

Milorad Janković¹
Milan Bošković²
Vesna Stojković³

UTICAJ ANTROPOLOŠKIH FAKTORA NA REŽIM VODOSTAJA SKADARSKOG JEZERA

THE INFLUENCE OF ANTROPHOLOGICAL FACTORS AT REGIME OF WATER LEVEL OF SKADAR LAKE

Izvod

U referatu se analiziraju promjene vodostaja Skadarskog jezera poslije 1981. godine u odnosu na prethodni period i mogući uticaji ljudskog i prirodnih faktora na to.

Abstract

The changes in the water level of the Skadar Lake after 1981 in relation to the previous period and the possible influences of human and natural factors upon that have been analyzed in the report.

1. UVOD

Smanjeni vodostaji Skadarskog jezera u posljednjih deset godina u odnosu na prethodni period, stvorili su dilemu: da li je isto posljedica hidroloških pojava ili je

^{1,2,3} Republički hidrometeorološki zavod, Podgorica

prisutno samoprodubljenje korita Bojane usljed povećane erozione moći uzrokovane zadržavanjem nanosa u akumulacijama na Drimu.

Da bi se dao potpun i pouzdan odgovor na ovo pitanje neophodno je raspolagati podacima naše i albanske strane. Obzirom da se raspolagalo samo podacima Republičkog hidrometeorološkog zavoda iz Podgorice, zaključci rada će ukazati samo na pojavu. U radu su korišćeni podaci o proticajima Morače u Podgorici i vodostajima Skadarskog jezera sa HS Plavnica i HS Ckla, za otvoreni dio Jezera, kao i HS Vranjina i HS Karuč, za zalivni dio Jezera.

Analize ponašanja vodostaja Jezera urađene su za raspoloživi period, sa podacima od 1948. do 1994. godine. U ovom periodu značajniji radovi na Jezeru, u slivu Jezera i slivu Drima, a koji su mogli uticati na režim vodostaja Jezera su: izgradnja nasipa preko Jezera, izgradnja akumulacija na Zeti i izgradnja akumulacija na Drimu.

S obzirom na to da su periodi osmatranja prije izgradnje pojedinih objekata veoma kratki, analize bi nas mogle uputiti na pogrešna zaključivanja. Iz tog razloga nije razmatrano:

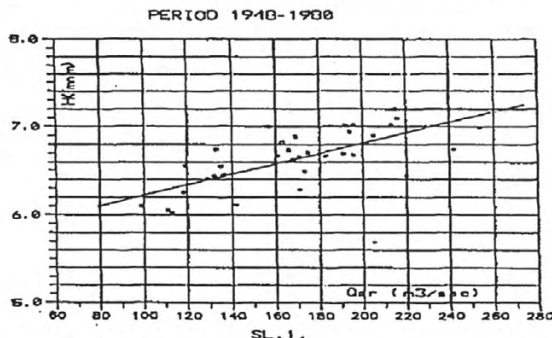
- Ponašanje vodostaja Jezera prije i poslije izgradnje akumulacija na Zeti;
- Ponašanje vodostaja Jezera prije i poslije izgradnje nasipa preko Jezera;
- Ponašanje vodostaja Jezera usljed izgradnje hidroelektrana na Drimu prije puštanja u rad HE Fierze, znatne zapremine 2×10^9 m³. Ovim radom obrađeno je:
 - Odnosi nivoa vodnog ogledala zalivnog dijela Skadarskog jezera u odnosu na otvoreni dio i
 - Ponašanje nivoa Skadarskog jezera prije i poslije puštanja u rad HE Fierza.

2. STATISTIČKE OBRADJE

2.1. Korelacione zavisnosti

Obrada je izvršena za srednje godišnje proticaje Morače u Podgorici i srednje nivoe vodnog ogledala Skadarskog jezera na HS Plavnica, za period 1948. god. - 1980. god.:

