

Stručni članak | Professional Paper | UDK 556.552(497.5 Vrana)(497.5 Cres)  
 Primljeno (Received): 2. 7. 2014.; Prihvaćeno (Accepted): 10. 9. 2014.

# ANALIZA VARIJACIJA RAZINE VODE JEZERA VRANA NA OTOKU CRESU

Prof. emeritus Ognjen Bonacci, dipl.  
 ing. građ.  
 Fakultet građevinarstva, arhitekture i  
 geodezije  
 Sveučilišta u Splitu  
 Matice hrvatske 15, 21000 Split  
 obonacci@gradst.hr

**U članku je izvršena analiza karakterističnih razina vode izmjerenih na jezeru Vrana na otoku Cresu u razdoblju od 1929. do 2013. godine. Cilj analiza izvršenih u ovom radu bio je da se primjenom prvenstveno hidroloških metoda pokušaju utvrditi ključni čimbenici zbog kojih je od 1982. godine do danas došlo do zabrinjavajućeg trenda opadanja razine vode u jezeru. Činjenica je da jezero Vrana predstavlja vrlo složeni hidrološko-hidrogeološki sustav koji se uz to nalazi pod snažnim antropogenim utjecajima uzrokovanim crpljenjem vode iz jezera za potrebe vodoopskrbe otoka Cresa i Lošinja. Na njegovo funkcioniranje istovremeno utječu i promjene i/ili varijacije klime. Radi se, prije svega, o utjecaju porasta temperatura zraka u posljednjih dvadesetak godina, budući da nije uočen nikakav trend promjena godišnjih količina oborina. Zbog velike površine vodnog ogledala mali porast temperature zraka može uzrokovati značajno povećanje evaporacije s vodene površine jezera. Analizama, izvršenim u ovom radu, je utvrđeno da porast srednje godišnje temperature zraka od 1 °C uzrokuje godišnje porast evaporacije sa slobodne vodene površine od oko  $5,8 \times 10^6$  m<sup>3</sup> vode te porast evapotranspiracije s kopnene površine sliva od oko  $1 \times 10^6$  m<sup>3</sup> vode.**

**KLJUČNE RIJEČI:** vodostaj, temperatura zraka, bilanca voda, jezero Vrana, otok Cres, Hrvatska

## 1. UVOD

Jezero Vrana na otoku Cresu u svjetskim je mjerilima rijedak i višestruko vrijedan (ekološki, ekonomski, okolišni itd.) krški vodni fenomen. Na [slici 1](#) dana je situacija otoka Cresa s ucrtanim položajima Vranskog jezera, većih lokvi i povremenih vodotoka (Lončarić, 2010.). Na malom otoku površine od samo 405,705 km<sup>2</sup> s duljinom obalne crte od 268,205 km (Duplančić-Leder et

al., 2004.), izgrađenom uglavnom od karbonatnih stijena pretežno kredne starosti, nalazi se veliko prirodno jezero. Zapremina slatke vode neočekivano je velika za tako mali krški otok jer u prosjeku iznosi oko  $220 \times 10^6$  m<sup>3</sup> slatke vode visoke kakvoće. Dodatno treba naglasiti da je, zbog izduženog oblika otoka Cresa, jezero od mora udaljeno samo od 3 do 5 km. Tome treba dodati i činjenicu da je jezero smješteno u kriptodepresiji čije se dno nalazi na dubini od 61,3 m ispod razine Jadranskog mora.

Za formiranje stalnog vodnog tijela slatke vode važnu ulogu ima činjenica da u litološkom sastavu otoka prevladavaju slabo propusni dolomiti. U strukturnoj građi otoka postoje vodonepropusne strukture fliša. Na samom lokalitetu jezera Vrana prisutni su sitnozrnasti jezerski sedimenti pliocensko-pleistocenske starosti (Biondić et al., 1993.). Jezero je formirano prije oko 1,8 milijuna godina na prijelazu iz pliocena u pleistocen.

Primjenom metode hidrološkog bilanciranja, Bonacci (1993., 1995.) je utvrdio da površina sliva jezera iznosi oko 25 km<sup>2</sup>. Treba naglasiti da vododijelnice sliva jezera nisu do sada određene jer su one uvjetovane razinom podzemne vode okolnog krškog vodonosnika čije se karakteristike tijekom godine mijenjaju u zavisnosti od njegovog prihranjivanja oborinama palim na sliv. Kao posljedica navedene činjenice vrlo vjerojatno se i površina sliva mijenja tijekom vremena. Motrenja razine podzemne vode u tri postojeća duboka piezometra preciznim definiranjem promjenjivog položaja podzemne vododijelnice sliva jezera nije moguće. Za ispunjavanje tog složenog zadatka neophodno bi bilo raspolagati s kontinuiranim motrenjima nivoa podzemne vode u više

desetaka dubokih piezometara izbušenih po cijelom obodu i u širem slivu jezera.

Otok je moguće definirati kao kopno okruženo sa svih strana vodom (u ovom slučaju morem). Pri tome treba imati na umu da se kod otoka radi o površini kopna neznatnoj u odnosu na globalne kopnene površine. Stoga je otok hidrološki i hidrogeološki izrazito ograničena jedinica. Mali krški otok predstavlja uz to prostor sa specifičnim i jedinstvenim lokalnim sustavom dotjecanja i istjecanja vode koji zahtijeva individualan pristup istraživanju i upravljanju njegovih vodnih resursa (Bonacci, 1991.). Svaki krški otok, a osobito Cres, zbog toga što na njemu postoji tako veliko i vrijedno slatkovodno jezero, predstavlja ekološki, ali i socijalno izrazito ranjiv okoliš koji zahtijeva posebnu pažnju (Bonacci et al., 2012.).

Problematika fenomena funkcioniranja velikog slatkovodnog jezera Vrana na malom krškom otoku Cresu još je sredinom devetnaestog i početkom dvadesetog stoljeća intrigirala znanstvenike (Lorenz, 1859.; Mayer, 1873.; Gavazzi, 1902., 1904.). Za objašnjenje funkcioniranja jezera od posebnog su značenja tri rada objavljena sredinom dvadesetog stoljeća (Morton, 1933.; Cecconi, 1939.; Nümann, 1949.). Akademik Petrik (1958., 1960., 1961.) je tijekom pedesetih godina dvadesetog stoljeća izvršio vrlo detaljna, sustavna i izvanredno važna mjerenja na jezeru čiji su rezultati bitno pridonijeli objašnjenju niza složenih procesa u i oko njega. Oni imaju posebno značenje, uz naglasak da su vršeni u doba kada se nije raspolagalo s današnjom moćnom tehnologijom motrenja. Problematiku vegetacije jezera, kao i zaštitu njegovih voda od zagađenja u svojim je radovima analizirao Golubić (1961., 1962.)

Porijeklo vode u jezeru Vrana dugo je intrigiralo znanstvenike, ali osobito laike. Lorenz (1859.) je iznio hipotezu da se jezero pretežno prihranjuje vodom s kopna, dok je Mayer (1873.) tvrdio da voda u jezero dotječe isključivo sa sliva koji se nalazi na samom otoku Cresu. Čini se da su ovu drugu hipotezu definitivno potvrdili u svojim radovima Bonacci (1993., 1995.), Ožanić (1996.) i Hertelendi et al. (1995.). Prva dva autora su to dokazala različitim postupcima korištenjem metode hidrološkog bilanciranja voda, dok je skupina autora analizom starosti vode u jezeru primjenom izotopa dokazala da vrijeme izmjene vode u jezeru iznosi približno tridesetak godina.

Potreba i interes za istraživanjem najrazličitijih vidova funkcioniranja jezera Vrana porastao je kad su u razdoblju od 1982.–1990. srednji godišnji vodostaji pali za 4,29 m (Teskeredžić et al., 1990.; Biondić et al., 1993.; Rubinić i Ožanić, 1992.; Bonacci, 1993., 1995.; Ožanić i Rubinić, 1994., 1995., 1998., 2003.; Biondić et al., 1995.; Hertelendi et al., 1995.; Ožanić, 1996.; Tomec et al., 1996.; Szeroczynska, 2002.; Kuhta, 2004.; Habdija et al., 2011.; Lončarić et al., 2011.; Kuhta i Brkić, 2013.).

