

# Analiza kakvoće otpadne vode na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda primjenom metode RAPS

---

**Marget, Mateja**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:746282>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-10-03**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**GEOTEHNIČKI FAKULTET**

**MATEJA MARGET**

**ANALIZA KAKVOĆE OTPADNE VODE NA UREĐAJU ZA  
PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA PRIMJENOM METODE  
RAPS**

**DIPLOMSKI RAD**

**VARAŽDIN, 2019.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**GEOTEHNIČKI FAKULTET**

**DIPLOMSKI RAD**

**ANALIZA KAKVOĆE OTPADNE VODE NA UREĐAJU ZA  
PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA PRIMJENOM METODE  
RAPS**

**KANDIDAT:**

**MATEJA MARGET**

**MENTOR:**

**Doc. dr. sc. BOJAN ĐURIN**

**KOMENTOR:**

**Izv. prof. dr. sc. ANITA**

**PTIČEK SIROČIĆ**

**VARAŽDIN, 2019.**



## ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnica: MATEJA MARGET  
Matični broj: 186 - 2017./2018.  
Smjer: UPRAVLJANJE VODAMA

### NASLOV DIPLOMSKOG RADA:

ANALIZA KAKVOĆE OTPADNE VODE NA UREĐAJU ZA PROČIŠĆAVANJE  
OTPADNIH VODA PRIMJENOM METODE RAPS

Rad treba sadržati:

1. Uvod
2. Kakvoća otpadne vode
3. Pročišćavanje otpadnih voda
4. Pokazatelji kakvoće otpadne vode
5. Procesi u tehnologiji pročišćavanja
6. Metodologija
7. Zaključak
8. Literatura
9. Popis slika
10. Popis tablica

Pristupnica je dužna predati mentoru jedan uvezen primjerak diplomskog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade diplomskog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 11.03.2019.

Rok predaje: 09.09.2019.

Mentor:

Doc.dr.sc. Bojan Đurin

Drugi mentor/komentor:

Izv.prof.dr.sc. Anita Pticek Siročić

Predsjednik Odbora za nastavu:

Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović



## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom

Analiza kakvoće otpadne vode na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda primjenom metode RAPS

Rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom doc.dr.sc. Bojana Đurina i komentorstvom izv. prof.dr.sc. Anite Ptiček Siročić.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da niti jedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 5. 9. 2019.

MATEJA MARGET

(Ime i prezime)

Marget Mateja

(Vlastoručni potpis)

*Veliku zahvalnosti, u prvom redu, dugujem svom mentoru doc.dr.sc. Bojanu Đurinu te komentorici izv.prof.dr.sc. Aniti Ptiček Siročić koji su mi pomogli svojim savjetima pri izradi diplomskog rada i što su uvijek imali strpljenja i vremena za moje brojne upite.*

*Također, zahvaljujem se kolegici univ.bacc.ing.amb. Anamariji Muhar na nesebičnoj pomoći oko detalja vezanih uz diplomski rad.*

*Najveća zahvala ide baki, djedu i mami, koji su mi velikim odricanjima omogućili studiranje te što su mi bili oslonac tijekom studiranja. Bez njihove pomoći zasigurno ne bi studiranje bilo lako te je ova diploma velikim dijelom i njihova.*

IME I PREZIME AUTORA: Mateja Marget

NASLOV DIPLOMSKOG RADA: Analiza kakvoće otpadne vode na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda primjenom metode RAPS

Voda je važan čimbenik u ljudskom zdravlju te bitan sastojak živih organizama i nužna za život svih živih organizama. Povećanjem broja stanovništva i porastom životnog standarda došlo je do povećane potrošnje vode, što je zapravo dovelo do porasta velike količine otpadne vode. Prije ispuštanja u okoliš, potrebno je otpadnu vodu pročistiti pomoću uređaja za pročišćavanje otpadne vode. Pročišćavanje otpadnih voda javnog sustava odvodnje Čakovca i prigradskih naselja (koji je mješovitog tipa) provodi se mehaničkim i biološkim postupcima, uz zaključnu obradu izdvojenog mulja. U ovom radu provesti će se analiza vrijednosti ulaznih i izlaznih vrijednosti ulaznih i izlaznih vremenskih nizova veličina kemijske potrošnje kisika (KPK), biološke potrošnje kisika (BPK<sub>5</sub>) i suspendiranih tvari na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda pomoću RAPS metode (*eng. Rescaled Adjusted Partial Sums*). Rezultati su pokazali da ulazni nizovi sadrže izraženije podnizove s obzirom na njihove srednje vrijednosti i trendove povećanja, odnosno smanjenja vrijednosti. Usporedbom ulaznih i izlaznih podnizova, vidljivo je da izlazni podnizovi ne osciliraju u velikoj mjeri s obzirom na to da izražavaju izlaznu kakvoću otpadne vode. Značajno smanjenje izlaznih vrijednosti pokazatelja utvrđuje kvalitetnu obradu ulazne otpadne vode.

KLJUČNE RIJEČI: voda, pročišćavanje otpadnih voda, pokazatelji kakvoće otpadne vode, RAPS metoda

## Sadržaj:

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. KAKVOĆA OTPADNE VODE</b> .....	4
<b>2.1. Sanitarne otpadne vode</b> .....	4
<b>2.2. Industrijske otpadne vode</b> .....	5
<b>2.3. Oborinske otpadne vode i procjedne vode</b> .....	5
<b>3. PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA</b> .....	7
<b>4. POKAZATELJI KAKVOĆE OTPADNE VODE</b> .....	11
<b>4.1. Fizikalni pokazatelji kakvoće vode</b> .....	11
<b>4.2. Kemijski pokazatelji kakvoće vode</b> .....	14
<b>4.3. Biološki pokazatelji kakvoće vode</b> .....	17
<b>5. PROCESI U TEHNOLOGIJI PROČIŠĆAVANJA</b> .....	20
<b>5.1. Fizikalni procesi</b> .....	20
<b>5.2. Kemijski i fizikalno-kemijski postupci</b> .....	26
<b>5.3. Biološki procesi</b> .....	33
<b>6. METODOLOGIJA</b> .....	41
<b>6.1. RAPS metoda</b> .....	41
<b>6.2. Uzorkovanje i karakterizacija</b> .....	43
<b>6.3. Rezultati i rasprava</b> .....	50
<b>7. ZAKLJUČAK</b> .....	126
<b>8. LITERATURA</b> .....	127
<b>9. POPIS SLIKA</b> .....	131
<b>10. POPIS TABLICA</b> .....	137



## 1. UVOD

Vodni resursi na Zemlji obnavljaju se kruženjem vode (slika 1). Voda je osnovni uvjet održavanja života te je upravo zbog toga važno utvrditi potrebe zavodom i načine korištenja. Razvoj industrije i tehnike doprinosi višem standardu i kvalitetnom životu, što se posebno ogleda u velikom porastu potrošnje vode, koja gradnjom vodoopskrbnih sustava biva lako dostupna svim grupama potrošača. Samim time dolazi do velikih količina otpadne (iskorištene) vode znatno izmijenjene kakvoće u odnosu na prvobitnu [1].