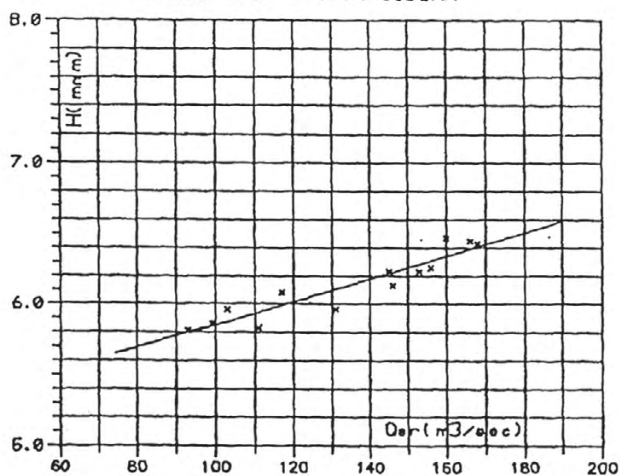
KORELACIJA SREDNJE GODIŠNJIH KOTA NIVOA SKADARSKOG JEZERA I PROTICAJI MORAČE U PODGORICI



- 1948 - 1980. god.
- srednji proticaj Morače u Podgorici $Q = 170 \text{ m}^3/\text{s}$;
- srednji nivo vodnog ogledala Jezera na koti 6,63 mnm;
- koeficijent korelacije $R=0,742$;
- korelaciona zavisnost $Z_{sj}=0,0059 \cdot Q_{pdg}+5,63$

KORELACIJA SREDNJE GODISNJIH KOTA NIVOVA
SKADARSKOG JEZERA I PROTICAJA MORACE U PODGORICI

PERIOD 1981 - 1994 GODINA



SL. 2.

- 1981.god. - 1994. god.
- srednji proticaj Morače u Podgorici $Q=134\text{m}^3/\text{s}$;
- srednji nivo vodnog ogledala Jezera na koti 6,13 mnm;
- koeficijent korelacije $R=0,935$
- korelaciona zavisnost $Z_{sj}=0,0082 \cdot Q_{pdg}+5,02$

Koeficijenti korelacije po periodima ukazuju nam na daleko čvršću korelacionu zavisnost proticaja Morače i vodostaja Jezera za period 1981-1994. godina, to jeste nakon puštanja u rad akumulacije Fierza na Drimu. S obzirom na veličinu akumulacije Fierza, i mogućnost višegodišnjeg izravnjanja proticaja, smanjene su velike oscilacije Drima, što je uslovalo daleko veću zavisnost nivoa vode Jezera od proticaja Morače. Korelacione zavisnosti iz oba perioda pokazuju smanjene nivoe Jezera, i to znatnije kod sušnih godina.

2.2. Gruba ocjena trenda u vremenskim serijama

Poznato je da se, u najopštijem slučaju, u svakom hidrološkom procesu ($X(t)$) - kao funkciji vremena, razlikuju tri komponente:

- trend procesa ($X_t(t)$),
- deterministička (npr. periodično-harmonijska) komponenta $X_d(t)$,
- slučajna komponenta $X_s(t)$, odnosno

$$X(t) = X_t(t) + H_d(t) + X_s(t) \quad (1)$$

Za slučaj periodički stacioniranih procesa (kakvi su generalno hidrološki, poželjno što dužih vremenskih serija), isključujući antropološke uticaje, trend ne bi trebao da postoji tako da se proces, praktično sastoji iz dvije komponente:

$$X(t) = X_d(t) + X_s(t) \quad (2)$$

I intuitivno je jasno da je izvjesna "slučajnost - stohasničnost" svojstvena svakom realnom hidrološkom procesu, u krajnjem slučaju, mada i ne samo zbog toga, što radi sticanja saznanja o procesu moramo mjeriti, a svako mjerenje u prirodnim uslovima obavezno sadrži slučajnu grešku.

Za grubu ocjenu trenda u našim serijama može se aproksimirati da je u srednjoj vrijednosti proces linearan a da se može predstaviti u obliku:

$$X_t(t) = a + b \cdot t \quad (3)$$

i ako se generalno, pouzdanije može definisati polinom n-tog reda:

$$X_t(t) = a + b \cdot t + c \cdot t_2 + d \cdot t_3 \dots \dots \dots n \cdot t^n \quad (4)$$

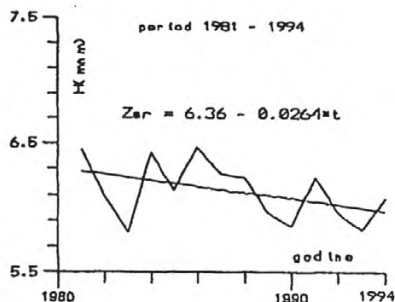
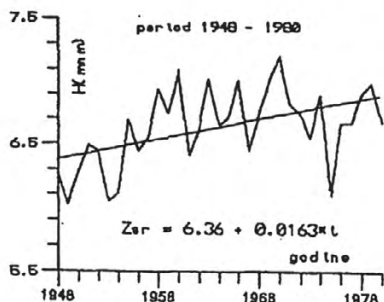
gdje je (t) jedina nezavisna promjenjiva - vrijeme.

