

# Digitalna obrada hidrometeoroloških podataka sa sliva rijeka Neretve i Trebišnjice

Tijana Ružić, Tanja Rogač, Miloš Brajović i Miloš Daković

**Apstrakt**—U ovome radu tehnikama digitalne obrade signala analizirani su hidrometeorološki podaci prikupljeni sa teritorije oblasnog riječnog sliva rijeka Neretve i Trebišnjice. Analizirani su sređeni podaci iz Hidroloških godišnjaka i tzv. „sirovi“ podaci direktno preuzeti sa mjernih uređaja. Tokom istraživanja implementiran je metod za učitavanje i pripremu za digitalnu obradu „sirovih“ podataka. Analizirani podaci predstavljaju izmjereni vodostaj i temperaturu. Parametri signala analizirani su u vremenskom i frekvencijskom domenu.

**Ključne reči**— digitalna obrada signala; slučajni signali; hidrološki signali; meteorološki signali; statistički parametri; Fourier-ova transformacija

## I. UVOD

Digitalna obrada signala je oblast nauke i inženjeringa koja se jako brzo razvija u toku proteklih 40 godina [1]-[10]. Brz razvoj digitalne obrade signala je postignut prevashodno zahvaljujući velikom razvoju i napretku tehnologije izrade digitalnih računara [1]-[8]. Digitalna obrada signala ima izuzetno široku praktičnu primjenu u velikom broju oblasti, od kojih su neke: obrada i prenos slike [7], seizmologija [9], [10], hidrologija [11], [12], meteorologija, biomedicinski inženjering, itd.

Širok dijapazon oblasti primjene uslovio je razvoj veoma moćnih tehnika i metoda. Pored obrade signala u vremenskom domenu, mnogi veoma bitni aspekti analize i obrade uključuju upotrebu Fourier-ove transformacije i njenih derivata u cilju ispitivanja frekvencijskog sadržaja signala [1]-[5]. Za razliku od determinističkih, stohastički (slučajni) signali posjeduju karakteristike koje podrazumijevaju određivanje i upotrebu probabilističkih i statističkih parametara i veličina kojima je navedene signale moguće opisivati, kao što su srednje vrijednosti, varijanse, autokorelacije i kroskorelacije, momenti višeg reda, zatim funkcije raspodjele itd. [1], [6], [9].

Pored klasičnih tehnika analize i obrade signala u vremenskom i frekvencijskom domenu, zadnjih 30 godina aktuelna je i tzv. vremensko-frekvencijska analiza, koja nudi tehnike i metode za određivanje parametara vremenskih promjena spektralnog sadržaja signala [7], [9]-[11]. Vremenske promjene spektralnog sadržaja često nose informaciju koja je od krucijalnog interesa za neku konkretnu primjenu, pa je tzv. estimacija trenutne

frekvencije veoma bitna problematika u vremensko-frekvencijskoj analizi [9], [10].

U ovome radu analizirani su podaci dobijeni sa hidroloških i meteoroloških stanica. Analizirani su podaci koji izražavaju vodostaj i temperatura. Više tehničkih detalja o samim podacima dato je u nastavku rada. Takođe je dat kratak pregled primjene alata digitalne obrade signala na hidrološke i meteorološke signale. Pod hidrološkim i meteorološkim signalima se podrazumjeva sve ono što se u hidrologiji i meteorologiji može izmjeriti i izraziti brojem (vodostaji, protoci, temperatura, padavine itd). Tehnike digitalne obrade signala su korištene i za interpolaciju podataka koji nedostaju u mjerenju, konkretno u radu [5] interpolirani su i analizirani podaci o vodostaju na rijeci St. Jones u Sjedinjenim Američkim Državama.