U ovom su radu korišteni podatci vodostaja jezera mjereni od 1. VI. 1928. do 31. XII. 2013. Za razdoblje



Slika 1: Situacija otoka Cresa s ucrtanim položajima Vranskog jezera, većih lokvi i povremenih vodotoka

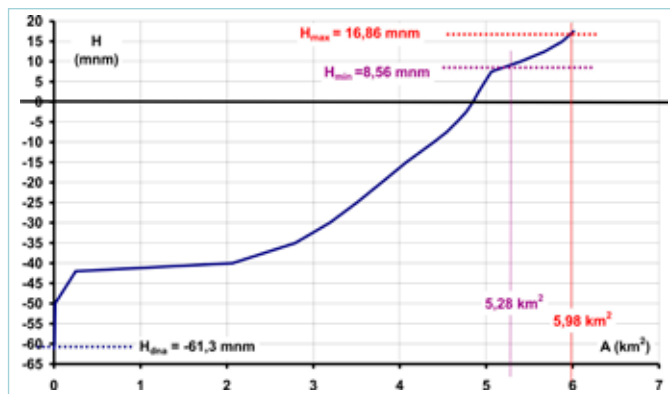
1978.–2013. su korišteni službeni podatci Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) iz Zagreba, a oni od prije tog vremena uzeti su iz rada Ožanić (1996.). Osim toga, korišteni su podatci crpljenja vode za potrebe vodoopskrbe. Crpljenje je započelo 1967. godine. S podacima o oborinama mjerenim u blizini jezera raspolagalo se od 1. I. 1926. do 31. XII. 2013. Temperature zraka na meteorološkoj postaji DHMZ-a Cres mjere se od 1. I. 1981. do 31. XII. 2013. Za potrebe hidroloških analiza, izvršenih u ovom radu, produljen je niz srednjih godišnjih temperatura zraka na Cresu za razdoblje 1967.–1980. korelacijom s podacima srednjih godišnjih temperatura zraka mjerenih na meteorološkoj postaji Rijeka. To je bilo moguće učiniti stoga jer je koeficijent linearne korelacije između srednjih godišnjih temperatura zraka na dvije meteorološke postaje (Rijeka i Cres) u razdoblju 1981.–2013. bio vrlo visok te iznosi  $r=0,975$ .

Cilj je ovog rada bio da primjenom prvenstveno hidroloških metoda i pristupa pokuša doći do pouzdanijeg zaključka o tome koji je od čimbenika (meteoroloških i hidroloških parametara) ključan za snižavanje vodostaja jezera koje je započelo 1982., a do danas nije zaustavljeno. Takovo saznanje od ključnog je interesa za stvaranje pouzdane strategije kako zaštite njegovih vodnih resursa tako i održivog upravljanja istim.

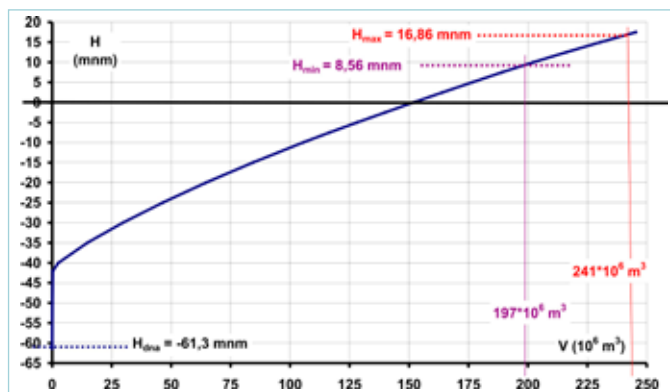
## 2. ANALIZA KARAKTERISTIČNIH GODIŠNJIH VODOSTAJA JEZERA

Na slici 2 grafički je prikazana krivulja površine vodnog lica jezera Vrana, A, izražena u  $\text{km}^2$ , u funkciji vodostaja, H, izraženog u apsolutnim kotama metrima nad morem (mnm). Na slici 3 grafički je prikazana krivulja zapremine jezera Vrana, V, izražena u  $10^6 \text{ m}^3$ , u funkciji vodostaja, H, izraženog u apsolutnim kotama, mnm. Na obje su slike ucrtane i upisane vrijednosti maksimalnih i minimalnih opaženih trenutačnih vodostaja u cijelom rasponu vremena opažanja kao i njima odgovarajuće površine vodnog lica jezera, A, i zapremine vode u jezeru, V. Minimalni vodostaj od 8,56 mnm izmjeren je 2012. godine, a maksimalni vodostaj od 16,86 mnm je izmjeren 1936. godine. Vodostaji jezera kretali su se prema tome u rasponu od 7,81 m. Odgovarajuće maksimalne i minimalne vrijednosti površine vodnog ogledala jezera iznosile su  $5,28 \text{ km}^2$  i  $5,98 \text{ km}^2$  što odgovara razlici od  $0,7 \text{ km}^2$  ili oko 12% površine vodnog lica jezera. Odgovarajuće maksimalne i minimalne vrijednosti zapremine vode u jezeru iznosile su  $197 \times 10^6 \text{ m}^3$  i  $241 \times 10^6 \text{ m}^3$  što odgovara rasponu od  $44 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

Na slici 4 prikazan je niz srednjih godišnjih vodostaja jezera,  $H_{sr}$ , opažen u razdoblju 1929.–2013. s ucrtanom linijom linearne regresije i upisanim koeficijentom linearne korelacije, r. Na slici 5 prikazan je niz minimalnih godišnjih vodostaja jezera,  $H_{min}$ , opažen u razdoblju 1928.–2013. s ucrtanom linijom linearne regresije i upisanim koeficijentom linearne korelacije, r. Kod oba



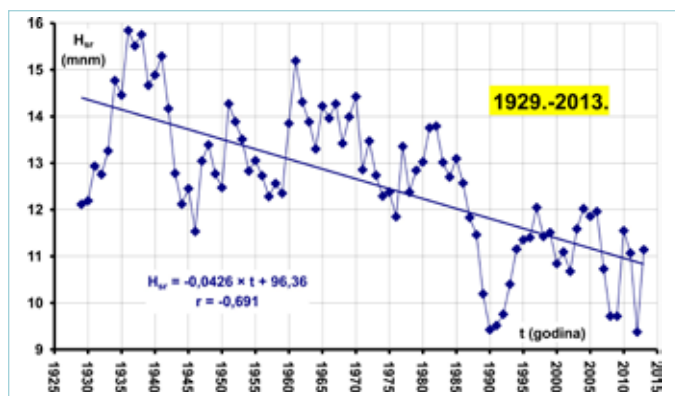
Slika 2: Krivulje površine vodnog lica jezera Vrana, A, u funkciji vodostaja, H, izraženog u apsolutnim kotama



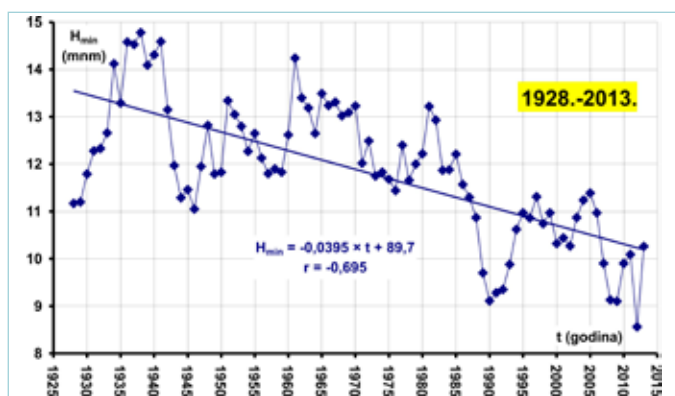
Slika 3: Krivulje zapremine jezera Vrana, V, u funkciji vodostaja, H, izraženog u apsolutnim kotama

niza uočava se statistički značajan trend opadanja vodostaja jezera u analiziranom razdoblju. Isti opadajući trend uočen je i kod niza maksimalnih godišnjih vodostaja jezera. Kod nizova srednjih, maksimalnih i minimalnih godišnjih vodostaja najveći se vodostaj pojavio 1936. godine. Minimalni srednji godišnji vodostaj pojavio se 1990. godine, a iznosio je 9,50 mnm, dok je minimalni trenutačni vodostaj izmjeren 2012. godine, a iznosio je 8,56 mnm. Te je godine srednji godišnji vodostaj iznosio 9,375 mnm. Maksimalni srednji godišnji vodostaj u iznosu od 15,84 mnm pojavio se 1936. godine, dok je maksimalni trenutačni vodostaj od 16,86 mnm izmjeren 1938. godine.