Koeficijenti (a), (b),.....,(n) u izrazima (3) ili (4) određuju se poznatim postupkom najmanjih kvadratnih odstupanja uz zadovoljenje uslova minimuma iz jednačine:

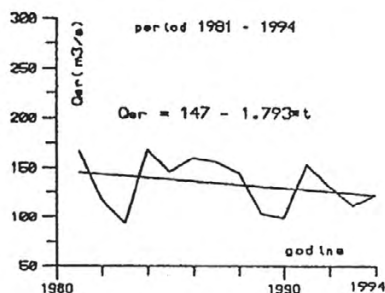
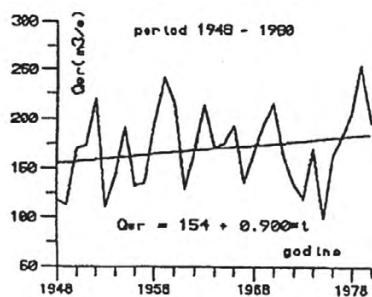
$$\Delta x = \sum_{i=1} \left[x(t) - (a^n + b \cdot t + \dots + n \cdot t^n) \right]^2 \quad (5)$$

U ovom radu ocjena trenda urađena je u okviru srednjih voda, ipak najmjerodavnijih za raspoložive uslove, za serije srednjih godišnjih nivoa Jezera i srednjih godišnjih proticaja Morače za profil u Podgorici.

Gruba ocjena trenda u vremenat lm ser l joma



sl. 3.



sl. 4.

Zajedničko obilježje trenda u linearnom obliku za obje serije je da pokazuje porast u prvom periodu, odnosno opadanje u drugom, po izrazima:

period 1948-1980.:	$Zsr=6,36+0,01563 \cdot t$	za Jezero
	$Qsr+154+0,900 \cdot t$	za Moraču
period 1981-1994.:	$Zsr=6,36-0,0264 \cdot t$	za Jezero
	$Qsr+147-1,793 \cdot t$	za Moraču

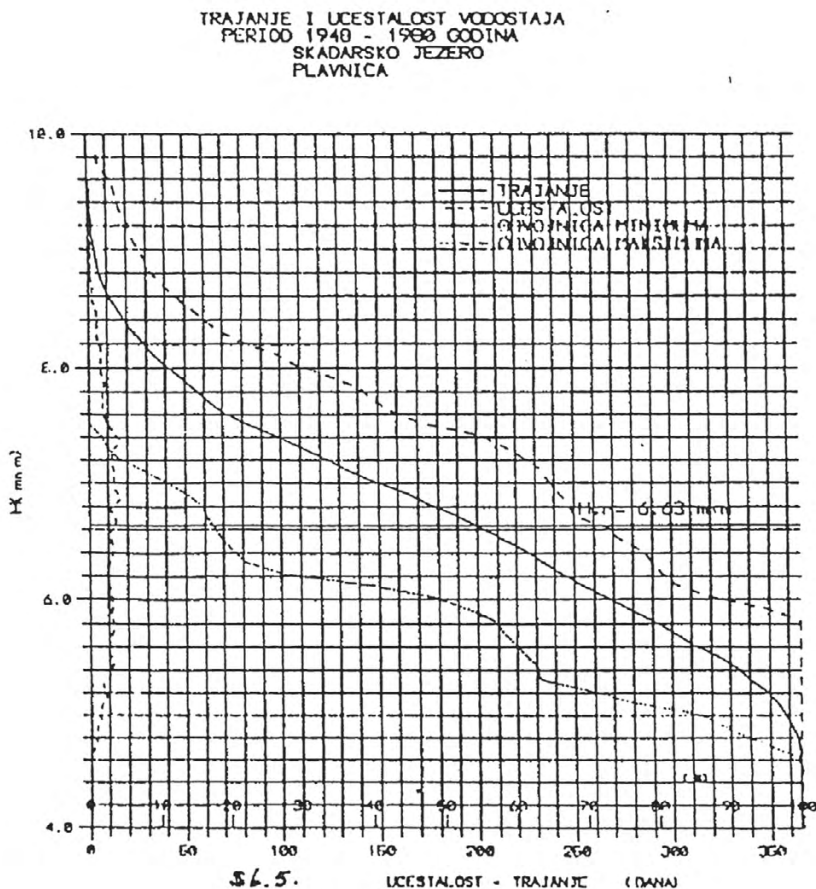
Ne smije proći nezapaženo da prvi period sačinjavaju 33, dok drugi svega 14 godina, što je sa teorijskog stanovišta nedopustivo zbog njegove kratkoće.