Ostatak rada organizovan je na sljedeći način. Nakon ovog kratkog uvoda, u Sekciji 2 predstavljeni su tehnički detalji koji se tiču konkretno analiziranih podataka. Nakon toga, u drugoj podsekciji ove Sekcije dat je pregled osnovnih karakteristika predstavljenih signala primjenom klasičnih metoda obrade signala, imajući u vidu i činjenicu da su u pitanju stohastički procesi. Frekvencijska analiza, kao i primjer primjene vremensko-frekvencijske analize na realne hidrološke signale predstavljeni su u Sekciji 3. Izvedeni zaključci i smjernice daljih istraživanja dati su na kraju rada.

## II. PREDSTAVLJANJE ANALIZIRANIH PODATAKA

### A. Obrađivani podaci

Podaci čijim se predstavljanjem i analizom bavimo u radu preuzeti su od Agencije za vode Jadranskog mora – Mostar, kao i od JU „Vode Srpske“ Sektor za oblasni riječni sliv Trebišnjice u Trebinju. Dostupni su podaci koji predstavljaju sljedeće hidrometeorološke veličine:

- Vodostaj, jedinica: cm,
- Temperatura, jedinica: °C

Stanice sa kojih su prikupljeni podaci o vodostaju korišćeni u istraživanju nalaze se na lokacijama prikazanim na slici 1.

Za potrebe istraživanja korišćeni su „sirovi“ i sređeni podaci o vodostaju, tj. podatke koji su obrađeni za potrebe sastavljanja Hidrološkog godišnjaka [6]-[11]. Agencija nadležna za prikupljanje pomenutih podataka dostavila ih je u formi excel tabela (.xls). Obrađeni su sljedeći intervali podataka:

- HS Bačevići (srednja dnevna vrijednost vodostaja za 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 i 2009 godinu)
- HS Gabela (srednja dnevna vrijednost vodostaja za 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 i 2009 godinu)
- HS Mostar (srednja dnevna vrijednost vodostaja za 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 i 2009 godinu)

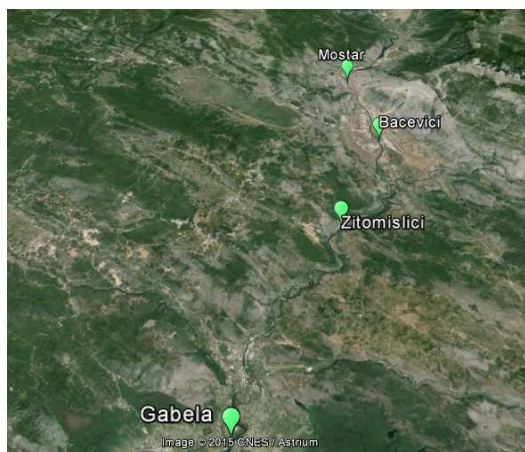
Tijana Ružić– Elektrotehnički fakultet Podgorica, Univerzitet Crne Gore, Đžordža Vašingtona bb 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: ruzictijana@yahoo.com).

Tanja Rogač– Elektrotehnički fakultet Podgorica, Univerzitet Crne Gore, Đžordža Vašingtona bb 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: tanja\_rogac@yahoo.com).

Miloš Brajović– Elektrotehnički fakultet Podgorica, Univerzitet Crne Gore, Đžordža Vašingtona bb 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: milosb@ac.me).

Miloš Daković– Elektrotehnički fakultet Podgorica, Univerzitet Crne Gore, Đžordža Vašingtona bb 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: milos@ac.me).

- HS Žitomislići (srednja dnevna vrijednost vodostaja za 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 i 2009 godinu)



Sl. 1. Lokacije HS stanica, preuzete sa Google Earth-a

Takođe su obrađeni sirovi podaci sa automatske hidrološke stanice Mostar. Pod izrazom „sirovi podaci“ smatraju se podaci direktno preuzeti sa uređaja za mjerenje (očitanje). Podaci se prikupljaju pomoću softvera OTT hydras. OTT hydras je komunikacijski softver, i osnovna funkcija mu je prikupljanje podataka sa udaljenih mjernih stanica preko modema. Sirovi podaci se pohranjuju u formi .txt i .xlsx fajlova čija je struktura prikazana u tabeli 1.