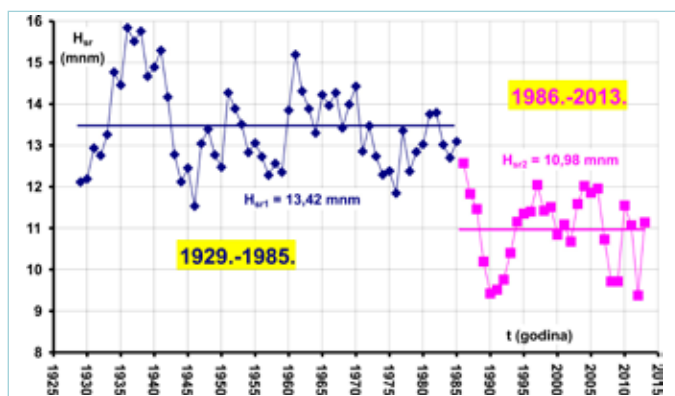
Međutim, varijacije vodostaja jezera nije moguće detaljno opisati, a potom i objasniti koristeći samo analizu linearog trenda. Radi se o mnogo složenijem procesu. Stoga je korištena Rescaled Adjusted Partial Sums (RAPS) metoda (Garbrecht i Fernandez, 1994.; Popovska i Bonacci, 2007.; Bonacci et al., 2008.). Njenom primjenom niz srednjih godišnjih vodostaja jezera,  $H_{ss}$ , podijeljen je u sljedeća dva podniza: (1) 1929.–1985.; (2) 1986.–2013. Grafički prikaz ova dva podniza dat je na slici 6. Razlike prosječnih srednjih godišnjih vodostaja jezera za ova dva podniza iznose 2,44 m. Treba uočiti da je najveće opadanje srednjih godišnjih vodostaja opaženo u razdoblju 1982.–1990. kada je vodostaj pao za 4,37 m. U razdoblju od



Slika 4: Niz srednjih godišnjih vodostaja jezera,  $H_{sr}$ , opažen u razdoblju 1929.-2013. s ucrtanom linijom linearne regresije i upisanim koeficijentom linearne regresije,  $r$



Slika 5: Niz minimalnih godišnjih vodostaja jezera,  $H_{min}$ , opažen u razdoblju 1928.-2013. s ucrtanom linijom linearne regresije i upisanim koeficijentom linearne korelacije,  $r$



Slika 6: Grafički prikaz nizova srednjih godišnjih vodostaja jezera,  $H_{sr}$ , izmjerenih u dva podrazdoblja: (1.) 1929.-1985. (modra boja); (2.) 1986.-2013. (ljubičasta boja)

1990. do 1997. srednji su godišnji vodostaji bili u stalnom porastu te su dosegli razinu od 12,05 mm. Od 1997. do 2013. godine vodostaj varira u relativno širokim granicama od 9,38 mm 2012. do 12,02 mm 2004. godine. Godine 2012. opažen je minimalni trenutačni vodostaj u cijelom razdoblju motrenja od 1. VI. 1928. do 31. XII. 2013. godine i iznosio je 8,56 mm. Tu činjenicu treba uzeti kao ozbiljno upozorenje za nepredvidivu budućnost i mogući nastavak opadanja razine vode jezera.

### 3. ANALIZA ODNOSA VODOSTAJA I DRUGIH PARAMETARA

Prethodno opisano variranje vodostaja jezera zahtijeva detaljnije objašnjenje koje će se pokušati naći analizirajući odnos srednjih godišnjih vodostaja i klimatskih parametara (godišnjih oborina i srednjih godišnjih temperatura) te godišnjih crpljenja vode iz jezera za potrebe vodoopskrbe Cresa i Lošinja.

Na slici 7 grafički je prikazan niz godišnjih oborina,  $P$ , opažen u razdoblju 1926.-2013. s ucrtanom linijom linearne regresije i upisanim koeficijentom linearne korelacije,  $r$ . Uočava se da u relativno dugom razdoblju opažanja od 88 godina nije uočen nikakav trend godišnjih oborina. One osciliraju u širokom rasponu oko srednje vrijednosti od 1067 mm, s tim da je maksimalna vrijednost u iznosu od 1743 mm bila opažena 1960. godine, a minimalna od 686 mm 2011. godine. Na slici 8 prikazan je odnos između srednjih godišnjih vodostaja jezera,  $H_{sr}$  i ukupnih godišnjih oborina,  $P$ , s ucrtanim pravcem linearne regresije i upisanom vrijednosti koeficijenta linearne korelacije,  $r$ , u razdoblju 1929.-2013. Niska vrijednost koeficijenta linearne korelacije  $r=0,149$  ukazuje da su tijekom obuhvaćenog vremenskog razdoblja na zavisnu varijablu, tj. srednje godišnje vodostaje jezera,  $H_{sr}$ , osim oborina utjecali i drugi parametri.

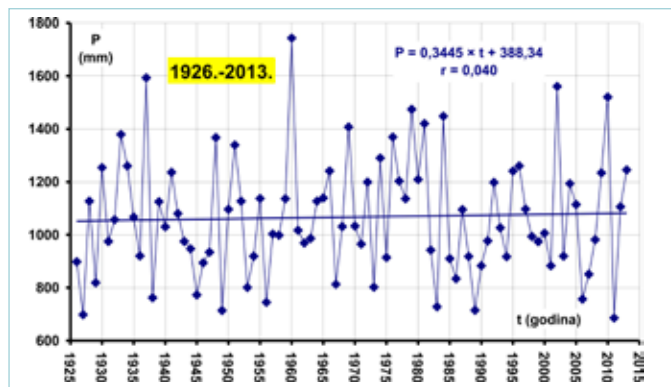
Na slici 9 grafički je prikazan niz srednjih godišnjih temperatura zraka,  $T$ , izmjeren na meteorološkoj postaji Cres u razdoblju 1981.-2013. s ucrtanom linijom linearne regresije i upisanim koeficijentom linearne korelacije,  $r$ . U ovom se slučaju uočava statistički značajan trend porasta srednjih godišnjih temperatura zraka za oko 1,5 °C u relativno kratkom razdoblju od 33 godine. Radi se o vremenski relativno kratkom nizu podataka na osnovi kojeg nije pouzdano donositi zaključke. Stoga je niz srednjih godišnjih temperatura zraka na postaji Cres produljen korelacijom s podacima srednjih godišnjih temperatura zraka izmjerenih na postaji Rijeka. To je bilo moguće i opravdano napraviti stoga jer je koeficijent linearne korelacije podataka između te dvije postaje bio vrlo visok te je iznosio  $r=0,975$ . Takav produljeni niz daje drugačiju sliku o varijacijama srednjih godišnjih temperatura zraka Cresa, što je moguće uočiti sa slike 10. Na njoj je prikazan odnos produljenog niza srednjih godišnjih temperatura zraka,  $T$ , s ucrtanim pravcem linearne regresije i upisanom vrijednosti koeficijenta linearne korelacije,  $r$ , te s ucrtanom krivuljom polinoma drugog reda te upisanom vrijednosti indeksa nelinearne korelacije  $R$ , u razdoblju 1948.-2013. Uočava se da je vrijednost indeksa nelinearne korelacije  $R=0,634$  značajno veća od vrijednosti koeficijenta linearne korelacije  $r=0,371$ , što ukazuje na to da se vremenski niz u analiziranom razdoblju ne ponaša linearno. Korištenjem RAPS metode ustanovljen je statistički značajan porast srednjih godišnjih temperatura zraka u recentnom podrazdoblju od 1992. do 2013. u odnosu na prethodno podrazdoblje 1948.-1991. Prosječna srednja godišnja temperatura zraka u recentnom podrazdoblju

bila je za 0,60 °C više nego u prethodnom podrazdoblju. U recentnom razdoblju uočeno je i postojanje trenda porasta temperatura, što je vidljivo i na slikama 9 i 10. Bonacci (2010., 2012.) je izvijestio o pojavi naglog skoka temperatura u Hrvatskoj i na širem području zapadnog Balkana u posljednjih tridesetak godina.

