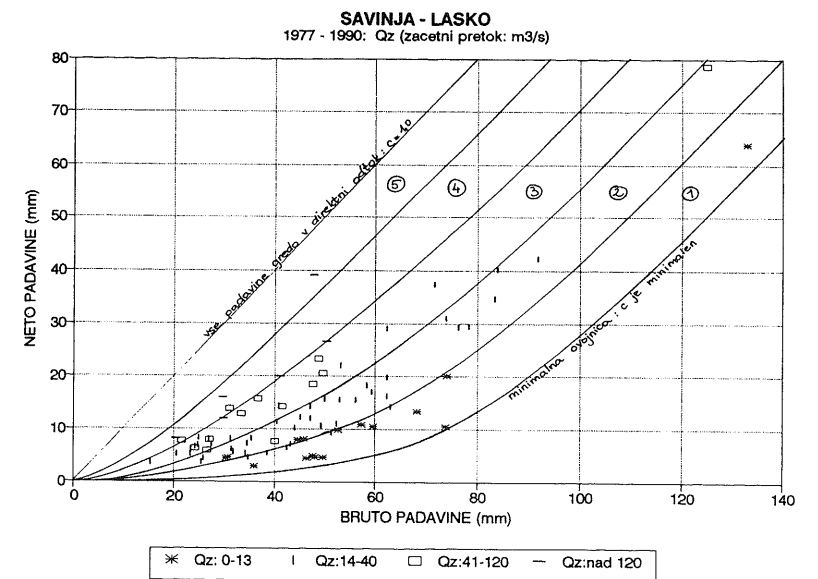
Slika 4: prikaz korelacije med porastom pretoka DQ in bruto padavinami



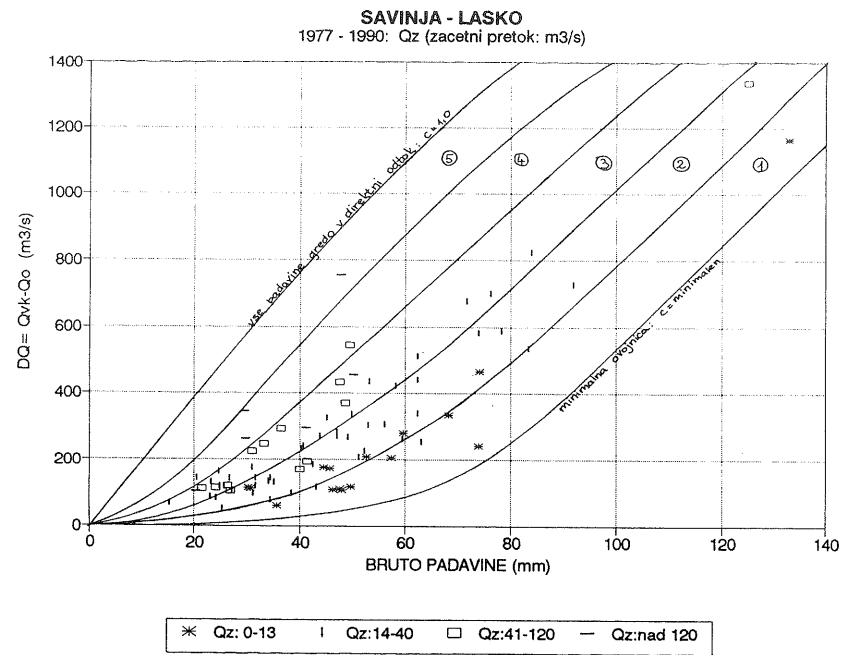
Slika 5: prikaz korelacije med porastom pretoka DQ in neto padavinami



Slika 6: prikaz korelacije med bruto in neto padavinami v odvisnosti od indeksa predhodnih padavin IPP



Slika 7: prikaz korelacije med bruto in neto padavinami v odvisnosti od začetnega pretoka (Qz)



Slika 8: prikaz korelacije med porastom pretoka DQ in bruto padavinami v odvisnosti od Qz