TABELA I  
PRIMJER ORGANIZACIJE DIJELA XLS DATOTEKE (VODOSTAJ) N B

1.1.2004 0:30	251
1.1.2004 1:00	290
1.1.2004 1:30	307
1.1.2004 2:00	267
1.1.2004 2:30	252

Iz navedenih primjera vidimo da se očitavanje podataka vrši na svako pola sata. Na raspolaganju su podaci od 01.01.2004. godine do 18.01.2012. godine. Ovaj oblik podataka je pogodan za digitalnu obradu, naravno uz prilagođavanje osa za taj prikaz. Tokom istraživanja implementirani su modeli za učitavanje podataka i njihovo prilagođavanje za digitalnu obradu.

TABELA II  
PRIMJER ORGANIZACIJE DIJELA TXT DATOTEKE (VODOSTAJ)

01.01.2004;0:30;251
01.01.2004;1:00;290
01.01.2004;1:30;307
01.01.2004;2:00;267

Analizirani meteorološki podaci su:

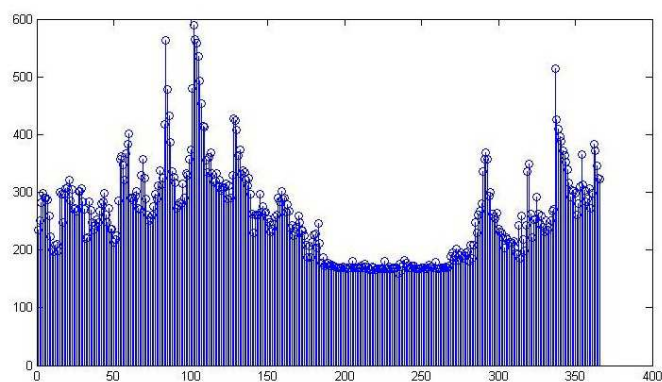
- MS Bileća: Srednja dnevna temperatura (°C). Interval od 1952-2008, sa određenim brojem nedostataka, forma .xls.

#### B. Osobine hidrometeoroloških signala

Vrijednosti i međusobne veze meteoroloških i hidroloških veličina zasnivaju se na fizičkim zakonima prirodnih pojava,

pa bi se moglo pomisliti da se to pojavljivanje može definisati pomoću poznatih zakona. Međutim, redovno se radi o mnoštvu geografsko-fizičkih parametara koji učestvuju u formiranju konkretne pojave, a koji nam u kvantitativnom smislu, a ponekad ni teorijski, nisu poznati. Zbog toga se izmjereni pokazatelji meteoroloških i hidroloških pojava smatraju **slučajnim signalima**.

Mjerenje tih meteoroloških i i hidroloških veličina daju **diskretni niz** podataka, u kojem su prikazane vrijednosti varijabli svaki sat, dan, mjesec godinu ili više, zavisno od dostupnih podataka. Na slici 2. je prikazan diskretni signal vodostaja koji predstavlja jednu godinu izmjerenog srednjeg dnevnog vodostaja na HS Bačevići. Svaki vremenski niz dobijen mjerenjem sadrži osim vrijednosti veličine i šum koji je rezultat netačnosti postupka mjerenja ili interpretacije podataka.



Sl.2. Signal srednjeg dnevnog vodostaja, 365 dana, hidrološka stanica Bačevići

Na grafiku sa slike 2. na apscisnoj osi je predstavljeno vrijeme mjerenja, izraženo u danima, a na ordinatnoj osi je vrijednost vodostaja izražena u centimetrima.