Granični prikazi na apscizama sadrže sledstveno godine za navedene periode, dok u jednačinama za trendove "t" treba smatrati relativnim 1, 2, ...33. gdje 1. odgovara 1948. godini, ...33. odgovara 1980. godini, a za prvi odnosno 1-1981..., a 14-1994. godini za drugi period.

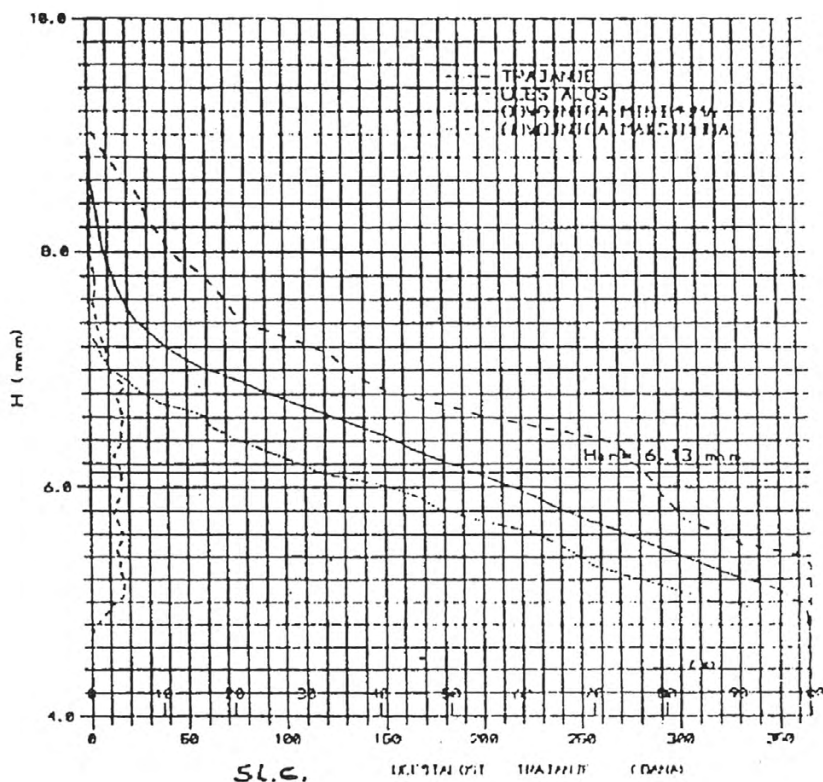
2.3. Linije trajanja učestalosti

Linije trajanja nivoa vodnog ogledala Skadarskog jezera i proticaja Morače u Podgorici date su narednim slikama:

- Godišnja trajnost i učestalost vodostaja Skadarskog jezera, slikom 5 za period 1948-1980, a slika 6 za period 1981-1994. godina;