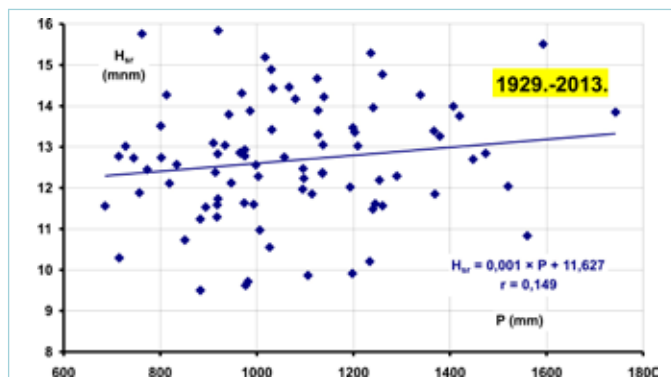
Na slici 11 grafički su prikazani odnosi između srednjih godišnjih vodostaja jezera,  $H_{sr}$  i srednjih godišnjih temperatura zraka,  $T$ , u razdoblju 1981.-2013. (modra boja) i u razdoblju 1948.-2013. (ljubičasta boja) s ucrtanim pravcima linearne regresije i upisanim vrijednostima koeficijenta linearne korelacije,  $r$ . Uočava se da u oba analizirana slučaja koeficijenti linearne korelacije imaju slične vrijednosti, te da su pravci regresije gotovo paralelni. Razlog tome je činjenica što su srednji godišnji vodostaji jezera u podrazdoblju 1981.-2013. niži od onog u razdoblju 1948.-2013. za 0,9 m.

Na slici 12 prikazan je niz godišnjih crpljenja vode iz jezera,  $C$ , u razdoblju 1967.-2013. za potrebe vodoopskrbe otoka Cresa i Lošinja. Srednje količine godišnjih crpljenja izražene su u L/s. Vidljiv je intenzivan porast crpljenja do 1985. godine kada je manje-više došlo do stabilizacije crpljenja koja je trajala do 1990. godine. U 1991. godini došlo je do naglog pada crpljenja vode iz jezera, ali je od 1992. do 2013. uz manje oscilacije rasla količina crpljenja te je od 2009. do 2013. premašena maksimalna vrijednost crpljenja iz 1990. godine. Čini se očiglednim da se taj trend nema namjere zaustaviti. Na slici 13 je prikazan odnos između srednjih godišnjih vodostaja jezera,  $H_{sr}$  i godišnjih crpljenja vode iz jezera,  $C$ , u razdoblju 1967.-2013. s ucrtanim pravcem linearne regresije i upisanom vrijednosti koeficijenta linearne korelacije,  $r$ . Visoka negativna vrijednost koeficijenta linearne korelacije  $r = -0,643$  ukazuje na to da crpljenje utječe na snižavanje razine vode u jezeru.

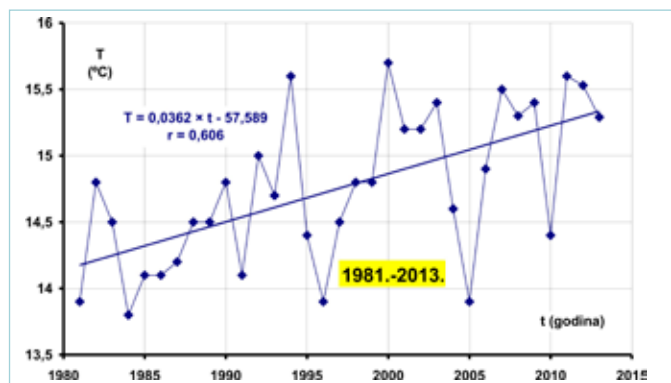
Budući da je s crpljenjem vode iz jezera Vrana za potrebe vodoopskrbe otoka Cresa i Lošinja započeto 1967., bilo je zanimljivo ustanoviti kako je taj antropogeni čimbenik utjecao na promjenu odnosa srednjeg godišnjeg vodostaja jezera,  $H_{sr}$ , kao zavisne varijable i godišnjih oborina,  $P$ , kao nezavisne varijable. Na slici 14 ucrtani su histogrami koeficijenata linearne korelacije,  $r$ , između nizova srednjih dvanaestomjesečnih vodostaja jezera i istovremeno pale količine oborina za razne početne mjesece za sljedeća dva podniza: (1.) 1929.-1966. (modra boja) prije početka crpljenja, dakle za vrijeme neporemećenog stanja; (2.) 1967.-2013. (crvena boja) u razdoblju crpljenja, dakle pod utjecajem antropogenog zahvata. Sa slike 14 se kao prvo može zaključiti da je u neporemećenom periodu vremena hidrološka godina započinjala u rujnu mjesecu, dok je u crpljenjem poremećenom razdoblju početak hidrološke godine pomaknut na kolovoz. Vidljivo je da su koeficijenti korelacije,  $r$ , uvijek viši u neporemećenom stanju od onih u novom crpljenjem izmijenjenom stanju. To posebno važi kad se početni mjesec nalazi u hladnom dijelu godine (od studenog do ožujka).



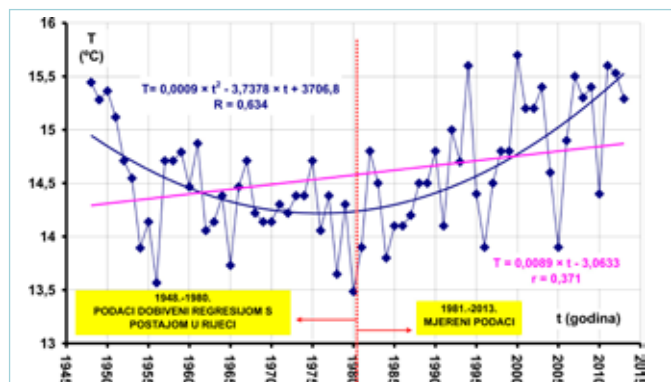
Slika 7: Niz godišnjih oborina,  $P$ , opažen u razdoblju 1926.-2013. s ucrtanom linijom linearne regresije i upisanim koeficijentom linearne korelacije,  $r$



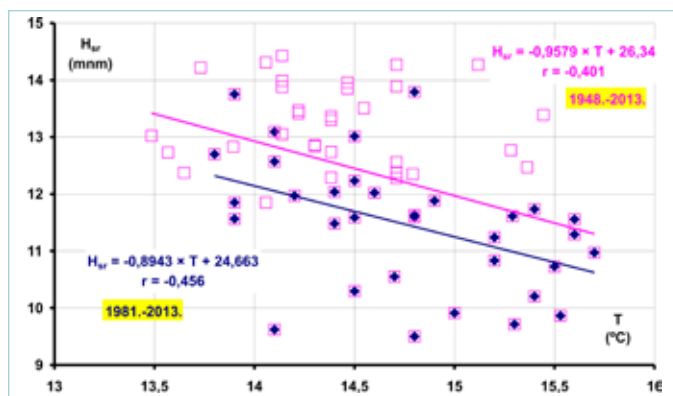
Slika 8: Odnos između srednjih godišnjih vodostaja jezera,  $H_{sr}$ , i ukupnih godišnjih oborina,  $P$ , s ucrtanim pravcem linearne regresije i upisanom vrijednosti koeficijenta linearne korelacije,  $r$ , u razdoblju 1929.-2013.



Slika 9: Niz srednjih godišnjih temperatura zraka,  $T$ , s ucrtanim pravcem linearne regresije i upisanom vrijednosti koeficijenta linearne korelacije,  $r$ , u razdoblju 1981.-2013.



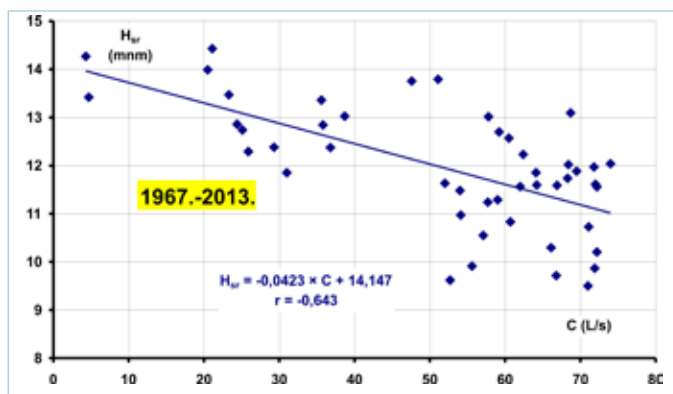
Slika 10: Niz srednjih godišnjih temperatura zraka,  $T$ , s ucrtanim pravcem linearne regresije i upisanom vrijednosti koeficijenta linearne korelacije,  $r$ , te s ucrtanom krivuljom polinoma drugog reda i upisanom vrijednosti indeksa nelinearne korelacije,  $R$ , u razdoblju 1948.-2013.