Slika 1. Ciklus kruženja vode u prirodi [2]

Voda je opće dobro i ima posebnu zaštitu Republike Hrvatske te je naslijeđe svih stanovnika Republike Hrvatske koje čuvamo, štitimo i racionalno koristimo. Kako bi se voda koristila za piće ne smije sadržavati tvari koje ugrožavaju ljudsko zdravlje te mora ispunjavati minimalne (parametarske) zahtjeve vezane uz mikrobiologiju, kemiju i izgled (npr. boja, miris, mutnoća,..) [3]. Pročišćavanje otpadnih voda je tehnološki proces koji se provodi na uređajima za pročišćavanje. Izbor postupaka pročišćavanja kojima će se podvrgnuti otpadna voda prije nego se ispusti u prirodnu sredinu ovisi

prvenstveno o količini i sastavu otpadne vode (vrsti otpadne vode), kao i o zahtijevanoj kakvoći vode na mjestu ispuštanja [4].

Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda grada Čakovca (slika 2) nalazi se uz jugoistočni ulaz u Čakovec, sjeveroistočno od prigradskog naselja Pustakovec te naselja Veliki Štefanovec na istoku i Gornji Vidovec na jugu [5].



**Slika 2. Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda Čakovec [5]**

Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda i objekti (kišni preljevi, kišni retencijski bazeni, transportni kolektori) izveden je za Čakovec i prigradska naselja za potrebe I. faze, s kapacitetom od 91 000 ES. Pročišćavanje otpadnih voda javnog sustava odvodnje Čakovca i prigradskih naselja koji je mješovitog tipa provodi se mehaničkim i biološkim postupcima uz zaključnu obradu izdvojenog mulja. Uređaj se sastoji od grube mehaničke rešetke, ulazne crpne stanice s četiri crpke, fine mehaničke rešetke, fine automatske rešetke, aeriranog pjeskolova – mastolova s pripadajućim pihalima i separatorom pijeska, mjerača dotoka, primarnih taložnica s crpilištem primarnog mulja, dva bioaeracijska bazena s kružnim tokom, dvije sekundarne taložnice, crpilišta povrata biološkog mulja, crpilišta viška biološkog mulja, kompresorske stanice, dozirne stanice za kemikalije, dva primarna zgušnjivača mulja, crpki za crpljenje primarnog zgusnutog mulja, dvije centrifuge za dehidraciju svježeg primarno zgusnutog mulja, stanice za

pripremu i doziranje otopine polielektrolita, silosa za negašeno vapno, cijevnog pužnog transportera za kemijski djelomično stabiliziran mulj, kemijsku stabilizaciju mulja i stroja za manipulaciju kemijski stabiliziranim muljem [5].

Utjecaji na kakvoću ulazne otpadne vode mogu biti prirodni i antropogeni. Prirodni utjecaji koji utječu na kakvoću otpadne vode su temperatura, oborine, isparavanje. Čovjek pripada antropogenom čimbeniku koji bitno utječe na kakvoću otpadne vode. Najveći udio potrošnje vode odnosi se na poljoprivredu, zatim industriju i kućanstva.

Cilj diplomskog rada je utvrditi da li nizovi pokazatelja kakvoće otpadne vode uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u Čakovcu, kao i nizovi ukupne dnevne količine oborina i srednje dnevne temperature zraka sadrže karakteristične podnizove s obzirom na njihove srednje vrijednosti i trendove povećanja, odnosno smanjenja vrijednosti. Navedeno će se izvršiti pomoću Rescaled Adjusted Partial Sums (RAPS) metode.

## **2. KAKVOĆA OTPADNE VODE**

Otpadne vode nastaju uporabom vode iz raznovrsnih vodoopskrbnih sustava za određene namjene, pri čemu dolazi do promjene prvobitnih fizikalnih (boja, okus, miris, temperatura, mutnoća), kemijskih (pH, tvrdoća, alkalitet, metali, ..) i mikrobioloških (*Escherichia coli*) pokazatelja. Otpadne vode također su dio hidrološkog ciklusa, odnosno voda koja se uzima za opskrbu stanovništva ili za kakve druge namjene sustavom odvodnje vraća se u prirodni okoliš. U otpadne vode svrstavaju se sanitarne, tehnološke, oborinske otpadne vode i procjedne vode [1].

### **2.1. Sanitarne otpadne vode**

Sanitarne otpadne vode nastale su uporabom sanitarnih trošila vode u kućanstvima, hotelima, uredima, ali i u objektima industrijskih i drugih proizvodnih pogona gdje postoje sagrađeni sanitarni čvorovi za radnike. Opterećene su organskom tvari pa je njihova osnovna značajka biorazgradivost (razgradnja uz pomoć mikroorganizama razlagača). Sanitarne otpadne vode razlikuju se od industrijskih otpadnih voda iako se vrlo često odvede istim kanalima. Prema stupnju biološke razgradnje razlikuju se tri stanja:

- svježa voda – otpadna voda u kojoj biorazgradnja još nije napredovala i koncentracija otopljenog kisika nije bitno manja od koncentracije u vodovodnoj vodi
- odstajala voda – voda u kojoj je sadržaj kisika jednak nuli te je kisik potrošen zbog biološke razgradnje
- trula voda (septička) – voda u kojoj je biorazgradnja napredovala i teče na anaeroban način (bez prisustva kisika)

Sanitarne otpadne vode sadržavaju veliki broj mikroorganizama, osobito bakterija i virusa, među kojima se mogu naći i patogeni mikroorganizmi [4].

## **2.2. Industrijske otpadne vode**

Industrijski tehnološki procesi međusobno su veoma različiti pa se i otpadne vode iz pojedinih industrijskih pogona razlikuju prema sastavu. Industrijske otpadne vode u načelu se mogu podijeliti u dvije osnovne skupine:

- biološki razgradive ili kompatibilne (npr. iz nekih prehrambenih industrija) koje se mogu miješati s gradskim otpadnim vodama (odnosno odvoditi zajedničkom kanalizacijom)
- u biološki nerazgradive ili inkompatibilne vode (npr. kemijska ili metalna industrija) koje se prije miješanja s gradskom otpadnom vodom moraju podvrgnuti određenom postupku pročišćavanja kako bi se kontrolirale toksične tvari koje su prisutne, zatim kako bi se izdvojile eksplozivne, korozivne i zapaljive tvari koje oštećuju kanalizacijske cijevi i objekte i u konačnici kako bi se uklonili inhibitori koji onemogućavaju rad uređaja za pročišćavanje [4].

## **2.3. Oborinske otpadne vode i procjedne vode**

Oborinske vode su bitan sastavni dio hidrološkog ciklusa te se uvjetno mogu smatrati čistim vodama, jer na svom putu ispiru atmosferu i otapaju ili prema površini zemlje prenose sve sastojke koji se na određenom području ispuštaju u atmosferu ili pak pod utjecajem vjetrova dolaze iz drugih znatno udaljenih krajeva. Primjer za to su tzv. kisele kiše (slika 3) koje ugrožavaju šume i tzv. crvene ili žute kiše (slika 4) koje nastaju kao posljedica ispiranja pustinjske prašine čak i u Africi, a taj problem u prvom redu valja rješavati kontroliranim ispuštanjem onečišćivača u atmosferu [4].



**Slika 3. Utjecaj kiselih kiša [6]**



**Slika 4. Crvena kiša [7]**

U skupinu oborinskih voda spadaju i vode koje potječu od topljenja snijega, koje poprimaju značajke vrlo onečišćenih voda [4].