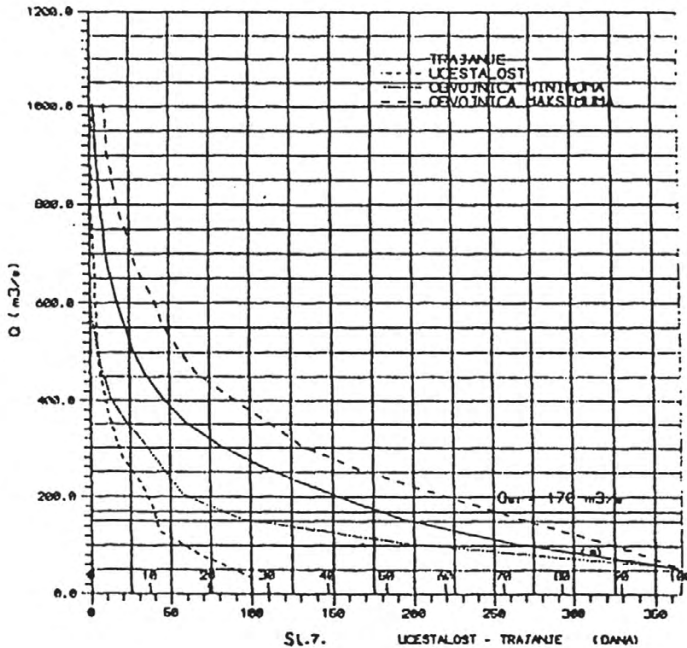


TRAJANJE I UČESTALOST VODOSTAJA
 PERIOD 1961 - 1974 GODINA
 SKADARSKO JEZERO
 PLAVNICA



- Godišnja trajnost i učestalost proticaja Morače u Podgorici, slikom 7. za period 1948-1980, a slikom 8. za period 1981-1994. godina;

TRAJANJE I UČESTALOST PROTICAJA
PERIOD 1948 - 1980 GODINA
Rijeka MORACA
Profil PODGORICA



Analizirajući linije trajanja vodostaja Skadarskog jezera po periodima vidi se:
- Vodostaji Jezera u periodu 1981-1994. znatno su niži od vodostaja prethodnog perioda, sem kod minimalnih vodostaja koji su povećani. Ovo je naročito vidljivo kod obvojnica maksimalnih i minimalnih vodostaja;

- Obvojnica minimalnih vodostaja pokazuje smanjenje minimalnih vodostaja kišnog perioda, a povećanje vodostaja sušnog perioda, u periodu 1981-1994. godina.

Analizirajući linije trajanja proticaja Morače u Podgorici vidi se:

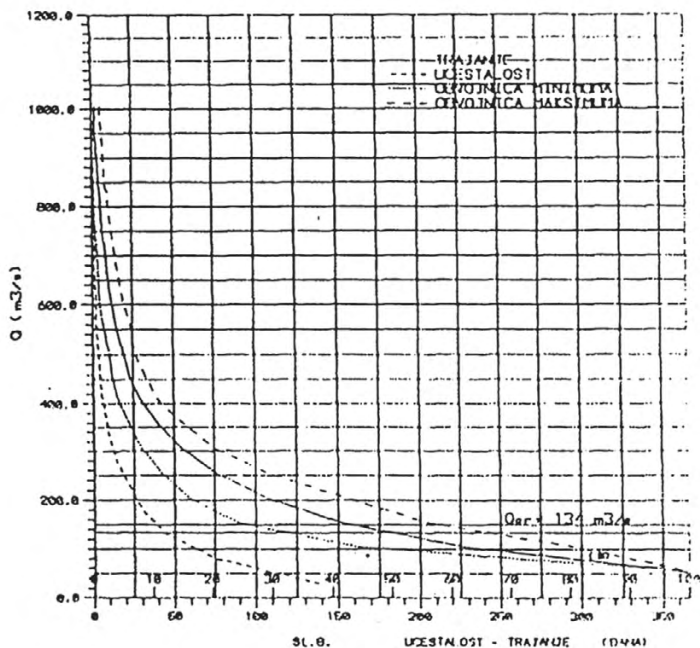
- Proticaji Morače u periodu 1981-1994. godina su znatno manji od proticaja prethodnog perioda. Naročito su smanjeni maksimalni proticaji, dok su minimalni približno isti, s tim što su u sušnom periodu nešto manji;

Upoređujući linije trajanja vodostaja Jezera sa linijama trajanja proticaja Morače vodi se:

- Smanjene maksimalne vodostaje Jezera, u periodu 1981-1994, prate smanjeni maksimalni proticaji Morače;

TRAJANJE I UČESTALOST PROTICAJA

PERIOD 1901 - 1974 GODINA

 Rijeka MORACA
 Profil PODGORICA


- Povećane minimalne vodostaje Jezera, u sušnom periodu, za period 1981-1994. ne prate povećani minimalni proticaji Morače, već su proticaji manji neog u prethodnom periodu (1948-1980).

