

DOI 10.51558/2303-5161.2025.13.13.121

Naučni rad

ANALIZA DOTOKA I KOEFICIJENTA OTICANJA ZA SLIVNO PODRUČJE, NA PRIMJERU HIDROAKUMULACIJE MODRAC

Munir Jahić*, Mufid Tokić**, Omer Kovčić***

**Dr.sc Munir Jahić, dipl.ing.građ., emeritus, Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet, tel: +38761183241, e-mail: munirjahic@gmail.com*

***Mufid Tokić, dipl.ing.građ.MA, JP "Spreca" d.d. Tuzla, Aleja Alije Izetbegovića 29/VII, Tuzla, Bosnia and Herzegovina, tel: +38761728428, e-mail: mufid.tokic@gmail.com*

****Dr.sc Omer Kovčić, dipl.ing.građ., JP "Spreca" d.d. Tuzla, Aleja Alije Izetbegovića 29/VII, Tuzla, Bosnia and Herzegovina, tel: +38761868123, e-mail: omer.kovcic@gmail.com*

Sažetak

Glavni zadatak višenamjenske akumulacije "Modrac" je uređenje režima voda u datom slivu uz donošenje odluka o količini ispuštene vode, kao i količini vode koju je potrebno zadržati za buduću upotrebu. Odluke se donose na osnovu dostupnih podataka i prognoznih podataka. Obzirom da nije urađen prognozni model, operator ovim kompleksnim procesima se mora oslanjati na prognoze koje u većoj ili manjoj mjeri nisu precizne. U praksi, operateri brane i akumulacije, u većini slučajeva, obično slijede pravila krivulja (zapremine, proticaja, i dr.), koje određuju radnje koje treba poduzeti u zavisnosti od trenutnog stanja sistema. Izgradnjom brane Modrac 1964. godine formirana je istoimena hidroakumulacija. Primarni ciljevi bili su obezbjeđivanje tehničke vode za industriju u tuzlanskoj regiji i ublažavanje nizvodnih poplava, kao i rekreaciju i druge namjene. U radu je prikazana analiza koeficijenta otjecanja u korelaciji godišnjih padavina i srednjih godišnjih dotoka za sliv višenamjenske akumulacije "Modrac" za period 1999 - 2024.

Ključne riječi: višenamjenska akumulacija, koeficijent oticanja, padavine, dotok, slivno područje

1. UVOD

Sadašnji način proizvodnje električne energije glavni je uzrok, uz ljudske aktivnosti, klimatskih promjena, dok je vodni režim prvi na udaru, sa svim svojim posljedicama. Klimatske promjene se ogledaju u sve češćim izmjenama hidroloških pikova, minimuma (suša) i maksimalnim (poplavama). Odnosno, visoke vode se povećavaju i javljaju se sve češće, dok niske vode i suše traju duže [1].

Hidroakumulacija "Modrac", kao višenamjenska akumulacija, nastala izgradnjom brane Modrac 1964. godine u tjesnacu Modrac na rijeci Spreči. Hidroakumulaciju čine rijeke Spreča i Turija sa pritokama. Ukupna površina slivnog područja u profilu brane je približno 1189 km², što čini preko 60% cjelokupnog sliva rijeke Spreče. Od ukupne površine sliva, rijeka Spreča zauzima 832 km², rijeka Turija zauzima 240 km², dok ostatak sliva pripada akumulaciji neposrednog sliva 117 km² [2].

Visinska kota normalnog rada akumulacije iznosi 200,00 m.n.m., akumulacija obezbjeđuje u prosjeku 2,30 m³/sek tehničke vode i 4,70 m³/sek kao hidrobiološki minimum za rijeku Spreču, gledajući nizvodno od brane (projektovano stanje) [2].