Procjedne vode su podzemne vode filtrirane tečenjem kroz slojeve tla. Pri rješavanju odvodnje otpadnih voda, često kod objekata na padini brda ili kod dubokih podruma dolazi do procjeđivanja podzemne vode, koja se mora prikupiti posebnim kanalizacijskim sustavom odnosno drenažom i uključiti u zajednički odvodni sustav [4].

### 3. PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

Pročišćavanje otpadnih voda je tehnološki proces koji se provodi na uređajima za pročišćavanje. Uređaji za pročišćavanje otpadnih voda su vodne građevine s postrojenjima u kojima se pročišćavaju otpadne vode iz sustava javne odvodnje prije nego se ispuste u prirodni prijemnik. Prema stupnju pročišćavanja dijele se na prethodni stupanj pročišćavanja, prvi stupanj, drugi stupanj i treći stupanj pročišćavanja [4].

- a) Prethodni stupanj pročišćavanja je proces predobrade otpadnih voda (rashladnih, industrijskih, procjednih, oborinsko potencijalno onečišćujućih voda te ostalih otpadnih voda) u skladu sa zahtjevima za ispuštanje otpadnih voda u sustav javne odvodnje. Ovim stupnjem pročišćavanja uklanjaju se krupne plutajuće otpadne vode, šljunak i pijeska, a uključuje postupke rešetanja, usitnjavanja i u konačnici uklanjanja pijeska i masnoće [8].
- b) Postupcima prvog stupnja pročišćavanja se iz prethodno pročišćenih otpadnih voda prvenstveno uklanjaju taložive suspendirane tvari, uz istodobno smanjene biološke potrošnje kisika ( $BPK_5$ ). Ovi postupci temelje se na fizikalno-kemijskim procesima koji obuhvaćaju zgrušavanje (koagulaciju), miješanje i pahuljičenje (flokulaciju), taloženje i isplivavanje [9].

Taloženje je obvezan postupak prvog stupnja pročišćavanja. Ostali postupci pospješuju bržem i efikasnijem taloženju odnosno pročišćavanju. Zgrušavanjem dolazi do remećenja agregatne stabilnosti koloidnih čestica u otpadnoj vodi pomoću koagulanata (mineralne soli i polielektroliti), vrsta i doziranje sredstava za zgrušavanje određuje se ispitivanjem otpadne vode. Miješanje se provodi kako bi došlo do bržeg spajanja koloidnih čestica i koagulanata u otpadnoj vodi. Flokulacijom dolazi do spajanja koloidnih čestica (koje su prethodno destabilizirane procesom zgrušavanja) u veće pahuljice (flokule) koje se brže talože. Taloženjem se uklanjaju taložive raspršene tvari koje mogu biti organske ili anorganske [9].

Iz otpadne vode uklanja se najmanje 50 % suspendirane tvari, a vrijednost  $BPK_5$  se smanjuje barem za 20 % u odnosu na vrijednost ulazne vode (influenta) [4]. U

ovom stupnju pročišćavanja uklanjaju se velike nečistoće na rešetkama (velike npr. 10 cm), potom se podizanje vode vrši najčešće pužnom pumpom (3-6 mm). U pjeskolovu se uklanjaju pijesak i šljunak dok se u mastolovu uklanjaju masti i ulja [10].

- c) Drugi stupanj pročišćavanja primjenjuje se najčešće nakon prethodnog i prvog stupnja pročišćavanja. Dok na nekim uređajima koja su namijenjena za manja naselja, drugi stupanj slijedi odmah nakon prethodnog pročišćavanja [8]. Za drugi stupanj pročišćavanja uobičajeni su biološki postupci koji mogu biti nadopunjeni nekim fizikalno-kemijskim postupcima. Drugi stupanj pročišćavanja obuhvaća biološke procese kao što su taloženje, isplivavanje i dezinfekciju [9].
  
- d) Treći stupanj bazira se na fizikalnim (iz vode se uklanjaju mutnoća, boja, miris,..), kemijskim (iz vode se uklanjaju otopljene tvari, teški metali, mikroorganizmi,..) i biološkim procesima (uklanjaju se dušikovi i fosforni spojevi). Proces koji se odvija u trećem stupnju pročišćavanja su procjeđivanje, adsorpcija i membranski procesi. Procjeđivanjem se uklanjaju raspršene i koloidne tvari koje su zaostale u otpadnim vodama nakon bioloških ili kemijskih procesa. Adsorpcijom se tijekom procjeđivanja kroz sloj znatog materijala otopljene i koloidne tvari vežu na površinu krute tvari. Kruta tvar na čijoj se površini odvija ovaj proces naziva se adsorbent, a tvar koja se veže adsorbat. Učinak adsorpcije je visok i predstavlja završnu fazu pročišćavanja otpadnih voda. Membranski procesi su procesi pročišćavanja otpadnih voda pomoću polupropusnih membrana koje propuštaju vodu [9].



U pravilu se na uređajima za pročišćavanje uvijek instaliraju dvije tehnološke linije: linija vode (slika 5) i linija mulja (slika 6).

DIJELOVI TEHNOLOŠKE LINIJE (ČIŠĆENJA) OTPADNIH VODA																																																																									
Stupanj čišćenja	priprema otpadne vode	Prethodni i I. stupanj (mehanički)		II. stupanj Biološki/biokemijski		III. stupanj Fizikalno – kemijski, kemijski																																																																			
Cilj		odstranjivanje		odstranjivanje, izmjena		odstranjivanje																																																																			
		većih suspendiranih tvari	suspendiranih i drugih tvari	razgradnja organske tvari i nitrifikacija		dušikovi spojevi	popravlak pH	koloidi i dr.	organske tvari	ioni otopljenih tvari	plinovi	promijene tvari																																																													
Objekti i uređaji	egalizacijski i izravnavajuči bazeni	rešetke i sита	cijedenje	talozanje	dekantacija	cijedenje	floatacija	talozanje	karnusel	biološki reaktor	ispusti na tlo	aktivacijski bazeni	biološki filtri	truljenje	denitrifikacijski reaktori	neutralizacijske stanice	dozatori, mješalice, taložnici	kontaktni bazeni i filtri	kolone	klorne stanice, ozonizacija	ionex filtri	razni filtri	različiti uređaji	destilacijski objekti	kolone	različiti uređaji	spaljivaonice																																														
																												izravnavanje količine i sastava	cijedenje	talozanje	dekantacija	cijedenje	floatacija	talozanje	kombinacija bioloških procesa	aktivacija	biofiltracija	truljenje	denitrifikacija	neutralizacija	koagulacija	sorpcija	oksidacija	izanjena iona	filtracija kroz membranu	elektrokemijski procesi	destilacija	prenos plinova	radijacija – kemijski	spaljivanje																							
																																																			izravnavanje količine i sastava	cijedenje	talozanje	dekantacija	cijedenje	floatacija	talozanje	kombinacija bioloških procesa	aktivacija	biofiltracija	truljenje	denitrifikacija	neutralizacija	koagulacija	sorpcija	oksidacija	izanjena iona	filtracija kroz membranu	elektrokemijski procesi	destilacija	prenos plinova	radijacija – kemijski	spaljivanje

Slika 5. Dijelovi tehnološke linije otpadne vode [4]