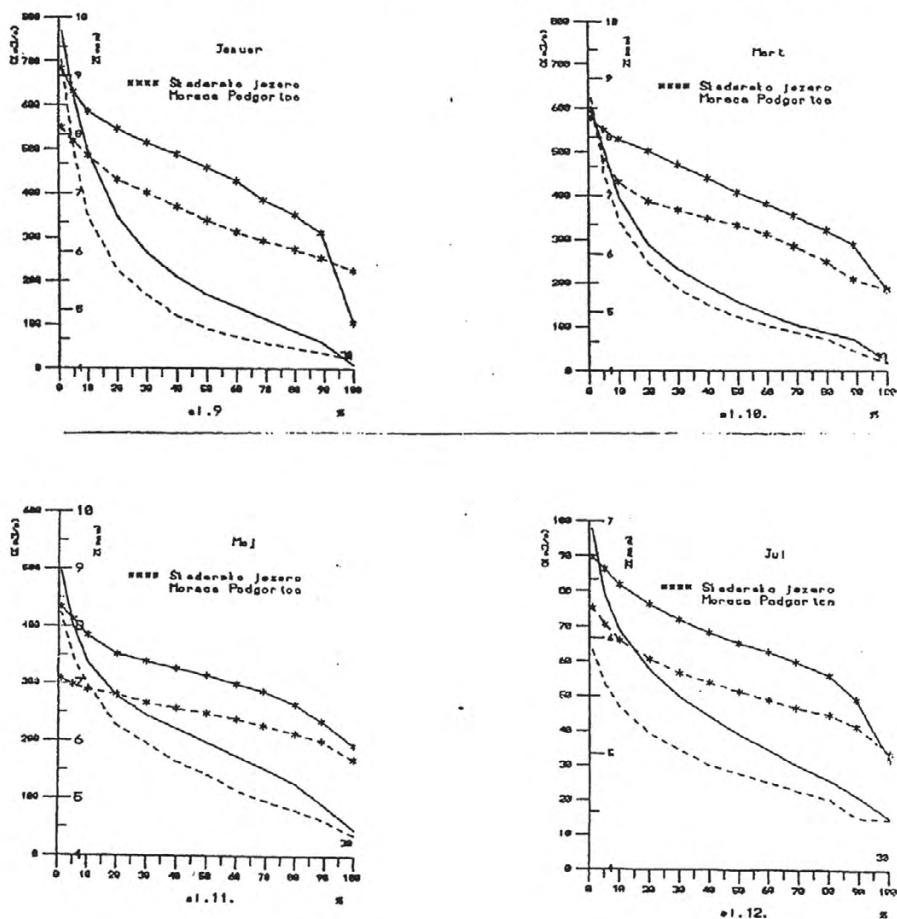
Na osnovu izloženog da se zaključiti da vodostaji Jezera uglavnom korespondiraju sa proticajima Morače, sem kod minimalnih vodostaja Jezera. Povećanje minimalnih vodostaja Jezera, u periodu 1981-1994, pri smanjenim minimalnim proticajima Morače u odnosu na prethodni period, je posljedica povećanih vodostaja Bojane. Povećanje vodostaja Bojane usloveli su povećani proticaji iste, usljed godišnje preraspodjele vode Drima akumulacijama na istom. Radi pojašnjenja naprijed iznijetog, u nastavku su priložene linije trajanja vodostaja Jezera i proticaja Morače u Podgorici po mjesecima. Pune linije predstavljaju period 1948-1980. godine, a isprekidane period 1981-1994. godine. Na slici 9 dat je januar, slici 10. mart, slici 11. maj, slici 12. jul, slici 13. septembar i na slici 14. novembar.

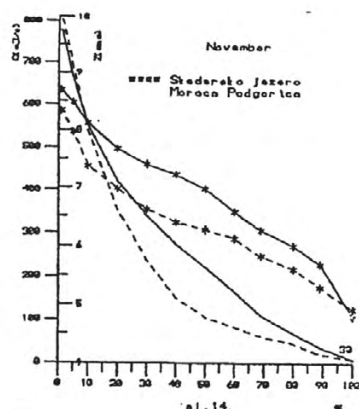
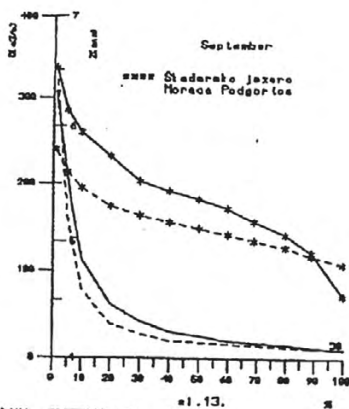
2.4. Sumarna kriva srednje godišnjih proticaja Morače u Podgorici i srednje godišnjih nivoa Skadarskog jezera.