Složenost realnih podataka koji su predmet razmatranja ovog rada nameću potrebu prepoznavanja klasa signala kojima podaci pripadaju, kako bi se došlo do relevantnih zaključaka o posmatranim pojavama. Poznavanje klase signala nameće zaključke o određenim svojstvima koje ti signali posjeduju. U klasičnoj teoriji obrade signala slučajni signali se dijele na stacionarne i nestacionarne [1]-[9]. Za vremenski niz podataka se kaže da je stacionaran (u širem smislu) ako su svi njegovi statističkih parametari nezavisni od vremena, tj. ako je srednja vrijednost konstantna veličina, a auto-korelaciona funkcija ne zavisi od trenutka posmatranja [1], [2]. Signali koji su stacionarni u širem smislu su i ergodični, to jest, statistika signala sadržana je u pojedinačnim realizacijama tog signala. Nestacionarni signali mogu, a ne moraju biti ergodični. Ispitivanje navedenih svojstava podrazumijeva dizajniranje složenih numeričko-statističkih eksperimenata, i određuju smjernice ovog i budućih istraživanja predmetne problematike.

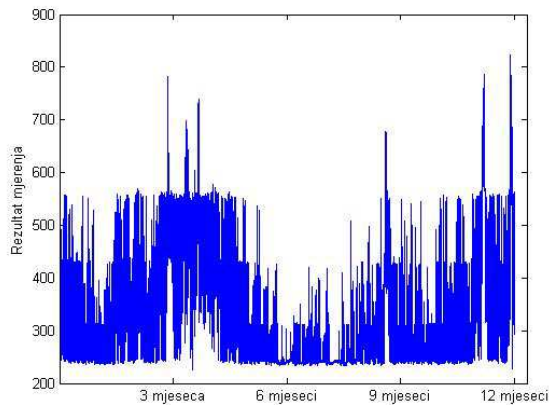
Imajući u vidu promjenljivost klimatskih karakteristika u vremenu, kao i uticaj djelatnosti čovjeka na promjenu prirodne sredine, može se konstatovati da su svi hidrološki i meteorološki signali, ako se posmatraju u makrorazmerama, **nestacionarni**. Nestacionarnost koju uzrokuju hidroklimate promjene održava se preko trendova, periodičnosti, itd. Za relativno manje raspone vremena one mogu zadržati karakteristike stacionarnih serija. Zbog toga pretpostavka o nestacionarnosti mora biti ispitana na dužim

vremenskim nizovima jer kod kratkih parcijalnih nizova ona vrlo vjerovatno ne može biti pouzdano ispitana.

### C. Statistički parametri hidrometeoroloških signala

S obzirom na stohastičku prirodu hidrometeoroloških signala, bitan alat njihove analize predstavljaju statistički parametri, kao što su maksimum, minimum, srednja vrijednost, vrijednost median i standardna devijacija posmatranih signala.

Za potrebe određivanja statističkih parametara posmatran je signal vodostaja, prikazan na slici 3., koji predstavlja polusatna mjerenja sa hidrološke stanice Mostar, tj. interval mjerenja je od 01.01.2005. do 31.12.2005. godine .



S12. Signal vodostaja mjereno limnigrafom, automatska hidrološka stanica Mostar

Srednja vrednost (mean) je statistička veličina koja predstavlja usrednjenu vrijednost signala. Za posmatrani signal vodostaja, slika 3, srednja vrijednost vodostaja je 92,50. Problem upotrebe srednje vrijednosti je taj da ona ne opisuje tipični rezultat. Ako jedan rezultat jako odstupa od vrijednosti ostalih podataka, onda će srednja vrijednost da bude po jakim uticajem ovog jednog odstupajućeg rezultata. Alternativna metoda je median, ili centar pozicije, ili srednji rezultat. Median posmatranog signala je 104,5 , tj. 50% svih vrijednosti vodostaja je manje od ili jednako toj vrijednosti i 50% svih podataka je veće ili jednako od nje.