DIJELOVI TEHNOLOŠKE LINIJE (ČIŠĆENJA) OTPADNIH VODA																																																																									
Stupanj čišćenja	priprema otpadne vode	Prethodni i I. stupanj (mehanički)		II. stupanj Biološki/biokemijski		III. stupanj Fizikalno – kemijski, kemijski																																																																			
Cilj		odstranjivanje		odstranjivanje, izmjena		odstranjivanje																																																																			
		većih suspendiranih tvari	suspendiranih i drugih tvari	razgradnja organske tvari i nitrifikacija		dušikovi spojevi	popravlak pH	koloidi i dr.	organske tvari	ioni otopljenih tvari	plinovi	promijene tvari																																																													
Objekti i uređaji	egalizacijski i izravnavajuči bazeni	rešetke i sита	cijedenje	talozanje	dekantacija	cijedenje	floatacija	talozanje	karnusel	biološki reaktor	ispusti na tlo	aktivacijski bazeni	biološki filtri	truljenje	denitrifikacijski reaktori	neutralizacijske stanice	dozatori, mješalice, taložnici	kontaktni bazeni i filtri	kolone	klorne stanice, ozonizacija	ionex filtri	razni filtri	različiti uređaji	destilacijski objekti	kolone	različiti uređaji	spaljivaonice																																														
																												izravnavanje količine i sastava	cijedenje	talozanje	dekantacija	cijedenje	floatacija	talozanje	kombinacija bioloških procesa	aktivacija	biofiltracija	truljenje	denitrifikacija	neutralizacija	koagulacija	sorpcija	oksidacija	izanjena iona	filtracija kroz membranu	elektrokemijski procesi	destilacija	prenos plinova	radijacija – kemijski	spaljivanje																							
																																																			izravnavanje količine i sastava	cijedenje	talozanje	dekantacija	cijedenje	floatacija	talozanje	kombinacija bioloških procesa	aktivacija	biofiltracija	truljenje	denitrifikacija	neutralizacija	koagulacija	sorpcija	oksidacija	izanjena iona	filtracija kroz membranu	elektrokemijski procesi	destilacija	prenos plinova	radijacija – kemijski	spaljivanje

Slika 6. Dijelovi tehnološke linije obrade mulja [4]

Svaki proces u tim tehnološkim linijama ima određenu tehnološku svrhu jer rad uređaja bitno utječe na kakvoću izlazne otpadne vode. Na uređajima za pročišćavanje otpadnih voda ispituje se ulazna i izlazna količina vode uzimajući u obzir čitav niz pokazatelja kakvoće otpadne vode kao što su temperatura, pH vrijednosti, kemijska potrošnja kisika (KPK), BPK<sub>5</sub>, suspendirane tvari, kisik, fosfor i dr [4].

#### **4. POKAZATELJI KAKVOĆE OTPADNE VODE**

Pojedina namjena vode ovisi o sastavu, svojstvima te o koncentraciji pojedinih tvari u vodi čime je određena kakvoća vode. Kakvoća i prirodni sastav voda ovisi o:

- klimatskim i hidrološkim obilježjima kao što su temperatura, količina i učestalost oborina
- kemijskim svojstvima i sastavu oborina
- vegetacijskim obilježjima
- kemijskom sastavu tla s kojim voda dolazi u kontakt te
- poroznosti i propusnosti stijena

Ocjenjivanje kakvoće voda temelji se na Zakonu o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14) i Uredbi o standardu kakvoće vode (NN 89/10, 73/13, 151/14, 78/15 i 61/16).

Prema graničnim vrijednostima pokazatelja vode se svrstavaju u pet vrsta:

- voda za piće
- voda za rekreaciju
- malo onečišćena voda
- jako onečišćena voda
- kakvoća otpadne vode

Kakvoća voda ocjenjuje se prema trima skupinama pokazatelja čije je poznavanje i određivanje važno za nadzor i upravljanje vodnim resursima [11].

##### **4.1. Fizikalni pokazatelji kakvoće vode**

Fizikalni pokazatelji ne određuju u potpunosti kakvoću i mogućnost upotrebe vode već njena svojstva s obzirom na izgled, boju, miris, okus i temperaturu. Raspršene tvari, mutnoća, boja, okus, miris i temperatura spadaju u fizikalne pokazatelje kakvoće vode [11].

### **a) Raspršene tvari**

Raspršene ili suspendirane tvari (slika 7) su krupnije čestice od otopljenih tvari koje se u vodama nalaze u obliku molekula i iona te mogu biti organskog ili anorganskog porijekla.



**Slika 7. Raspršene tvari u vodi [11]**

Prema dimenziji čestica mogu se klasificirati na otopljene tvari (dimenzija čestica do 1 nm), koloidi (dimenzija čestica od 1 nm do 1  $\mu\text{m}$ ) i raspršene tvari (dimenzija čestica preko 1  $\mu\text{m}$ ). Raspršene tvari djeluju kao onečišćivači i najčešće se određuju na terenu i/ili u laboratoriju te se mogu podijeliti na taložive koje se određuju pomoću Imhoffov-og stošca i netaložive koje se određuju filtriranjem i žarenjem [11].

### **b) Mutnoća**

Mutnoća vode (slika 8) ukazuje na stupanj čistoće vode te ju uzrokuju raspršene tvari (čestice gline i mulja, sitni živi organizmi, ...) vjetrovi, valovi i druga strujanja te ispuštanje otpadnih voda iz raznih područja ljudske djelatnosti. Mutnoća vode mjeri se turbidimetrom odnosno nefelometrom te se izražava kao postotak svjetlosti koji se upija ili raspršava u vodi u NTU („nephelometric turbidity units”) ili FTU („formazin turbidity units“) jedinicama [11].



**Slika 8. Vrijednosti mutnoće vode u NTU jedinicama [12]**

**c) Boja**

Boja (slika 9) nastaje kao posljedica apsorpcije i refleksije svjetlosti određene valne duljine pri čemu boja može biti *prividna* koja nastaje od raspršenih tvari i *prava* koja nastaje od otopljenih tvari.



**Slika 9. Obojenje vode [11]**

Obojenje vode može uzrokovati iglice koje padnu s borova, oksidi mangana i željeza, ispuštanje otpadnih voda iz industrija i dr. Boju treba odrediti na mjestu uzimanja uzorka i mjeri se fotometrijski, a izražava u jedinicama mg/Pt-Co ljestvice (platina-kobalt standardna otopina koja daje žutu boju) [11].

**d) Okus i miris**

Okus i miris prirodne vode potječe od plinova i raznih organskih tvari koje su nastale aktivnostima vodenih organizama te od otopljenih soli. Mirisi mogu biti

prirodni (mirisi truleži, pljesni) koji nastaju prilikom razlaganja organskih tvari ili umjetni (fenoli, naftni proizvodi, sumporovodik, ...) koji se javljaju prilikom antropogenog onečišćenja vode. Miris i okus određuje se čovjekovim osjetilima [11].

#### ***e) Temperatura***

Temperatura prirodnih voda povezana je s temperaturom okoliša te se mijenja tijekom godine odnosno ovisno o godišnjim dobima, a o njoj ovise fizikalna i kemijska svojstva vode. Temperatura vode mjeri se termometrima i izražava se u stupnjevima Celzijus (°C) i/ili Kelvina (K) [11].