Sa prikazane sumarne krive na slici 15 vidi se da nema izražajnijih odstupanja od prosječnog pravca. Odstupanja se ciklično ponavljaju. Brži prirast Morače, ujednačenost prirasta Jezera i Morače, brži prirast Jezera što je normalna hidrološka pojava, obzirom da je početni period bio sušan.

Od 1981. godine imamo ujednačen prirast Jezera i Morače ili povećan prirast Jezera, što nam ukazuje da nema nikakvog produbljivanja korita Bojane koje bi uticalo na vodostaje Jezera.

Mjesečne trajnosti nivoa Skadarskog jezera i protoka Morače u Podgorici





2.5. Analiza cikličnosti u vremenskim serijama

Hidrološke vremenske serije su, kao i većina ostalih procesa u prirodi, uglavnom ciklične. Razlog ovoj pojavi je veoma veliki broj prirodnih faktora (cikličnih i periodičnih) koji direktno ili indirektno utiču na genezu pojava, što se prema novim saznanjima dovodi u vezu sa promjenama broja pjega u energiji Sunca, koje su inače periodične. Tako se i definisanje reprezentativnog perioda u hidrološkim obradama dovodi u vezu sa identifikacijom perioda cikličnosti. Smatra se da bi usvojeni period trebalo da obuhvati najmanje dva puna ciklusa.

Za identifikaciju perioda cikličnosti koriste se poznati postupci:

- integralnih krivih modulnih odstupanja,
- pokretnih sredina i
- autokorelacionih i spektralnih funkcija.

Ovom prilikom koristili smo postupak integralnih krivih modulnih odstupanja koji, u suštini, predstavlja hronološku smjenu odstupanja vlažnih i sušnih perioda od prosječnih vrijednosti, definiše se kao:

$$f(t) = \sum_{i=1}^n \frac{K(t) - 1}{C_v} \quad (6)$$

gdje su:

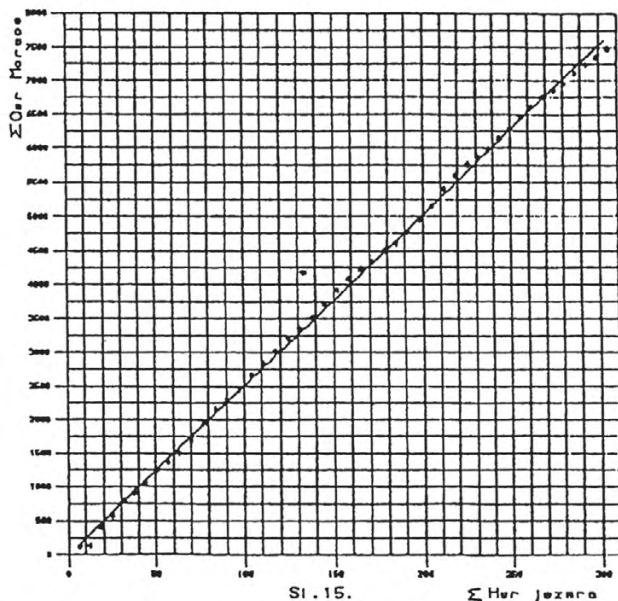
$K(t) = X(t)/\bar{x}$

$X(t)$ - serije godišnjih registrovanih veličina,

\bar{x} - višegodišnje prosječne vrijednosti,

C_v - koeficijent varijacije.