Uz pomenute mjere lokacije važno svojstvo distribucije tih podataka je i kako su podaci raspršeni, često u odnosu na neku srednju vrijednost. Zato uvodimo nove pojmove kao što su: disperzija i standardna devijacija. Standardna devijacija zavisi od mjerne jedinice koja se koristi, što predstavlja njenu manu. Zato se često koristi koeficijent varijacije, računamo ga kao:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} 100\% \quad (1)$$

Koeficijent varijacije je relativna mjera disperzije i definiše se kao odnos standardne devijacije i aritmetičke sredine. Za prethodni primjer varijacioni koeficijent iznosi:

$$\frac{29,34}{92,25} 100\% = 31,81\% \quad (2)$$

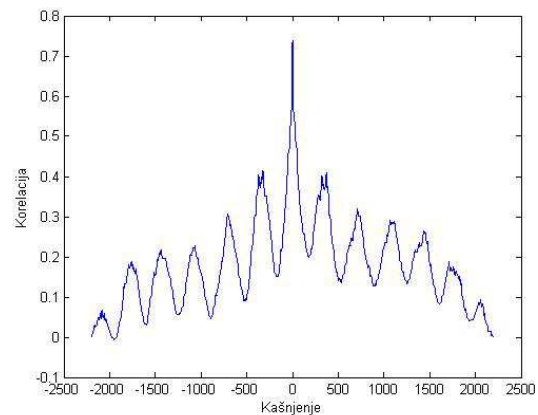
Ovaj nam podatak govori da je standardna devijacija temperatura u toku pet godina 62,21% srednje vrijednosti.

### D. Kroskorelacija hidrometeoroloških signala

Kroskorelacija dva signala otkriva zajedničke karakteristike tj. sličnost, povezanost ili zavisnost dva signala  $x(n)$  i  $y(n)$  [2]. U slučaju diskretnih signala ona se definiše kao:

$$r_{xy}(n, m) = E[x(n)y^*(m)], \quad (3)$$

gdje  $E[\cdot]$  označava operator matematičkog očekivanja, to jest srednje vrijednosti.



S.13. Kroskorelacija signala srednjeg dnevnog vodostaja sa stanica Žitomislić i Gabela (1 godina mjerenja)

Kroskorelacija signala srednjeg dnevnog vodostaja sa stanica Žitomislić i Gabela daje očekivane rezultate, tj. kroskorelacija ima maksimum u  $m=0$ , a naredni maksimumi se pojavljuju na rastojanju od jedne godine (365 vrijednosti mjerenja). Interesantno je spomenuti da za  $|m| > 0$  i dalje postoji velika kroskorelacija (međuzavisnost) između posmatrana dva signala, što daje informaciju o tome da su srednji dnevni vodostaji mjereni na dvijema različitim stanicama bili podložni određenim zajedničkim uticajima tokom godina.

### III. FREKVENCIJSKA ANALIZA HIDROMETEOROLOŠKIH SIGNALA

Predstavljanje signala kao funkcije vremena je prvi i najprirodniji način za njegovu prezentaciju, budući da su gotovo svi signali koji su posljedica prirodnih fenomena snimljeni kao funkcija vremena. Analiza signala u vremenskom domenu ima ograničenu praktičnu primjenu jer se informacije koje se na taj način mogu dobiti uglavnom svode na zakonitost promjene amplitude u toku vremena, kao i na neke, najčešće, površne informacije o spektralnom sadržaju. Predstavljanje signala u frekvencijskom domenu, dobijeno Fourier-ovom transformacijom, bitna je alatka za opisivanje signala, jer se na taj način signal razlaže na pojedinačne frekvencijske komponente. Budući da su u pitanju diskretne veličine, na ovom mjestu definisaćemo transformacioni par diskretne Fourier-ove transformacije (DFT):

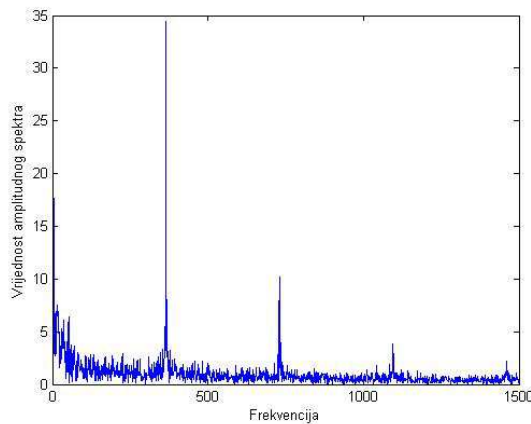
$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j\frac{2\pi}{N}nk}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1, \quad (4)$$

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k)e^{j\frac{2\pi}{N}nk}, \quad n = 0, 1, \dots, N-1, \quad (5)$$

pri čemu  $N$  označava broj tačaka u kojima se računa DFT, i mora biti jednak ili veći od dužine analiziranog signala, a jednačine (4) i (5) označavaju direktni i inverzni DFT, respektivno.