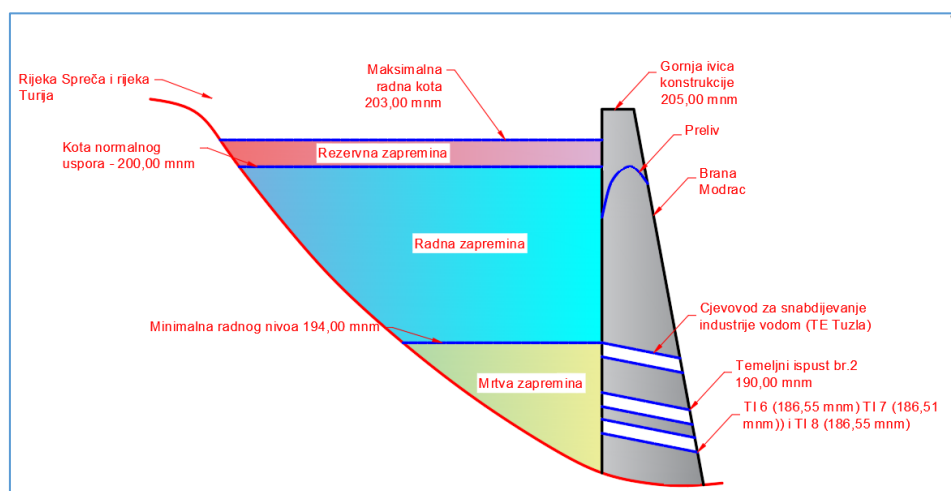
Višenamjenska akumulacija “Modrac” rješava nekoliko hidroloških i izuzetno ekonomskih aspekata kao što su snabdijevanje stanovništva i industrije, gradova Tuzle i Lukavca tehničkom vodom, ublažavanje poplavnog vala nizvodno od brane i akumulacije Modrac, proizvodnja električne energije u maloj hidroelektrani.

Međutim, stvarna količina vode u akumulaciji može varirati u kratkom roku u zavisnosti od padavina i drugih uslova [3].

Brana služi za djelimičnu kontrolu poplava, zadržavajući poplavni val ili dio poplavnih voda u akumulaciji, posebno tokom vršnog protoka, a zatim ispuštaju vode kroz temeljne ispuste po utvrđenoj proceduri operatera [4].

Imajući u vidu zadnja geodetska i hidrografska mjerenja, navedeni su tehnički podaci akumulacije “Modrac” [5]:

- površina akumulacije “Modrac” iznosi 16,69 km²,
- ukupna zapremina akumulacije “Modrac” iznosi 102.759.629,92 m³,
- korisna zapremina akumulacije “Modrac” iznosi 66.522.627,23 m³,
- maksimalna dubina akumulacije iznosi 14,94 m,
- srednja vrijednost dubine akumulacije iznosi 5,32 m,
- maksimalna širina akumulacije “Modrac” iznosi 2.411,17 m,



Slika 1. Karakteristike brane „Modrac“

Brana “Modrac” spada u visoke armirano – betonske lučne brane sa 11 kontrafora, u nastavku su navedene tehničke karakteristike brane, Slika 1:

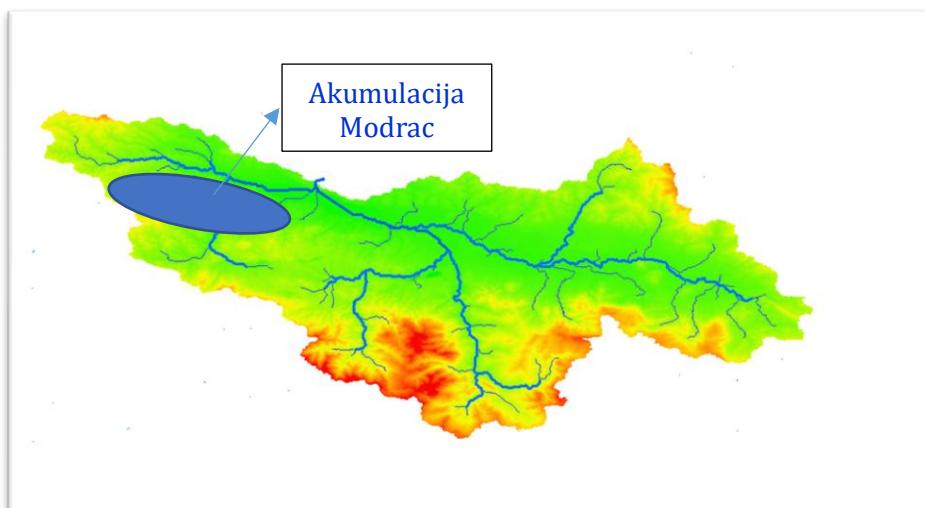
- visina konstrukcije $H = 33,35$ m;
- dužina krune brane $L = 205,0$ m;
- visinka kota gornjeg ruba brane iznosi 205,00 m.n.m;