### **4.2. Kemijski pokazatelji kakvoće vode**

Kemijski pokazatelji kakvoće vode u velikoj mjeri određuju stanje pojedinog vodnog sustava. Kemijske tvari koje se nalaze u vodi mogu se podijeliti na:

- tvari koje se nalaze u prirodnim vodama
- tvari koje po sastavu i/ili koncentraciji onemogućuju upotrebu vode
- tvari koje po sastavu i/ili koncentraciji ne utječu značajno na upotrebu vode

Najčešći kemijski pokazatelji koji određuju kakvoću vode su tvrdoća, alkalitet, pH, organske tvari, metali, otopljeni plinovi, ukupno otopljene tvari, hranjive tvari te ostali kemijski pokazatelji [11].

#### ***a) Tvrdoća***

Tvrdoća vode (slika 10) definira se kao zbroj masenih koncentracija kalcijevih i magnezijevih soli. Jedan od nepoželjnih posljedica tvrde vode je stvaranje kamenca. Tvrdoća vode obuhvaća tri pojma:

- ukupna tvrdoća koju čine sve soli kalcija i magnezija
- karbonatna tvrdoća koju čine sve kalcijevi i magnezijevi karbonati i hidrogen karbonati te se takva tvrdoća može ukloniti prokuhavanjem vode

- nekarbonatnu (stalnu) tvrdoću uz prisustvo navedenih kationa čine i sulfati, kloridi, nitrati, a u manjoj mjeri borati, jodidi i ostali kationi



**Slika 10. Utjecaj tvrdoće vode na kupaonsku miješalicu [13]**

### ***b) Alkalitet***

Alkalitet odnosno bazičnost vode čine hidroksidi, karbonati i bikarbonati (hidrogenkarbonati) alkalnih i zemno alkaljskih metala, uglavnom natrija, magnezija i kalcija. Alkalitet se određuje titracijom vode pomoću otopine kloridne kiseline ili sumporne kiseline uz indikatore fenolftalein i metiloranž. Alkalitet vode izražava se kao sadržaj  $\text{CaCO}_3$  u mg/l vode [11].

### ***c) pH***

pH vrijednost (izraz 1) predstavlja koncentraciju vodikovih iona u vodi, a pokazuje kiselost ili lužnatost otopine. pH vrijednost prirodnih voda kreće se u intervalu od 5.5. do 8.6 dok je kiselost prirodnih voda posljedica razgradnje različitih biljaka pri čemu nastaju humusne ili fulvijske kiseline. Niska pH vrijednost voda može biti kao posljedica ispuštanja različitih vrsta otpadnih voda u prirodne vode. pH se najčešće mjeri pomoću univerzalnog indikatorskog papira i/ili pH metrom [11].

$$pH = -\log(H^+) / (\text{mol} / \text{dm}^3) \quad (1)$$

#### ***d) Organske tvari***

Organske tvari u prirodnim vodama mogu se nalaziti u raspršenom i/ili otopljenom stanju, a posljedica su odvijanja biokemijskih procesa u vodi, ispuštanja gradskih i industrijskih otpadnih voda. Organske tvari dijele se na biološki razgradljive i nerazgradljive tvari. Razgradljivu tvar najčešće koriste mikroorganizmi kao hranu pri čemu se troši kisik dok se razgradnjom organske tvari povećava koncentracija ugljikovog dioksida pri čemu dolazi do smanjenja pH vrijednosti. Pokazatelj količine razgradljive tvari u vodi je petodnevna biokemijska potrošnja kisika (BPK<sub>5</sub>) pri 20 °C koja se izražava kao mg/l O<sub>2</sub>. Organske tvari koje se sporo razgrađuju ili se ne razgrađuju nazivaju se nerazgradljivim tvarima. Pokazatelj količine nerazgradljive tvari je kemijska potrošnja kisika (KPK) koji je dobiven iz potrošnje oksidacijskog sredstva te se izražava u mg/l O<sub>2</sub> [11].

#### ***e) Metali***

U vodu dopijevaju određene koncentracije metala zbog ispiranja tla, otapanja različitih stijena i minerala te zbog ispuštanja otpadnih kućanskih i industrijskih voda. Za sve vrste voda potrebno je poznavati prirodne (temeljne ili pozadinske) koncentracije metala kako bi se mogao procijeniti antropogeni utjecaj na kvalitetu voda. Metali u vodi mogu se podijeliti na otrovne (arsen, kadmij, barij, olovo,...) i neotrovne (natrij, željezo, aluminij,...) metale. Metali koji su prisutni u vodi mogu se najčešće odrediti spektroskopskim i/ili spektrofotometrijskim te kromatografskim metodama [11].

#### ***f) Otopljeni plinovi***

U vodi se nalaze otopljeni plinovi, krute tvari i tekućine. Plinovi se mogu otapati u kišnim kapima u atmosferi, u površinskim vodama i podzemnoj vodi, a i u vodi se mogu naći plinovi koji su nastali kao produkt raznih industrijskih i prirodnih procesa. Najčešće se od otopljenih plinova određuje koncentracija kisika, ugljik-dioksida i sumporovodika [11].



#### ***g) Ukupno otopljene tvari***

Ukupno otopljene tvari (eng. *total dissolved solids*, TDS) u vodi čine anorganske soli koje potječu od prirodnih izvora i onečišćenja. Otopljene tvari u vodi mogu se nalaziti u obliku iona ili molekula i spojeva koji nisu ionizirali te kao posljedica otapanja prolazom vode kroz atmosferu i otjecanjem po površini tla ili u podzemlju. Ukupno otopljene tvari utvrđuju se kao tvari koje ostaju nakon cijeđenja vode, a određuju se isparavanjem na 105 °C kao „suhi ostatak procijeđene vode“ u mg/l. Potom se suhi ostatak žari na 600 °C pri čemu će organske tvari izgorjeti dok će anorganske tvari ostati [11].

#### ***h) Hranjive tvari***

Hranjive tvari potrebne su za rast i proizvodnju organske tvari (alge, biljke, ...), a najvažniji su dušik i fosfor. Dušik u vodu dopijeva iz atmosfere kao produkt razgradnje organske tvari te ispiranjem poljoprivrednih površina. Spojevi dušika odnosno nitrati u prevelikim koncentracijama su otrovni za ljude i životinje. Organski vezani fosfor u vodi se može pojaviti kao suspendirana tvar, a povećana koncentracija često je rezultat razgradnje pesticida koji sadrže fosfor. Spojevi fosfora odnosno fosfati nisu otrovni ali u povećanim koncentracijama fosfora u vodi može doći do eutrofikacije vodenog sustava [11].

### **4.3. Biološki pokazatelji kakvoće vode**

Biološkim pokazateljima ocjenjuju se organizmi na kojima je moguće sa sigurnošću pratiti promjene staništa. Određivanjem bioloških pokazatelja postoji mogućnost dobivanja pretpostavki o stanju pojedinih vodnih staništa te stanju promatranog vodnog sustava. Najčešći biološki pokazatelji koji se određuju su stupanj saprobnosti, stupanj biološke proizvodnje, mikrobiološki pokazatelji, stupanj otrovnosti i indeks razlike [11].