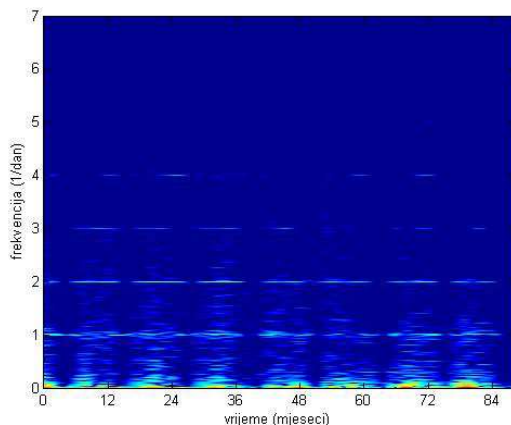
Analiza posmatranih signala pomoću Fourier-ove transformacije za cilj ima prijelaz iz prostora u kojem posmatrana hidrometeorološka pojava zavisi od vremena u

prostor zavisnosti od frekvencije. U tom su prostoru doprinosi raznih periodičkih komponenti signala (različite frekvencije) razdvojeni, a vremenska zavisnost je sakrivena. Na slici 4. Prikazana je Fourier-ova transformacija signala vodostaja, sa koje možemo da uočimo periodičnost na dnevnom nivou.



Sl. 4. Diskretna Fourier-ova transformacija signala vodostaja mjenenog limnigrafom HS Mostar (1 godina mjerenja), korak odabiranja je  $\Delta t = 0,5h$  pa je frekvencijski indeks izražen kao  $1/h$

Imajući u vidu složenost posmatranih signala, vremenske promjene spektralnog sadržaja takođe se mogu očekivati, što nameće vremensko-frekvencijsku analizu i njene alate [9], [10]. Primjenom Kratkotrajne Fourier-ove transformacije na signal vodostaja dobijamo spektrogram kao na slici 3. Značajno je pomenuti i pojavu periodičnosti na dnevnom nivou. Ova periodičnost je u pojedinim jasno vidljiva na slici 3 pri čemu se takođe primjećuje da se je dnevna promjena frekvencije nestacionarna (u kontekstu vremensko-frekvencijske analize), odnosno da zavisi od vremena.



Sl.5. Spektrogram signala vodostaja mjenenog limnigrafom HS Mostar (8 godina mjerenja)

#### IV. ZAKLJUČAK

U ovome radu dat je kratak pregled dostupnih hidrometeoroloških podataka. Impementiran je metod koji nam je omogućio čitanje pomenutih podataka i analizu istih tehnikama digitalne obrade. Ispitana su osnovna svojstva ovih signala, uz prikaz statističkih parametara. Takođe je izvršena frekvencijske analize ovih signala, kao i vremensko-frekvencijska analiza. Vremensko-frekvencijska analiza je pokazala periodičnost na dnevnom nivou.

U narednim istraživanjima analiziraćemo primjenu frekvencijske i vremensko-frekvencijske analize na

hidrometeorološke signale (na primjer S-metoda [3]). Takođe, buduća istraživanja uključuju i dizajn opsežnih statističkih eksperimenata na osnovu kojih bi se izvedeni zaključci o zajedničkom uticaju određenih faktora na posmatrane signale dodatno ispitali.

#### ZAHVALNICA

Zahvaljujemo se Agenciji za vodno područje Jadranskog mora – Mostar i JU „Vode Srpske“ Sektoru za oblasni riječni sliv Trebišnjice u Trebinju, na ustupljenim podacima.