Slika 11: Odnosi između srednjih godišnjih vodostaja jezera,  $H_{sr}$ , i srednjih godišnjih temperatura zraka,  $T$ , u razdoblju 1981.-2013. (modra boja) i u razdoblju 1948.-2013. (ljubičasta boja) s ucrtanim pravcima linearne regresije i upisanim vrijednostima koeficijenta linearne korelacije,  $r$



Slika 12: Niz godišnjih crpljenja vode iz jezera,  $C$ , u razdoblju 1967.-2013.



Slika 13: Odnos između srednjih godišnjih vodostaja jezera,  $H_{sr}$ , i godišnjih crpljenja vode iz jezera,  $C$ , u razdoblju 1967.-2013. s ucrtanim pravcem linearne regresije i upisanom vrijednosti koeficijenta linearne korelacije,  $r$

Na slici 15 nalazi se grafički prikaz prosječnih mjesečnih vodostaja jezera,  $H_{sr\ mjt}$ , u sljedeća tri vremenska niza: (1.) 1929.-1966. (ljubičasta boja); (2.) 1967.-2013. (modra boja); (3.) 1929.-2013. (crvena boja). Iz njega se jasno vidi da u oba podrazdoblja, onom prije (1926.-1966.) i tijekom crpljenja (1967.-2013.) kao i u cijelom razdoblju analize (1929.-2013.) postoji identično ponašanje vodostaja jezera tijekom kalendarske godine.

Na kraju ovog poglavlja je korištena metoda višestruke linearne regresije. Ispitan je odnos srednjih godišnjih vodostaja jezera,  $H_{sr}$ , izraženih u L/s, kao zavisne varijable i

nezavisnih varijabli: (1) godišnjih oborina,  $P$ , izraženih u  $m$ ; (2) srednjih godišnjih crpljenja,  $C$ , izraženih u L/s; (3) srednjih godišnjih temperatura zraka,  $T$ , izraženih u  $^{\circ}C$ . Proračuni su vršeni s kalendarskim godinama, dakle onim koje počinju u siječnju. Jednadžba višestruke linearne regresije izračunata za vremensko razdoblje 1967.-2013. glasi:

$$H_{sr} = 28,55 - 0,42878 \times P - 0,03652 \times C - 0,84574 \times T \quad (1)$$

Koeficijent višestruke linearne korelacije je visok te iznosi  $r=0,733$ . Da bi se procijenio utjecaj pojedine nezavisne varijable na zavisnu neophodno je koeficijente višestruke linearne regresije, uz pojedine nezavisne varijable, pomnožiti s njihovim prosječnim vrijednostima s kojima je izvršen proračun te potom usporediti dobivene veličine. Kad se to učini dobije se rezultat da najjači utjecaj na zavisnu varijablu ima srednja godišnja temperatura zraka,  $T$ , potom crpljenje vode,  $C$ , a tek onda godišnje oborine,  $P$ . Prema izračunatom izrazu višestruke linearne regresije, utjecaj srednje godišnje temperature zraka 26,8 puta je veći od utjecaja godišnjih oborina, a 6,5 puta od utjecaja prosječnog godišnjeg crpljenja. Prosječno godišnje crpljenje 4,1 puta značajnije utječe na promjenu zavisne varijable od godišnjih oborina. Ova je analiza ukazala na ključan utjecaj temperatura zraka na promjene razine vode u jezeru. Prevodeći to na hidrološki aspekt problema čini se da ključnu ulogu igra proces evaporacije (isparavanja sa slobodne vodne površine) i evapotranspiracije (isparavanja vode s golog tla, vegetacije i iz podzemne vode).

#### 4. RASPRAVA O PROBLEMATICI ODREĐIVANJA BILANCE VODA JEZERA

Kao posljedica specifičnog načina prihranjivanja i istjecanja jezera Vrana, njegovog oblika (prvenstveno velike površine vodnog lica u odnosu na površinu sliva) te krškog terena u kojem je formiran njegov vodonosnik, proizlaze i poteškoće određivanja pojedinih elemenata njegove bilance voda. Opća jednadžba bilance voda jezera glasi:

$$(P_v + Q_{POV} + Q_{POD}) - (E + ET + C + G_p) = \pm \Delta V \quad (2)$$

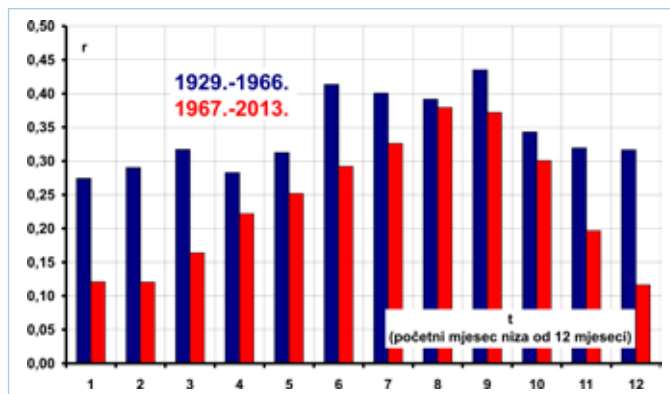
pri čemu su:

- $P_v$  - oborina pala na površinu vodnog lica jezera,
- $Q_{POV}$  - dotok vode povremenim površinskim vodotocima i kroz potpovršinski sloj,
- $Q_{POD}$  - dotok vode iz podzemnog vodonosnika,
- $E$  - isparavanje vode s površine vodnog lica jezera,
- $ET$  - evapotranspiracija (isparavanje s golog tla, vegetacije i iz podzemne vode),
- $C$  - crpljenje vode za potrebe vodoopskrbe,
- $G_p$  - gubitci vode iz jezera podzemnim putem kroz krški masiv,
- $\Delta V$  - promjena volumena vode u jezeru u analiziranoj jedinici vremena.

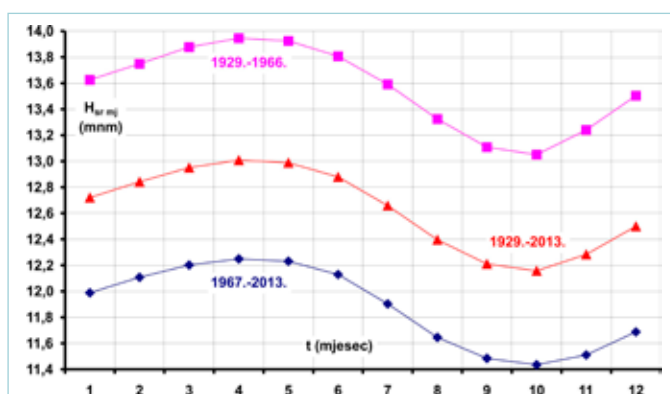
Za različite vremenske jedinice (dan, mjesec, sezona, godina, kišna epizoda itd.) za koje se želi izračunati bilanca vode jezera potreban je drugačiji pristup rješavanju jednadžbe (2). Npr. dotok vode povremenim površinskim vodotocima i u potpovršinskom sloju,  $Q_{POV}$ , javlja se samo tijekom i neposredno nakon padanja obilnih oborina kod kojih je intenzitet veći od koeficijenta infiltracije. U tom razdoblju on predstavlja značajan element bilance. Tijekom sušnog razdoblja i kod oborina slabog intenziteta ovaj element nema utjecaja na bilancu voda jezera. Mjerenja količina  $Q_{POV}$  za sada predstavljaju nemoguću misiju. Činjenica je da je do pouzdanih podataka o dotoku vode iz podzemnog vodonosnika kao i gubitcima vode iz jezera podzemnim putem kroz krški masiv vrlo teško doći. Taj bi se cilj moglo ispuniti tek u slučaju kad bi se raspolagalo s minimalno nekoliko desetaka dubokih piezometara u kojima bi se kontinuirano mjerila razina podzemne vode. Piezometri bi morali biti pažljivo raspoređeni oko cijelog oboda jezera tako da omoguću definiranje podzemne vododijelnice, tj. njenu promjenu tijekom vremena. Danas postoje tri piezometra locirana na istočnoj strani jezera i u njegovoj blizini ne mogu ni djelomično ispuniti taj ključni zadatak.