- visinska kota preliva iznosi 203,00 m.n.m.;
- radni nivo brane iznosi 200,00 m.n.m.;
- minimalni radni nivo iznosi 194,00 m.n.m.;
- temeljni ispusti (broj: 2, 6, 7 i 8). Maksimalni ispust vode kroz temeljne ispuste iznosi $80.00 \text{ m}^3/\text{s}$ [6].

Pojava visoke vode je ekstremna hidrološka pojava koju definiše neuobičajeno visoki vodostaj, protok ili zapremina vode na određenom mjestu u određenom vremenskom periodu. Maksimalni zabilježeni vodostaj akumulacije „Modrac” je iznosio 203,42 m.n.m. usljed dugotrajnih padavina u maju 2014. godine. Uzroci i posljedice poplava se obično ne predviđaju, ali se mogu ublažiti. Posljedice poplava su ugroženost ljudskih života i materijalnih dobara, ogromne materijalne štete, uključenost velikog broja ljudi i resursa na terenu, socijalna nesigurnost stanovništva. [5].

Također, usljed erozije zemljišta u slivnom području akumulacije „Modrac” dolazi do povećane produkcije nanosa, koji dopijeva u akumulaciju, što za posljedicu ima taloženje istog u akumulaciji i smanjenja korisne zapremine iste. Prema literaturnim podacima, umanjene zapremine akumulacije, čak i 10 – 20 godina po njihovoj izgradnji, iznosi od 20 do 30% opće zapremine akumulacije [6].

Na slici 2, na digitalnom modelu terena (DEM) prikazano je slivno područje akumulacije „Modrac” sa hidrografskom mrežom rijeka i pritoka koje gravitiraju akumulaciji, [7].



Slika 2. Karta digitalnog modela terena (DEM karta) sliva akumulacije Modrac sa riječnim tokovima

U tabeli ispod je dat pregled svih zabilježenih poplavnih valova od formiranja hidroakumulacije „Modrac” pa do 2014. godine, [7].

Tabela 1. Pregled poplavnih talasa od 1965 do 2014 [9]

Vrijeme pojave poplavnog talasa	Maksima lni nivol H	Dotok Q_{inf}	Ispušta nje Q_{out}	Retenzija u akumulaciji	Padavine
	(m.a.s.l.)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	%	(mm)
14.4. – 24.4. 1985.	201,09	406,50	201,10	50,53	81,16
15. 25.7. 1986.	200,74	272,10	154,90	43,07	117,57
3.5- 13.5 1987.	201,60	730,00	331,45	54,60	112,30
17.6. – 27.6. 2001.	202,12	619,10	466,36	24,56	60,20
29.5. – 8.6. 2010.	201,18	411,11	252,54	38,57	92,60
14. – 23.5. 2014.	203,42	1602,0 0	1137,00	29,00	213,90

Hidrogrami poplavnih talasa određuju se na osnovu prirodnog dotoka u akumulaciju. Hidrogram isticanja određen je protokom kroz ispusne objekte, odnosno temeljne ispuste na brani Modrac [10].

Protok se kontroliše preko krive protoka na nizvodnoj stanici Modrac.