#### LITERATURA

- [1] LJ. Stanković, *Digital Signal Processing with Selected Topics*. CreateSpace Independent Publishing Platform, An Amazon Company, November, 2015
- [2] A. Papoulis, *Signal analysis*, McGraw Hill, New York, 1977.
- [3] A. Papoulis, *The Fourier Integral and its Applications*, McGraw-Hill Companies, June, 1962
- [4] A. Antoniou, *Digital Signal Processing: Signals, Systems, and Filters*, McGraw-Hill, New York, 2005.
- [5] A. V. Oppenheim, W. S. Ronald, *Digital Signal Processing*, Prentice Hall, 1975.
- [6] A. Papoulis: *Probability, random variables, and stochastic processes*, New York: McGraw Hill, 1965.
- [7] M.Vetterli, J.Kovačević, V.K. Goyal, *Foundations of Signal Processing*, Cambridge University Press, 2014
- [8] Ljiljana Milić, Zoran Dobrosavljević, Jelena čertić, *Uvod u digitalnu obradu signala*, Akademska misao, Beograd, 2015
- [9] LJ. Stanković, M. Daković, and T. Thayaparan, *Time-Frequency Signal Analysis with Applications*. Artech House, Boston, March 2013
- [10] B. Boashash, editor, *Time-Frequency Signal Analysis and Processing – A Comp. Ref.*, Elsevier Science, Oxford, 2003.
- [11] Tanja Rogač, Tijana Ružić, Miloš Daković, *Primjena vremensko-frekvencijskih transformacija na hidrometeorološke podatke*, Infoteh, Jahorina 2016
- [12] Dragoljub Pokrajac, Nataša Reljin, Michael Reiter, Stephanie Stotts, *Signal processing of St. Jones River, Delaware water level data*, ETRAN, Herceg Novi, 2007
- [13] Hidrološki godišnjak 2004, Federalni hidrometeorološki zavod, „Agencija za vodno područje rijeke Save“, Sarajevo, „Agencija za vodno područje Jadranskog mora“, Mostar, Sarajevo 2007
- [14] Hidrološki godišnjak 2005, Federalni hidrometeorološki zavod, „Agencija za vodno područje rijeke Save“, Sarajevo, „Agencija za vodno područje Jadranskog mora“, Mostar, Sarajevo 2008
- [15] Hidrološki godišnjak 2006, Federalni hidrometeorološki zavod, „Agencija za vodno područje rijeke Save“, Sarajevo, „Agencija za vodno područje Jadranskog mora“, Mostar, Sarajevo 2009
- [16] Hidrološki godišnjak 2007, Federalni hidrometeorološki zavod, „Agencija za vodno područje rijeke Save“, Sarajevo, „Agencija za vodno područje Jadranskog mora“, Mostar, Sarajevo 2011
- [17] Hidrološki godišnjak 2008, Federalni hidrometeorološki zavod, „Agencija za vodno područje rijeke Save“, Sarajevo, „Agencija za vodno područje Jadranskog mora“, Mostar, Sarajevo 2012
- [18] Hidrološki godišnjak 2009, Federalni hidrometeorološki zavod, „Agencija za vodno područje rijeke Save“, Sarajevo, „Agencija za vodno područje Jadranskog mora“, Mostar, Sarajevo 2013

#### ABSTRACT

In this paper, hydrometeorological data collected from the territory of river basin district the rivers Neretva and Trebišnjica were analyzed by digital signal processing techniques. The analyzed data are arranged from the Hydrological Yearbook of the so-called. "Raw" data is downloaded directly from the measuring devices. During the research methods to load and preparation for digital processing "raw" data was implemented. The analyzed data are the measured water and temperature. In addition to presenting these signals as a function of time, there is a brief overview of frequency analysis.

#### THE APPLICATION OF DIGITAL SIGNAL PROCESSING ON WEATHER DATA

Tijana Ružić, Rogač Tanja, Miloš Brajović, Miloš Daković