Kako je u prethodnom poglavlju ustanovljeno da je glavni parametar koji utječe na promjenu razine vode u jezeru temperatura zraka, tj. njegova posljedica evaporacija,  $E$ , i evapotranspiracija,  $ET$ , nastavno će se pokušati rasvijetliti kako porast temperature zraka utječe na spomenuta dva parametra. Na slici 16 se nalazi grafički prikaz prosječnih mjesečnih crpljenja vode iz jezera,  $C$ , izraženih u  $10^6 \text{ m}^3$  (modra boja) i srednjih temperatura zraka,  $T$ , izraženih u  $^{\circ}\text{C}$  (crvena boja) u razdoblju od 2009. do 2012. te isparavanja,  $E$ , izraženih u cm (ljubičasta boja) mjerenih ispariteljem klase A u razdoblju 1991.-1997. Potrebno je naglasiti da su podatci mjerenja ispariteljem klase A započeli 1977. godine, ali su tek 1991. vršeni tijekom cijele godine. Prije toga vršeni su samo od travnja do listopada. Nažalost, od 1997. mjerenja ispariteljem klase A se ne vrše. Grafički prikazi jasno ukazuju na poklapanje režima prosječnih srednjih mjesečnih temperatura zraka i isparavanja mjerenih ispariteljem klase A. Uz to je očito da i režim crpljenja vode prati režim temperatura zraka i isparavanja. Očito je da je za snižavanje razine vode u jezeru kritično razdoblje godine od svibnja do rujna kada se ispari oko 85% vode od ukupne godišnje mase, a kada su ujedno i crpljenja vode najveća.

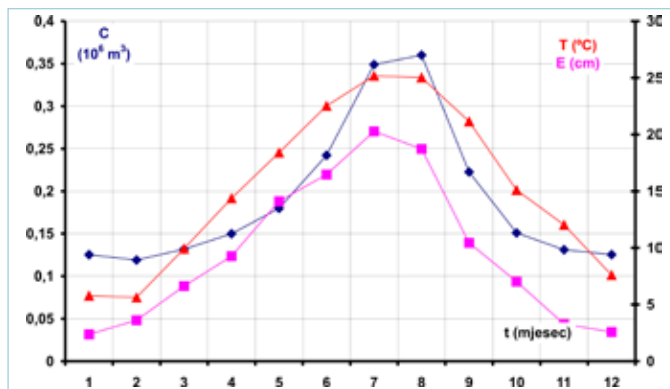
Na slici 17 su dati grafički prikazi nizova godišnjih promjena zapremine jezera,  $\Delta V$ , i crpljenja vode iz jezera,  $C$ , u razdoblju 1929.-2013. oba izražena u  $10^6 \text{ m}^3$ . Vrijednost promjene zapremine jezera,  $\Delta V$ , izračunata je kao razlika volumena vode u jezeru kod najvišeg i najnižeg vodostaja jezera u danoj godini. Treba naglasiti da se iz jezera u posljednjih desetak godina crpi između 5% i 6% količina vode u odnosu na količine promjene zapremine vode u jezeru,  $\Delta V$ .



Slika 14: Histogrami koeficijenta linearne korelacije,  $r$ , između nizova srednjih dvanaestomjesečnih vodostaja jezera i istovremeno pale količine oborina za razne početne mjesece za sljedeća dva podniza: (1.) 1929.-1966. (modra boja); (2.) 1967.-2013. (crvena boja)

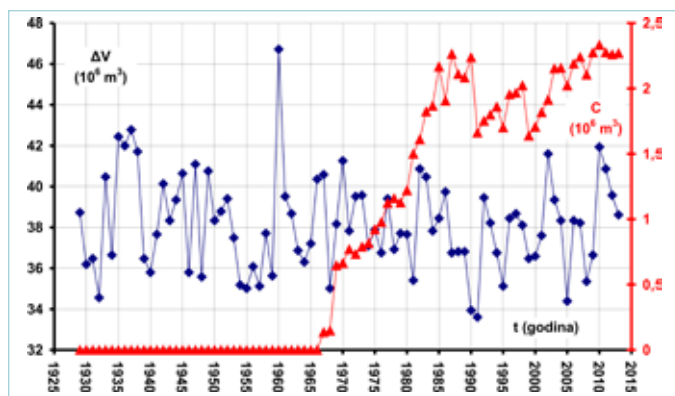


Slika 15: Grafički prikaz prosječnih mjesečnih vodostaja jezera,  $H_{sr}$ , u sljedeća tri vremenska niza: (1.) 1929.-1966. (ljubičasta boja); (2.) 1967.-2013. (modra boja); (3.) 1929.-2013. (crvena boja)

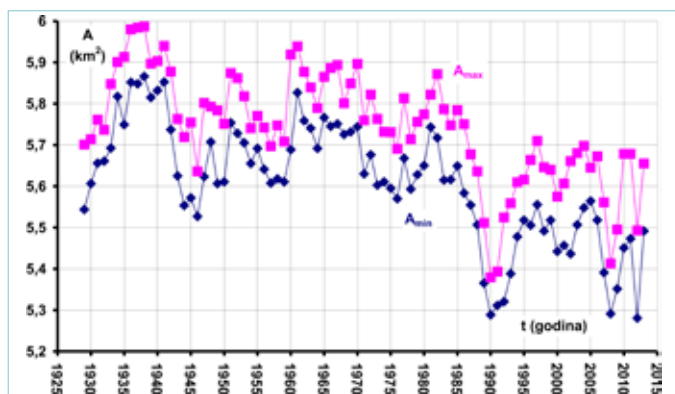


Slika 16: Grafički prikaz prosječnih mjesečnih crpljenja vode iz jezera,  $C$ , i srednjih temperatura zraka,  $T$ , u razdoblju od 2009. do 2012. te isparavanja mjerenih ispariteljem klase A u razdoblju 1977.-1997.

Na osnovi postojećih mjerenja ispariteljem klase A utvrđeno je da se godišnje vrijednosti isparavanja sa slobodne vodene površine jezera kreću između 1050 mm i 1250 mm u funkciji srednje godišnje temperature zraka. Kod temperature zraka od  $13,5^{\circ}\text{C}$  s površine jezera ispari oko  $5,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ , dok pri temperaturi od  $15,5^{\circ}\text{C}$  ispari oko  $6,8 \times 10^6 \text{ m}^3$  vode. Procijenjeno je da se s porastom srednje



Slika 17: Grafički prikaz niza godišnjih promjena zapremine jezera,  $\Delta V$ , i crpljenja vode iz jezera,  $C$ , u razdoblju 1929.-2013. Vrijednost promjene zapremine jezera,  $\Delta V$ , definirana je kao razlika volumena vode u jezeru kod najvišeg i najnižeg vodostaja jezera u danoj godini.



Slika 18: Grafički prikaz niza najveće površine vodnog lica jezera,  $A_{max}$ , i najmanje površine vodnog lica jezera,  $A_{min}$ , u pojedinoj godini u razdoblju 1929.-2013.

godišnje temperature zraka od  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  poveća isparavanje za oko  $0,5 \times 10^6\text{ m}^3$  vode. Ovom treba pribrojiti gubitak prihranjivanja vode jezera iz kopnenog dijela koji je procijenjen korištenjem izraza Turc-a (1954.). Kod porasta srednje godišnje temperature zraka za  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  smanji se prihranjivanje jezera za oko  $1 \times 10^6\text{ m}^3$  vode uz uvjet da kopnena površina jezera iznosi oko  $20\text{ km}^2$ .

Na osnovi prethodnih procjena moguće je zaključiti da povećanje temperature zraka za  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  utječe snažnije na gubitak vode iz jezera od godišnjeg crpljenja vode za potrebe vodoopskrbe kako je to ustanovljeno i primjenom metode višestruke linearne regresije. Tijekom 2010. godine iz jezera je iscrpljeno  $2,34 \times 10^6\text{ m}^3$  vode, što predstavlja najveću količinu iscrpljene vode tijekom razdoblja 1967.-2013. Ta je količina više od tri puta manja od količine godišnje evaporacije sa slobodne vodene površine,  $E$ , i evapotranspiracije,  $ET$ , s kopnenog dijela sliva koje kod srednje godišnje temperature zraka od  $15,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  dosežu vrijednost od  $7,8 \times 10^6\text{ m}^3$  vode.