Količina ispuštanja regulisana je donjim ispustima i prelivnim objektima i zavisi od nivoa vode u akumulaciju. S obzirom da je količina proticaja ograničena pojavom velikih poplavnih talasa, dolazi do porasta nivoa vode u akumulacionom jezeru (akumulacioni naboj), i na taj način apsorbuje dio zapremine poplavnog talasa, odnosno vrši smanjenje maksimalnog protoka. Smanjenje maksimalnog protoka nizvodno kreće se od 16% do 55% zavisno o veličini vodnog vala i stanju nivoa akumulacije Modrac [9].

2. PROMJENE U KOLIČINI PADAVINA

Za jednostavniji pregled promjena u količini padavina za period od 1999. do 2024. godine, na slici 4 su prikazane maksimalne godišnje vrijednosti padavina. U tabeli 2, prikazane su vrijednosti srednjih godišnjih padavina za sliv višenamjenske akumulacije „Modrac“ za period 1999-2024.

Iz tabele 2. vidljivo je da je maksimalna vrijednost srednjih godišnjih padavina (1434 l/m²) ostvarena u 2014. godini. Svi podaci o padavinama preuzeti su sa klimatološke stanice „Modrac“ (K.S. Modrac) koja se nalazi na brani Modrac.

Tabela 2. Srednja godišnja količina padavina za slivno područje višenamjenske akumulacije „Modrac“ za period 1999. - 2024.

Year	P _{sum} (mm)	Year	P _{sum} (mm)
1999	903.00	2012	709.47
2000	403.40	2013	850.50
2001	1021.00	2014	1392.33
2002	746.30	2015	687.10
2003	781.10	2016	989.20
2004	1037.80	2017	843.85
2005	1133.20	2018	966.50
2006	1022.52	2019	896.90
2007	928.81	2020	915.60
2008	803.20	2021	814.00
2009	850.60	2022	820.32
2010	1258.10	2023	1030.58
2011	530.50	2024	673.25

3. DOTOK U HIDROAKUMULACIJU “MODRAC”

Na pritokama akumulacije “Modrac” nisu vršena mjerenja proticaja, odnosno dotoka u vode u akumulaciju, te se dotok vode u akumulaciju računao iz zavisnosti promjena zapremine i količine ispuštanja vode kroz temeljne ispuste i prelive, koristeći jednačinu vodnog bilansa. Uvažavajući činjenicu da su mjereni ulazni podaci, proračun se može smatrati dovoljno pouzdanim.

Proračun dotoka i ispuštanja vode se zasniva na slijedećim jednačinama:

1. Jednačina vodnog bilansa: $R = P - ET - IG - \Delta S$ (1)

gdje je:

P – padavine
R – oticanje
ET – evapotranspiracija
IG – duboke/neaktivne podzemne vode
 ΔS – promjene u taloženju materijala/nanosa

2. Jednačine dotoka i odliva uz korištenje jednačine vodnog bilansa:

$$\int_{t_0}^t Q_{dotok} dt = \int_{t_0}^t Q_{dotok} dt \pm \Delta V \quad (2)$$

$$Q_{isticanje} \cdot \Delta t = Q_{isticanje} \cdot \Delta t \pm \Delta V \quad (3)$$

gdje je:

$$Q_{dotok} \cdot \Delta t = V_{dotok}$$

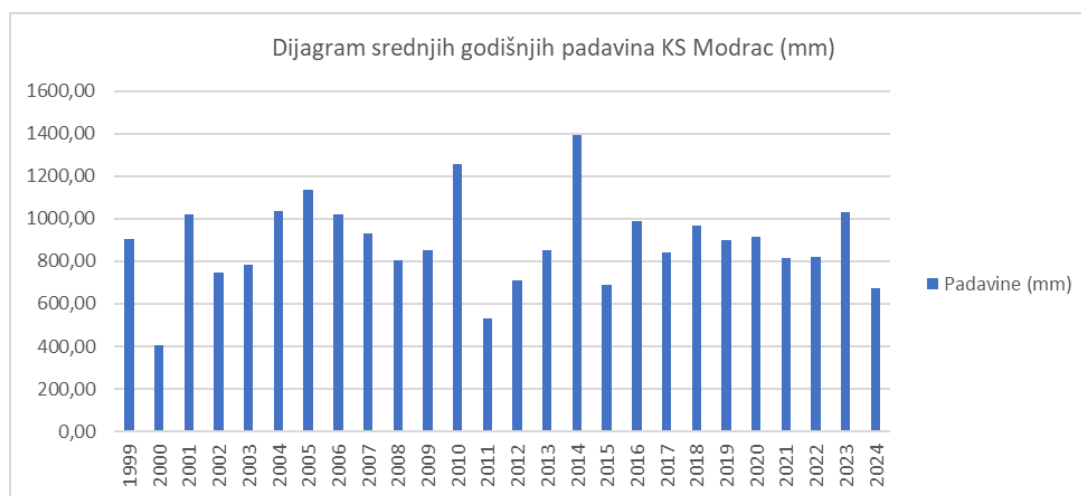
$$Q_{isticanje} \cdot \Delta t = V_{isticanje}$$

Q_{dotok} – količina vode koja dotiče u akumulaciju

$Q_{isticanje}$ – količina vode koja se ispušta iz akumulacije,

ΔV – količina vode koja se zadržava u akumulaciji

Kao ilustracija, na slici 4 je prikazan tipičan dijagram srednjih godišnjih padavina u akumulaciju, mjerenih na KS Modrac.



Slika 4. Dijagram srednjih godišnjih padavina na KS Modrac, od 1999-2024.

U sljedećoj tabeli prikazane su izračunate vrijednosti srednjih godišnjih dotoka za sliv višenamjenske akumulacije „Modrac“ za period 1999. - 2024. godine (2).

Tabela 3. Srednji godišnji dotoci za slivno područje višenamjenske akumulacije „Modrac“ za period 1999. - 2024.

Year	$Q_{\text{inflow}} (\text{m}^3/\text{s})$	Year	$Q_{\text{inflow}} (\text{m}^3/\text{s})$
1999	15.31	2012	9.53
2000	10.26	2013	12.83
2001	27.71	2014	15.98
2002	16.48	2015	16.03
2003	8.28	2016	13.48
2004	17.43	2017	14.88
2005	25.25	2018	17.10
2006	19.46	2019	15.02
2007	13.27	2020	15.51
2008	12.53	2021	8.48
2009	16.94	2022	11.78
2010	27.23	2023	17.02
2011	7.18	2024	9.28

4. KOEFICIJENT OTICANJA SA SLIVA AKUMULACIJE “MODRAC”

Prosječni godišnji koeficijent otjecanja η za slivno područje višenamjenske akumulacije „Modrac“ izračunat je na osnovu podataka o izmjeranim godišnjim količinama padavina i količini vode koja dotiče u višenamjensku akumulaciju a na osnovu jednačine vodnog bilansa (1). Također, prikazani su na godišnjem nivou za već razmatrani period 1999. - 2024. godine.

Prosječni koeficijent oticanja η dobijen je na osnovu sljedećeg oblika:

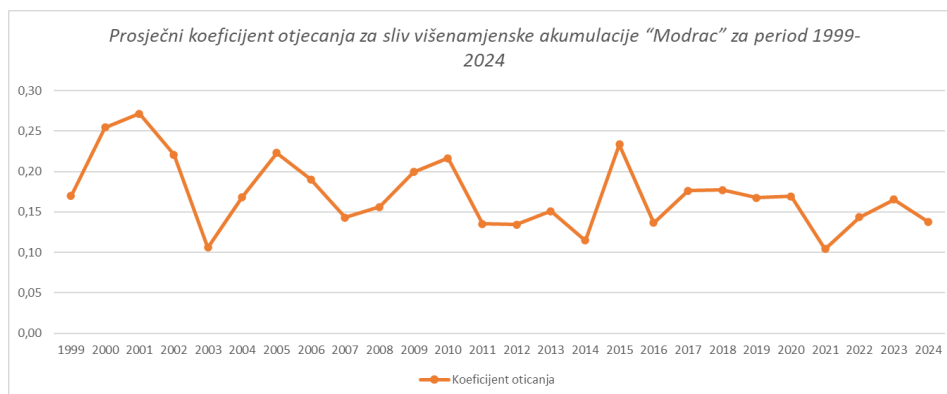
$$\eta = \frac{V_{oticanje}}{V_{padavine}} \quad (4)$$