#### ***a) Stupanj saprobnosti***

Biološka metoda kojom se ocjenjuje čistoća vode prema vrsti karakterističnih mikroorganizama. Postoji četiri stupnja saprobnosti:

- oligosaprobna voda – je voda prve vrste po kakvoći, a karakteriziraju je velika prozirnost uz dovoljno otopljenog kisika
- beta-mezosaprobne vode – su nizinske vode s dovoljno otopljenog kisika (6mg O<sub>2</sub>/L) bogate biocenozе odnosno zajednice organizama različitih vrsti biljaka, životinja, gljiva i mikroorganizama u jednom ograničenom životnom prostoru
- alfa-mezosaprobne vode – su vode u koje se ubrajaju rukavci rijeka, ribnjaci, bare i melioracijski kanali
- polisaprobna voda - je voda velikog onečišćenja, voda je mutna, prisutni je veliki broj bakterija te u toj vodi prevladavaju anaerobni uvjeti

### ***b) Stupanj biološke proizvodnje***

Stupanj biološke proizvodnje nekog sustava ovisi o količini raspoložive hrane (trofikaciji). Prema stupnju trofije vodeni sustav dijeli se na siromašne hranjivom tvari (oligotrofne i ultraoligotrofne), srednje bogate (mezotrofne) i bogate (eutrofne i hipereutrofne). Hranjive tvari koje uzrokuju trofikaciju mogu dospjeti u vodne sustave s raznih slivova, kruženjem biogenih tvari u sustavu, prirodnim procesima te značajne količine hrane mogu biti unesene uslijed ljudskih djelatnosti. Najčešće se kao pokazatelj stupnja biološke proizvodnje koriste: ukupan fosfor (mgP/m<sup>3</sup>), ukupan broj stanica (broj stanica/L), organska proizvodnja (gC/m<sup>2</sup>xgod), klorofil (mg/m<sup>3</sup>) i prozirnost (m) [11].

### ***c) Mikrobiološki pokazatelji***

Različiti mikroorganizmi uvijek su prisutni u vodi koji pomažu pri razgradnji organskih tvari i doprinose biološkom samopročišćavanju vode. Mnogi patogeni mikroorganizmi (virusi, bakterije, ...) izazivaju bolesti ako se voda koristi za vodoopskrbu, proizvodnju prehrambenih proizvoda i razonodu. Stanje kakvoće vode utvrđuje se „organizmom pokazateljem“, a najčešće se određuju koliformni organizmi odnosno ukupni koliformi i fekalni koliformi. U koliformne organizme spadaju bakterije koje potječu iz probavnog sustava (*Escherichia coli*, *Enterococcus*) i bakterije koje se mogu razvijati na tlu (*Enterobacter*) te je prilikom određivanja ukupnih koliforma teško odrediti njihovo porijeklo. Ukoliko se utvrđuju fekalni

koliformi, za njih je moguće s većom sigurnošću utvrditi njihovo porijeklo odnosno da su u vodu dospjeli iz probavnih sustava ljudi i životinja [11].

***d) Stupanj otrovnosti***

Otrovna tvar je svaka tvar koja izaziva bolest, genetičke i kancerogene promjene, fiziološke smetnje, fizičke deformacije pa čak i smrt. Otpadne vode iz različitih industrija (kemijske, metalske,...) sadrže mnogo različitih otrovnih kemijskih spojeva koji se ugrađuju i talože u nižim organizmima te ulaskom u prehrambene lance povećavaju koncentracije opasnih tvari u ljudskom tijelu. Biološka metoda određivanja utvrđivanja stupnja otrovnosti koja se koristi je biotest [11].

***e) Indeks razlike***

Indeks razlike predstavlja matematički izraz za strukturu životne zajednice no nije dovoljan biološki pokazatelj stanja vodnog sustava već je koristan za složena biološka ispitivanja [11].

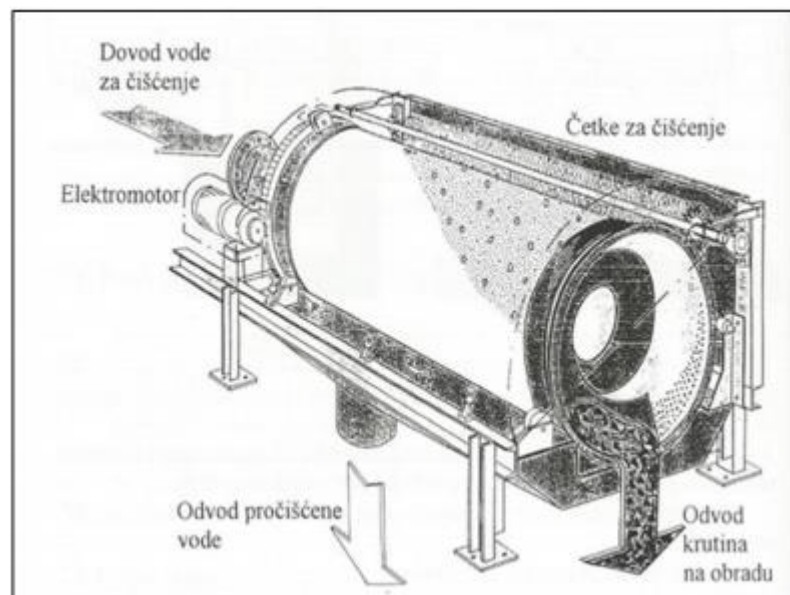
## 5. PROCESI U TEHNOLOGIJI PROČIŠĆAVANJA

### 5.1. Fizikalni procesi

Pod ovim postupkom najčešće se podrazumijeva uklanjanje predmeta koji plivaju te se zadržavaju na rešetkama ili u situ.

#### a) Rešetanje

Rešetanje je prvi obvezatni i najjednostavniji proces odvajanja plutajućih ili raspršenih tvari (papira, lišća, plastike...) iz vode kako bi se zaštitile crpke i drugi dijelovi opreme na uređaju za poboljšanje kakvoće vode ili na uređajima za pročišćavanje otpadnih voda. Rešetanje se može izvoditi na grubim ili na finim rešetkama ili pak na sitima (slika 11) [4].

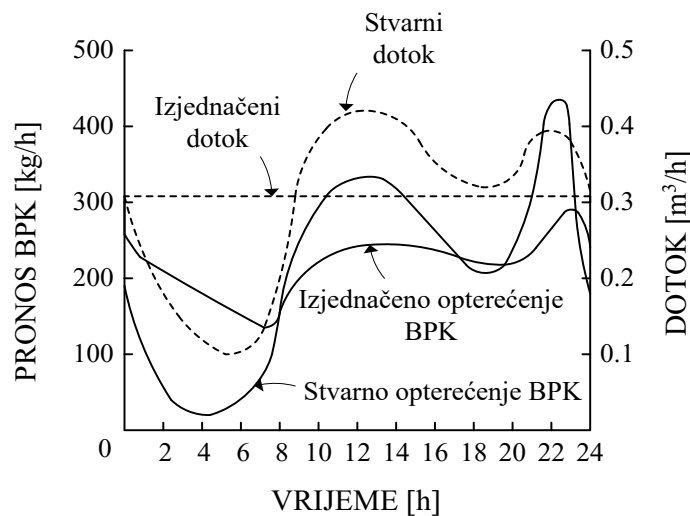


Slika 11. Mikrosita [11]

Tijekom dana otpadne vode imaju velike oscilacije u protoku koje se na uređajima uglavnom pojavljuju ujutro, u podne i navečer te je uzrok tih kolebanja raznovrsne aktivnosti stanovništva i rad industrijskih pogona [11].