Na slici 18 grafički su prikazani nizovi najvećih površina vodnog lica jezera,  $A_{max}$ , i najmanjih površina vodnog lica jezera,  $A_{min}$ , u pojedinoj godini u razdoblju 1929.-2013. izraženi u  $\text{km}^2$ . U cijelom razdoblju od 1929. do 2013. maksimalna vrijednost površine vodnog lica iznosila je  $5,81\text{ km}^2$  dok je minimalna bila  $5,45\text{ km}^2$ . Uočava se da površine

vodnog lica imaju trend opadanja u analiziranom razdoblju, što se poklapa s trendom opadanja razine vode u jezeru. Važno je uočiti da tijekom jedne godine površine jezera ne variraju u velikom rasponu. Radi se o maksimalno  $0,228\text{ km}^2$ , što iznosi tek  $4,1\%$  srednje godišnje površine vodnog lica jezera. Prethodno izneseni podatci su važni stoga jer oni svjedoče o tome da snižavanje razine vode u jezeru ne utječe bitno na smanjenje površine vodnog lica s koje se voda evaporira, dakle time ne utječu bitno na smanjenje količine isparavanja sa slobodne vodene površine.

Neophodno je naglasiti da posebno na proces evaporacije,  $E$ , ali i nešto manje na evapotranspiraciju,  $ET$ , značajan utjecaj imaju brzine i čestine lokalnih vjetrova koji su iznad prostora jezera Vrana česti i jaki. Kako se s tim podatcima ne raspolaže, analiza utjecaja vjetera nije mogla biti izvršena.

Problemom utjecaja porasta temperature zraka na režim prihranjivanja jezera Vrana bavili su se Kuhta i Brkić (2013.). Koristeći tri klimatska modela (Aladin, Promes i RegCM3) za simulaciju razvoja klime u budućnosti na slivu jezera proračunali su da će srednja godišnja temperatura porasti između  $0,27\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ god.}$  i  $0,32\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ god.}$  Zasnivano na tim podatcima analiziran je mogući utjecaj klimatskih promjena na proces prihranjivanja jezera. Najjači utjecaj je proračunat modelom Aladin. Posebno jako smanjenje prihranjivanja jezera od oko  $28,2\%$  predviđeno je u razdoblju od 2071.-2100.

## 5. ZAKLJUČCI I SMJERNICE ZA DALJNI RAD

Analize izvršene u ovom radu ukazale su na bitan utjecaj srednje godišnje temperature zraka na varijacije razine vode jezera. Procijenjeno je da se s porastom temperature zraka za  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  iz jezera evaporacijom i evapotranspiracijom gubi oko  $7,8 \times 10^6\text{ m}^3$  vode, što predstavlja stupac vode od oko  $1\text{ m}$ . Dodaju li se tome i količine crpljenja stvari postaju vrlo zabrinjavajuće. Očigledno je da će hitno biti potrebno detaljnije izučiti ovu problematiku. Međutim, ispunjavanje tog cilja neće biti moguće bez novog brojnijeg i detaljnijeg monitoringa. S ovim postojećim taj zadatak nije moguće ispuniti. Kao nužna i žurna mjera predlaže se montiranje najmanje dva (bolje četiri) suvremena isparitelja klase A ili isparitelja GGI 3000 (opskrbljena s automatskim mjeracima) na raznim dijelovima sliva jezera. Trebalo bi i na zapadnoj, ali osobito na sjevernoj strani sliva jezera izbušiti nekoliko dubokih piezometara.

Iako se na, u, i oko jezera danas vrše brojna i vrlo vrijedna istraživanja njegovih najrazličitijih vidova, općenito se može zaključiti da hidrološko-hidrogeološko-ekološki sustav jezera Vrana nije dovoljno istražen posebno s interaktivnog i heurističkog stanovišta. Osnovni cilj svakog od brojnih različitih istraživanja je utvrditi stanje stvari i predložiti mjere za održivo upravljanje njegovim ne samo vodnim, već i svim ostalim ekstremno vrijednim, ali



i istovremeno ugroženim vodnim, ekološkim, ekonomskim i drugim resursima. Kako se radi o zaista ekstremno vrijednom i kompleksnom prirodnom fenomenu, neophodno je početi intenzivno raditi na holističkom pristupu njegovog izučavanja. Za sada se nedovoljno vodi briga o tome da se sva brojna istraživanja i njihovi vrijedni rezultati tretiraju zajednički. Očito je da ekološki sustavi jezera kao i cjeloviti okoliš jezera izravno zavise o

hidrološkim i hidrogeološkim stanjima koji su pod stalnim utjecajem antropogenih, ali i prirodnih procesa. Ove veze još uvijek nisu dovoljno izučene. To se posebno odnosi na stanje podzemnog dijela sliva jezera koje je nedovoljno istraženo kako hidrogeološki i hidrološki tako i ekološki. Posebno se naglašava potreba pouzdanijeg definiranja bilance voda jezera Vrana na otoku Cresu kao osnovni preduvjet njegovog opstanka. ■