gdje je:

$V_{oticanje}$ – količina oticanja vode (m^3)

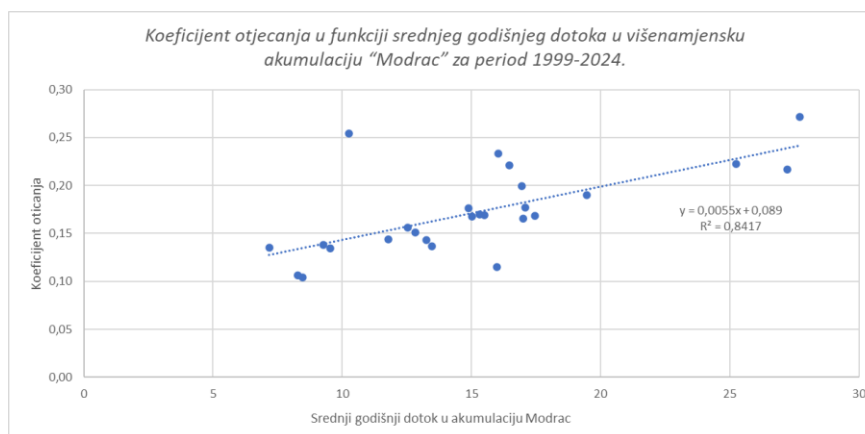
$V_{padavine}$ – količina padavina (m^3)

Na slici 5 prikazan je prosječni koeficijent otjecanja za sliv višenamjenske akumulacije “Modrac” za period 1999-2024.

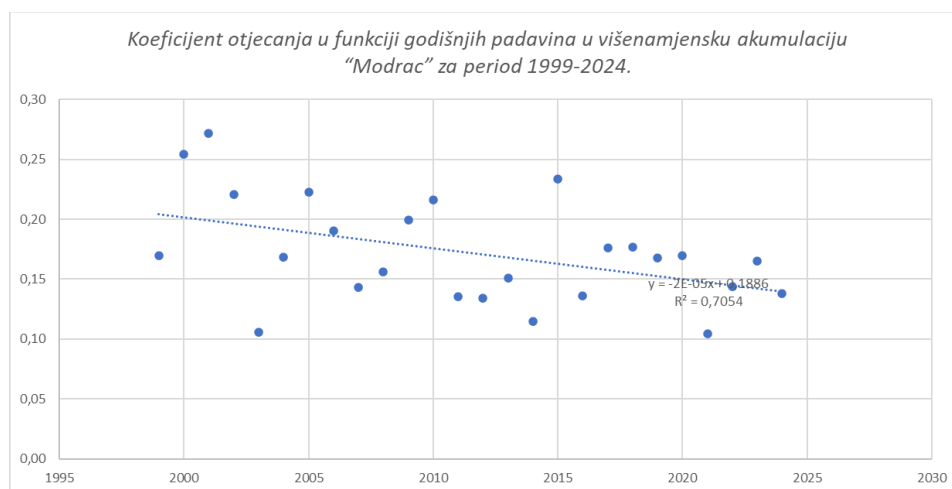


Slika 5. Prosječni koeficijent otjecanja za sliv višenamjenske akumulacije “Modrac” za period 1999-2024.