SUMARNA KRIVA
srednjih godišnjih protoka Morače u Podgorici
i srednjih godišnjih nivoa Stadarskog jezera

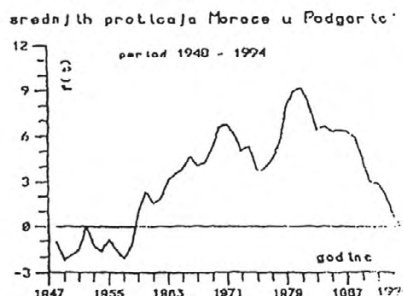
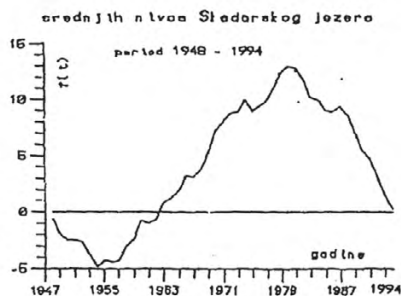


Sl. 15.

Σ Huc jezera

Vremenski periodi u toku kojih su intenziteti prirasta integralne krive pozitivni odgovaraju vlažnom periodu. Obrnuto, vremenski periodi sa negativnim intenzitetima integralne krive karakterišu sušni period. Period vremena koji u cjelini obuhvata jedan vlažan i jedan sušan period sačinjava hidrološki ciklus.

Integralna krive modulnih odstupanja



sl. 16.

Na prethodnoj slici predstavljene su integralne krive modulnih odstupanja za srednje godišnje nivoe Jezera i srednje godišnje pritoke Morače u Podgorici. One su i za Jezero i za Moraču pokazale po jedan mikro, odnosno drugi makro ciklus.

Mikro ciklus za Jezero je oko 15 godina, za Moraču oko 14, dok je makro ciklus za Jezero oko 30, odnosno Moraču oko 34 godine.

Ipak, moraju se imati u vidu i činjenice da je makro ciklus reda 30-35 godina manje pouzdano identifikovati u vremenskim serijama dužine 45-50 godina. Tim prije što još uvijek nije jasno razlučeno da li su posljednjih 15 generalno sušnih godina posljedice sušnosti perioda ili globalnih promjena u atmosferi.

2.6. Odnosi vodostaja otvorenog i zalivnog dijela Skadarskog jezera

Postavlja se pitanje da li je i koliko izgradnja nasipa preko Jezera uticala na povećanje vodostaja u zalivnom dijelu Jezera. Analiza vodostaja Jezera izvršena je na nivou srednje godišnjih vodostaja. Za analizu su korišćene HS Plavnica i HS Ckla za otvoreni dio Jezera, a HS Vranjina i HS Karuč za zalivni dio Jezera.

Izvedena analiza pokazala je da su srednje godišnji vodostaji Jezera u zalivnom dijelu viši za oko 12 cm.

3. REZIME

Rezultati koji su dobijeni analizom vremenskih serija o vodostajima Skadarskog jezera i proticaja Morače u Podgorici ukazuje na izvjesne zaključke:

- Nakon izgradnje akumulacije Fierza na Drimu, vodostaji Skadarskog jezera znatno jače korespondiraju sa proticajima Morače u odnos na period prije izgradnje akumulacije.

- Nakon izgradnje akumulacije Fierza došlo je do porasta minimalnih nivoa Jezera a smanjenja maksimalnih nivoa Jezera, što je posljedica preraspodjele voda Drima tokom godine u akumulacijama.

- Nasip preko Jezera uslovio je da su srednje godišnji vodostaji zalivnog dijela Jezera viši za 12 cm u odnosu na otvoreni dio Jezera.

- Dobijeni trendovi u serijama srednjih godišnjih nivoa Jezera i srednjih godišnjih proticaja Morače pokazali su istu tendenciju povećanja za prvi period, odnosno smanjenja za drugi period tj. poslije 1980. godine, koji je koincidirao sa sušnim periodom koji od tada i traje.

- Uticaj antropogenih faktora na izmjene režima vodostaja Skadarskog jezera kompleksnije se može obraditi samo ukoliko se raspolaze podacima Drima i Bojane registrovanim na albanskoj strani.

LITERATURA

- Arhivska dokumentacija HMZ RCG, Podgorica
CHATFIELD, C.: The Analysis of Time Series: Theory and practice, London, 1975.
JEVDJEVIĆ, V.: Stohastički procesi u hidrologiji, Sarajevo, 1974.
Zbornik radova sa savjetovanja o hidrologiji malih slivova, Vrnjačka Banja, 1976.
Treći seminar iz hidrologije - Računski primeri, Trebinje, 1977.