## LITERATURA

- Biondić, B.; Ivičić, D.; Prelogović, E. (1993.): The hydrology of the Lake of Vrana the Cres Island. *Proceedings of the International Symposium "Geomorphology and Sea"*, 25-36.
- Biondić, B.; Ivičić, D.; Kapelj, S.; Mesić, S. (1995.): Hidrogeologija Vranskog jezera na otoku Cresu. *Zbornik radova 1. Hrvatskog geološkog kongresa*, 89-94.
- Bonacci, O. (1991.): Hydrology and water resources of small karst islands along the Yugoslav Adriatic coast. *Krš Jugoslavije*, 13, 1-34.
- Bonacci, O. (1993.) The Lake Vrana hydrology (Island of Cres-Croatia). *Water Resources Bulletin*, 29(3), 407-414.
- Bonacci, O. (1995.): Investigations in karst hydrology of Croatia: The Vrana Lake on the Island of Cres. *Acta Geologica*, 25(1), 1-15.
- Bonacci, O. (2010.): Analiza nizova srednjih godišnjih temperature zraka u Hrvatskoj. *Građevinar*, 62(9), 781-791.
- Bonacci, O. (2012.): Increase of mean annual surface air temperature in the Western Balkans during last 30 years. *Vodoprivreda*, 44(255-257), 75-89.
- Bonacci, O.; Ljubenković, I.; Knežić, S. (2012.): The water on a small karst island: the island of Korčula (Croatia) as an example. *Environmental Earth Sciences*, 66(5), 1345-1357.
- Bonacci, O.; Trninić, D.; Roje-Bonacci, T. (2008.): Analysis of the water temperature regime of the Danube and its tributaries in Croatia. *Hydrological Processes*, 22(7), 1014-1021.
- Cecconi, A. (1939.): Il regime idraulico del Lago di Vrana. *Annali dei Lavori Pubblici, Capodistria*, 14-65.
- Duplačić-Leder, T.; Ujević, T.; Čala, M. (2004.): Coastline lengths and area of islands in the Croatian part of the Adriatic Sea determined from the topographic maps at the scale 1:25 000. *Geoadria*, 9/1, 5-32.
- Garbrecht, J.; Fernandez, GP. (1994.): Visualization of trends and fluctuations in climatic records. *Water Resources Bulletin*, 30(2), 297-306.
- Gavazzi, A. (1902.): Temperature vode u prelaznom sloju Vranskog jezera, *Rad JAZU, Matematičko-Prirodoslovni Razred*, 32, 18-27.
- Gavazzi, A. (1904.): Die Seen des Karstes. *Abhandlungen der k. k. Geogr Gesell in Wien*, 5, 2, VI-136.
- Golubić, S. (1961.): Prethodna istraživanja vegetacije jezera Vrana na otoku Cresu. *Ljetopis JAZU za 1958. godinu*. Knjiga 65, 295-297.
- Golubić, S. (1962.): O problemima zagađenja i zaštite voda s osobitim osvrtom na jezero Vrana na otoku Cresu. *Obavještenja (Higijena, Epidemiologija, Zdravstveno prosvještavanje)*, V(4), 273-282.
- Habdija, I.; Primc-Habdija, B.; Špoljar, M.; Sertić-Perić, M. (2011.): Vertical stratification of rotifers dependent on ecological determinants in Vrana Lake, a karstic lake in the Mediterranean coastal area. *Biologia*, 66(1), 130-137.
- Hertelendi, E.; Svingor, E.; Rank, D.; Futo, I. (1995.): Isotope investigation of Lake Vrana and springs in the Kvarner bay. *Zbornik radova 1. Hrvatskog geološkog kongresa*, Vol. 1, 201-205.
- Kuhta, M. (2004.): Lake Vrana on Cres Island - Genesis, characteristics and prospects, in: *Proceedings of XXXIII Congress IAHR and 7th Congress ALHSD, Zacatecas, Mexico*
- Kuhta, M.; Brkić, Ž. (2013.): Seasonal temperature variations of Lake Vrana on the Island of Cres and possible influence of global climate changes. *Journal of Earth Science and Engineering*, 3, 225-237.
- Lončarić, R. (2010.): Litoralizacija kvarnerskog otočnog prostora - hidrogeografska osnova. Doktorska disertacija. Odjel za geografiju Sveučilišta u Zadru.
- Lončarić, R.; Magaš, D.; Surić, M. (2011.): Influence of water availability on historical, demographical and economical development of the Kvarner islands (Croatia). *Annals for Istrian and Mediterranean Studies: Series Historia et Sociologia*, 21(2), 425-436.
- Lorenz, R. (1859.): Der Vrana See aus Cherso. *Petermanns Geogr Mitt*, 5, 510-512.
- Mayer, E. (1873.): Der Vrana See auf der Insel Cherso. *Mitt. D.K.K. Geogr. Gessell*, 6, 241-248.
- Morton, F. (1933.): Der Vrana-See auf der italienischen Insel Cherso. *Arch. Hydrobiol.*, 25, 616-627.
- Nümann, W. (1949.): Beiträge zur Hydrographie des Vrana-Sees (Insel Cherso), insbesondere Untersuchungen über organische sowie anorganische Phosphor - und Stickstoffverbindungen. *Nova Thalassia*, 1(6), 3-17.
- Ožanić, N. (1996.): Hidrološki model funkcioniranja Vranskog jezera na otoku Cresu. *Doktorska disertacija*. Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu.
- Ožanić, N.; Rubinić, J. (1994.): Analiza hidrološkog režima Vranskog jezera na otoku Cresu. *Hrvatske vode*, 2(8), 535-543.
- Ožanić, N.; Rubinić, J. (1995.): Hidrološki koncept funkcioniranja Vranskog jezera na otoku Cresu. *Zbornik radova 1. Hrvatske konferencije o vodama*, 159-167.
- Ožanić, N.; Rubinić, J. (1997.a.): Protection of the Natural Phenomenon of the Vrana Lake on the Island Cres (Croatia). *Proceeding IX World Water Congress, Montreal*.
- Ožanić, N.; Rubinić, J. (1997.b.): Analysis of the Appearance of Extremely Low Water Levels of the Vrana Lake on Cres Island (Croatia). *Proceeding FRIEND'97, Postojna. Acta Hydrotechnica*, 15/190, 75-81.

- Ožanić, N.; Rubinić, J. (1998.): Hidrološke osobitosti Vranskog jezera na otoku Cresu. *Prirodoslovna istraživanja riječkog područja, Prirodoslovni muzej Rijeka*, 257-265.
- Ožanić, N.; Rubinić, J. (2003.): The regime of inflow and runoff from Vrana Lake and the risk of permanent water pollution. *RMZ-Materials and Geoenviroment*, 50(1), 281-284.
- Petrik, M. (1958.): Hidrološki režim jezera Vrana. *Krš Jugoslavije*, 1, 109-161.
- Petrik, M. (1960.): Prilozi limnologiji jezera Vrana. *Krš Jugoslavije*, 2, 105-192.
- Petrik, M. (1961.): Raspoloživa količina vode u jezeru Vrani na Cresu. *Građevinar*, 13(4), 93-98.
- Popovska, C.; Bonacci, O. (2007.): Basic data on the hydrology of Lakes Ohrid and Prespa. *Hydrological Processes*, 21(5), 658-664.
- Rubinić, J.; Ožanić, N. (1992.): Hidrološke karakteristike Vranskog jezera na otoku Cresu. *Građevinar*, 44(8), 521-530.
- Szeroczynska, K. (2002.): Human impact on lakes recorded in the remains of Cladocera (Crustacea). *Quaternary International*, 95(6), 165-174.
- Teskeredžić, E.; Stilinović, B.; Teskeredžić, Z.; Tomec, M.; Malnar, M.; Hacmanjek, M.; Štancl, Ž.; Roman, Z.; Španović, B. (1990.): Preliminarna ihtiološka istraživanja Vranskog jezera na otoku Cresu. *IRB CIM LIRA*, 1-97.
- Tomec, M.; Teskeredžić, Z.; Teskeredžić, E.; Hacmanjek, M. (1996.): Fitoplankton Vranskog jezera na otoku Cresu. *Ribarstvo*, 54(3), 105-113.
- Turc, L. (1954.): Le bilan d'eau et des sols. *Troisième journée de l'hydraulique*, Alger, 36-43.

## ANALYSIS OF VARIATIONS IN WATER LEVELS OF THE VRANA LAKE ON THE CRES ISLAND

**Abstract.** The paper analyzes characteristic water levels measured in the Vrana Lake on the Cres Island in the period from 1929 to 2013. The objective of the analyses carried out in this period was an attempt, by application of primarily hydrological methods, to determine the key factors which caused the concerning trend of decrease of water levels in the lake since 1982. The Vrana Lake is a very complex hydrological and hydrogeological system, which is also under strong anthropogenic influences due to water pumping from the lake for water supply of the islands Cres and Lošinj. Additionally, its functioning is impacted by climate changes/variations. This is mostly related to the impact of increase in air temperatures in the past two decades, since no trend of changed annual precipitation quantities was recorded. Due to the large surface of the water mirror, a slight increase in air temperature can cause significant increase of evapotranspiration from the water surface of the lake. Through analyses conducted in this paper, it was determined that increase in the mean annual air temperature of 1 °C causes annual increase in evapotranspiration from the free water surface of about  $5.8 \times 10^6$  m<sup>3</sup> of water, and increase of evapotranspiration from the land surface of the basin of about  $1 \times 10^6$  m<sup>3</sup> water.

**Key words:** water level, air temperature, water balance, Vrana Lake, Cres Island, Croatia

## ANALYSE VON VERÄNDERUNGEN DES WASSERSPIEGELS DES VRANA-SEES AUF DER INSEL CRES

**Zusammenfassung.** Im Artikel werden charakteristische Wasserspiegel des Vrana-Sees auf der Insel Cres im Zeitraum zwischen 1929 und 2013 analysiert. Das Ziel dieser Analysen war, durch die Anwendung von vor allem hydrologischen Methoden die Schlüsselfaktoren zu ermitteln, die seit dem Jahr 1982 zur besorgniserregenden Absenkung des Wasserspiegels des Sees führen. Der Vrana-See ist ein sehr komplexes hydrologisches und hydrogeologisches System, das gleichzeitig unter starkem anthropogenen Einfluss steht, da der See die Inseln Cres und Lošinj mit Wasser versorgt. Auf das Funktionieren des Sees wirken auch die Klimaveränderungen und/oder Klimavariationen, vor allem der Einfluss der Lufttemperaturerhöhung in den letzten zwanzig Jahren, da kein Trend zur Änderung der jährlichen Niederschlagsmengen beobachtet wurde. Wegen der großen Wasserfläche des Sees kann eine kleine Erhöhung der Lufttemperatur eine bedeutende Erhöhung der Evaporation verursachen. Die Analysen haben gezeigt, dass die Erhöhung der mittleren jährlichen Lufttemperatur um 1°C jährlich eine Erhöhung der Evaporation von freier Wasserfläche von etwa  $5,8 \times 10^6$  m<sup>3</sup> Wasser verursacht und eine Erhöhung der Evapotranspiration von Bodenfläche des Einzugsgebietes von etwa  $1 \times 10^6$  m<sup>3</sup> Wasser.

**Schlüsselwörter:** Wasserspiegel, Lufttemperatur, Wasserbilanz, Vrana-See, Insel Cres, Kroatien