U nastavku rada prikazana je funkcionalna zavisnost između koeficijenta oticanja i izračunatog godišnjeg doticaja (Q_{god}) u višenamjensku akumulaciju (Slika 6) i prikazana je zavisnost koeficijenta oticanja i godišnje sume padavina P_{sum} (Slika 7) 1999 - 2024.



Slika 6. Koeficijent otjecanja u funkciji srednjeg godišnjeg dotoka u višenamjensku akumulaciju “Modrac” za period 1999-2024.



Slika 7. Koeficijent otjecanja u funkciji godišnjih padavina u višenamjensku akumulaciju "Modrac" za period 1999-2024.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je koeficijent otjecanja η u odnosu na srednji godišnji dotok u višenamjensku akumulaciju „Modrac“ i godišnji zbir padavina na slivu višenamjenske akumulacije „Modrac“ za period 1999-2021. Evidentno je da je vrijednost koeficijenta korelacije R u odnosu na koeficijent otjecanja i Q srednji godišnji prosječni dotok $R = 0,8417$ što je veoma pozitivna korelativna veza (slika 6), dok je u odnosu na koeficijent otjecanja i godišnji zbir padavina koeficijent korelacije $R = 0,7054$ što predstavlja pozitivnu korelativnu sredinu (slika 7).

Također, treba napomenuti da je vrijednost srednjeg godišnjeg koeficijenta otjecanja za slivno područje višenamjenske akumulacije „Modrac“ za razmatrani period bila najniža u 2002. godini, a najveća u 2004. godini (Slika 5.).

LITERATURA

- [1] Kovčić, O. (2017). " Upravljanje višenamjenskim akumulacijama sa studijom slučaja jezera Modrac ", Univerzitet u Tuzli, Rudarsko – geološko – građevinski odsjek, Doktorska disertacija.
- [2] The Associated Programme on Flood Management (APFM), (2006). Environmental Aspects of Integrated Flood Management, Geneva, Switzerland, 37-38.
- [3] Simonović, S. (2009). Managing Water Resources Methods and Tools for a Systems Approach, UNESCO i Taylor & Francis, ISBN: 978-92-3-104078-8 UNESCO
- [4] Kupusović, T., Suljić, N., Zigic, I., Kovčić O. (2014). Trend and possible causes of flood waves at the dam profile of multipurpose reservoir "Modrac", Bosnia and Herzegovina, Milankovitch Anniversary Symposium UNESCO Water Management in Transition Countries as Impacted by Climate and Other Global Changes, Lessons from Paleoclimate, and Regional Issues, pp. 120-124.
- [5] "Geodetsko - hidrografsko snimanje dna jezera i obale akumulacije do obrade izmjenjenih podataka," MIG d.o.o.. Slavonski Brod, 2012.

-
- [6] Jahić, M.; (2009). Hidrologija, Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Bihać
 - [7] Kupusović, T.; Vučijak, B.; Kovčić, O. (2015). Reservoir Modrac and its functioning during floods in May 2014., Hrvatske vode 23 91, pages 19-28, UDK 556.166(497.6)
 - [8] Initial National Report of Bosnia and Herzegovina under the United Nations Framework Convention on Climate Change, Banja Luka, 2009.
 - [9] Kovčić, O. (2011). Analiza valova protoka na profilu akumulacije “Modrac” u smislu propusne moći brane, Univerzitet u Tuzli, Rudarsko – geološko – građevinski odsjek, Magistarski rad
 - [10] Suljic, N., Kovcic O. (2018). Analysis of time oscillations of water on lake Modrac as a multi-purpose reservoir, Archives for Technical Sciences, Bijeljina, Year X, No. 18, pp. 31-40, ESCI Indexed.
 - [11] Jahić M. (2004) Prostorno planiranje i zaštita okoline, Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Bihać
 - [12] Koordinacijski tim za zaštitu akumulacije Modrac. Utjecaj otpadnih voda iz rudnika ugljena na akumulaciju Modrac, 2013.
 - [13] Jahić, M. (2008). „Uređivanje bujica“, Univerzitet u Sarajevu, Šumarski fakultet