**a) Izravnavanje / ujednačavanje (egalizacija)**

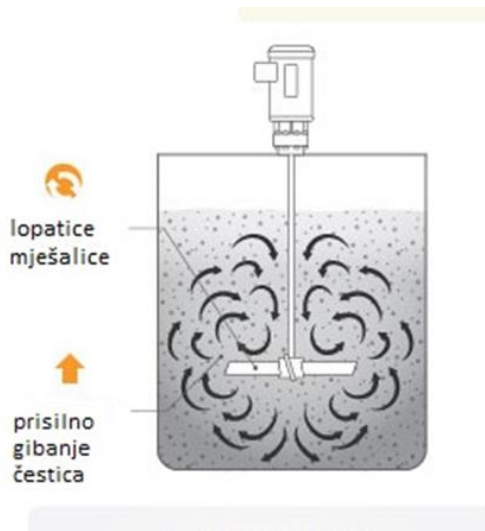
Tijekom dana otpadne vode imaju velike oscilacije u protoku i opterećenju otpadne vode, posebno u opterećenju organskom tvari (BPK<sub>5</sub>). Uređaji za čišćenje vode odnosno pojedini postupci uobičajeno se dimenzioniraju za pretpostavljeni mjerodavni dotok. Zbog poboljšanja učinka rada uređaja primjenjuje se postupak egalizacije, a posebno kod pročišćavanja inustrijskih otpadnih voda. Uzrok tih kolebanja su aktivnosti stanovništva i rad industrijskih pogona. Ovaj proces pridonosi da se postojeći kapaciteti objekata uređaja rabe učinkovitije, odnosno da se izbjegne izgradnja dodatnih jedinica za obradu otpadnih voda. Objekti za izravnavanje dimenzioniraju se prema ukupnom dnevnom dotoku i srednjem dnevnom dotjecanju na uređaj (slika 12). Da bi se poboljšao učinak izravnavanja, ali i spriječilo taloženje u spremniku, potrebno je predvidjeti miješanje otpadne vode [4].



**Slika 12. Protok i opterećenje organskom tvari prije i poslije izravnavanja [4]**

### ***b) Miješanje***

Miješanje (slika 13) se primjenjuje zato što je u mnogim fazama pročišćavanja bitno da se sadržaj otpadnih voda izmiješa s dodanom kemijskom tvari ili da bi se čestice nastale kemijskom reakcijom održale u suspenziji.



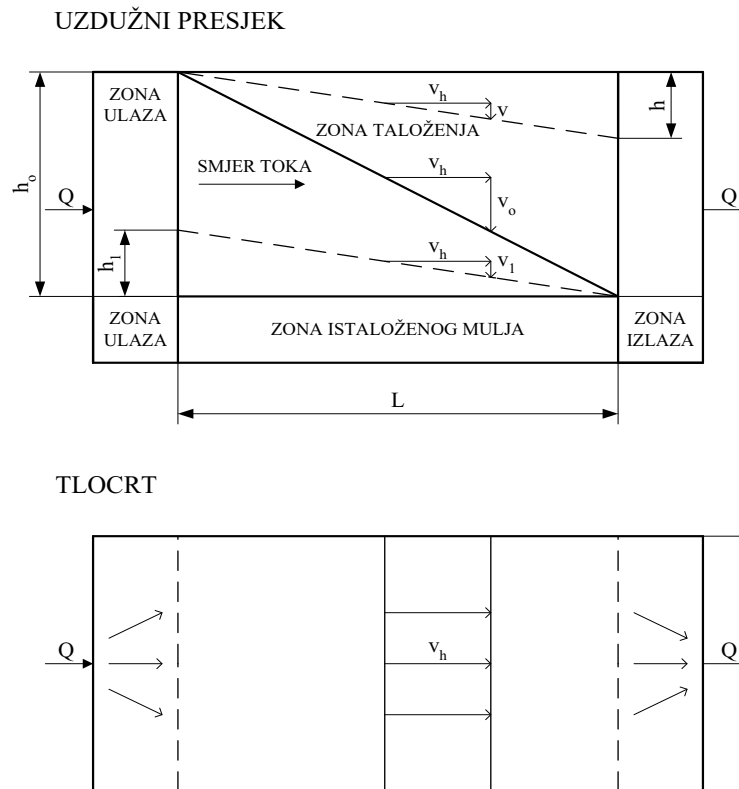
**Slika 13. Miješanje [14]**

Miješanje se može ostvariti pomoću crpki, miješanjem pomoću mehaničkih miješala, upuhivanjem zraka i dr. Razlikuje se brzo i sporo miješanje. Brzim miješanjem treba što prije izmiješati prisutne tvari u određenom volumenu kako bi nastale međusobne reakcije (npr. kod doziranja dodataka za koagulaciju i flokulaciju). Sporo miješanje mora održavati tvari koje su nastale kemijskim reakcijama u suspenziji što duže, kako bi se omogućilo stvaranje većeg broja flokula [4].

### ***c) Taloženje (sedimentacija)***

Sedimentacijom se uklanjaju taložive krutine iz tekućine pod utjecajem gravitacije. Taloženje sitnih čestica traje vrlo dugo pa se u praksi uglavnom primjenjuje za odvajanje čestica čija je brzina taloženja veća od  $10^{-5}$  m/s. Pri pročišćavanju voda postoje razne suspenzije koje se dijele na zrnaste i pahuljičaste. Zrnaste suspenzije (slika 14) se sastoje od čestica koje imaju konstantnu brzinu taloženja pri čemu se

primjenjuje Stokesov zakon. Proces taloženja ovisi o vremenu zadržavanja vode u taložniku, dubini taložnika i koncentraciji suspendiranih tvari u vodi [4].

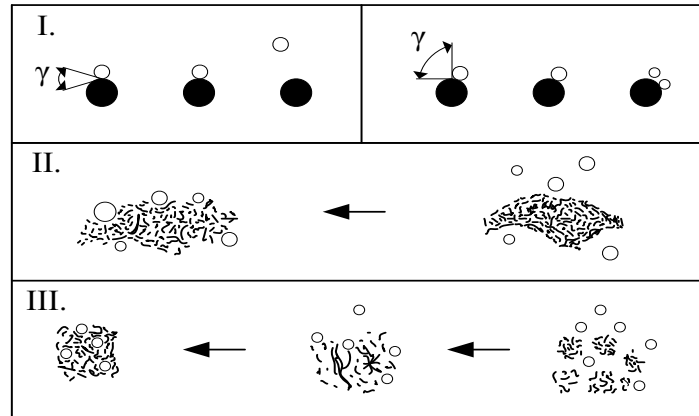


**Slika 14. Shematski prikaz zrnaste čestice [4]**

**d) Isplivavanje (flotacija)**

Isplivavanje ili flotacija je proces u kojemu se tvari iz tekućine odvajaju izdizanjem na površinu s koje se potom uklanjaju. Razlikuje se prirodno (spontano) isplivavanje tvari, čija je gustoća manja od gustoće tekućine, kao i prisilno isplivavanje pomoću raspršenog zraka (plina) na koji se vežu čestice koje mogu imati i gustoću veću od tekućine u kojoj se odvija proces. Pri pročišćavanju otpadnih voda isplivavanje se odvija u mastolovu (odvajaju se masti i ulja), a često i u zajedničkom objektu pjeskolovu – mastolovu (odvija se taloženje). Postupak se primjenjuje i pri procesu zgušnjavanja mulja.

Najviše se primjenjuje umjetno isplivavanje pomoću raspršenog zraka. Kompleksne čestice pri tlačnoj flotaciji (s obzirom na zrnasti ili pahuljičasti oblik suspenzija u vodi ili mulju) mogu nastati na tri načina (slika 15):



**Slika 15. Stvaranje kompleksnih čestica pri tlačnoj flotaciji [4]**

- I. način – zračni mjehurić se uhvati na površini zrnaste čestice a to zahvaćanje omogućava sila adhezija (ako je kut zahvata  $\gamma$  veći od  $0^\circ$  a manji od  $90^\circ$ )
  - II. način – zahvaćanje zračnog mjehurića na pahuljičastoj čestici nastaje kada su prije dolaska u flotacijski prostor već bile stvorene pahuljice, a zrak ih samo odvodi na površinu
  - III. način – istodobna tvorba mjehurića i pahuljica pri sniženju tlaka u flotacijskom prostoru
- procesi flotacije i flokulacije su povezani pri čemu se mjehurići zraka nalaze izravno na pahuljicama [4]

Isplivavanje još može biti:

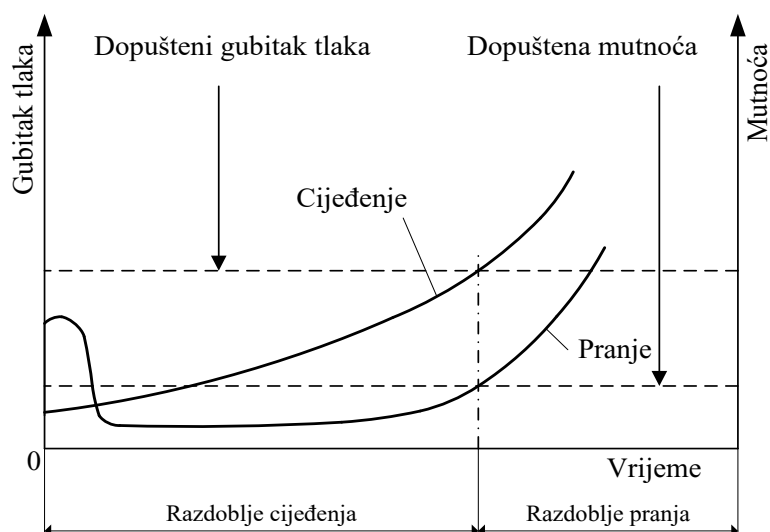
- biološko: odvija se aktivnošću mikroorganizama
- kemijsko: fizikalno-kemijski proces odvajanja tvari u kojem mjehurići plina nastaju reakcijom kemikalija ili neke druge tvari
- elektroflotacija: slična kemijskoj ali izvor plina dolazi iz elektrodijalize vode



- ionska flotacija: nastaje dodavanjem aktivnih iona obrnutog naboja od čestica koje se odvajaju [4]

### e) Cijeđenje – filtriranje

Najjednostavniji proces odvajanja krutina od tekućina na cjediljkama. Tekućina koja izlazi iz cjediljke naziva se procjedina ili filtrat, a može se cijediti kroz površinske i dubinske cjediljke. Površinski način cijeđenja najviše se primjenjuje pri obradi mulja ili kao završni proces pročišćavanja voda. Dubinsko cijeđenje primjenjuje se pri pročišćavanju vode za piće, a u novije doba i u procesima pročišćavanja otpadnih voda. Ciklus cijeđenja (slika 16) dijeli se na dva razdoblja, cijeđenje i pranje cjediljke [4].



**Slika 16. Ciklus cijeđenja [4]**

Tijekom razdoblja cijeđenja krutine se zadržavaju u ispuni cjediljke, što smanjuje učinak cijeđenja i povećava gubitak tlaka tijekom protjecanja vode kroz cjediljku sa smanjenim postotkom šupljina među ispunom. Kada se otpor u cjediljki približi raspoloživoj visini tlaka, prestaje protjecanje, a time i razdoblje rada cjediljki. Nakon toga slijedi razdoblje pranja cjediljke [4].

### **f) Adsorpcija**

Adsorpcija je proces u kojemu se tijekom filtracije otopljene i koloidne tvari kroz sloj zrnata materijala vežu na površinu krute tvari. Kruta tvar na čijoj se površini odvija ovaj proces naziva se adsorbent, a tvar koja se veže adsorbat. Pri adsorpcijskom postupku otopine moguće je adsorbirati cijele molekule ili pojedinačne ione. Sile koje vežu adsorbat na površinu adsorbenta mogu biti različitih svojstva, prema tome može biti fizikalna i kemijska adsorpcija. Fizikalnu adsorpciju uzrokuju stalne molekularne sile (Van der Waalsove sile). Kod kemijske adsorpcije na površini dodatno djeluju kemijske sile. U postupku pročišćavanja vode najčešće je posrijedi mješavina više različitih tvari nepoznata porijekla, pa se za adsorpciju može primijeniti jednadžba [4]:

$$Q = \frac{V}{m} \times (C_o - C) \quad (2)$$

pri čemu je:

$Q$  sila koja privlači adsorbat na površinu adsorbenta

$V$  početni volumen otopine

$m$  sposobnost adsorbenta

$C_o$  zbroj koncentracije mješavine tvari u jedinici volumena na početku postupka

$C$  zbroj koncentracije mješavine tvari u jedinici volumena na kraju postupka [4]

### **5.2. Kemijski i fizikalno-kemijski postupci**

Fizikalno – kemijski i kemijski postupci pročišćavanja uključuju:

- postupke bez kemijskih promjena (filtriranje, adsorpcija, ozračivanje, inverzna osmoza, destilacija)
- postupke s kemijskim promjenama (neutralizacija, flokulacija, koagulacija, kemijska precipitacija, ionska izmjena, oksidacija)

### **a) Neutralizacija**

Neutralizacija je kemijski proces pročišćavanja vode u kojemu se dodatkom kiselina ili lužina poboljšava pH vrijednost. Taj postupak se često primjenjuje u tehnologiji vode. Primjena je u otkiseljavanju „sirove vode“ i kod poboljšanja kiselosti ili lužnatosti pri pročišćavanju industrijskih otpadnih voda.

Primjena neutralizacijskog postupka ovisi o:

- sastavu i količini otpadnih voda
- prijemniku otpadnih voda
- načinu ispuštanju (stalno, povremeno)
- cijeni sredstava za neutralizaciju

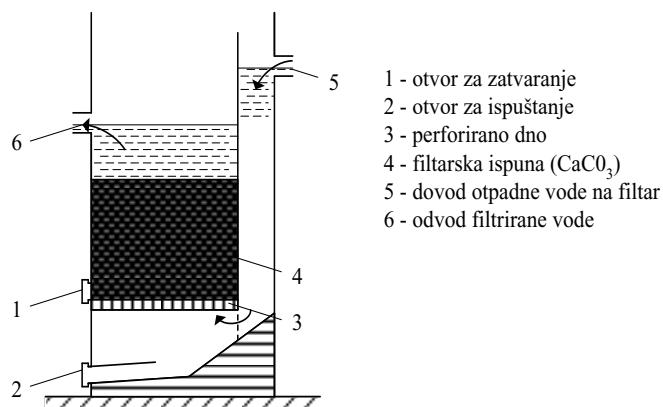
Neutralizaciju je moguće provoditi:

- miješanjem kiselih i lužnatih voda na licu mjesta, ako se u istoj industriji javljaju oba tipa otpadne vode (slika 17)



**Slika 17. Uređaj za neutralizaciju [3]**

- filtracijom kiselih otpadnih voda kroz filtarski sloj odgovarajuće granulacije i odgovarajućeg punjenja (slika 18)



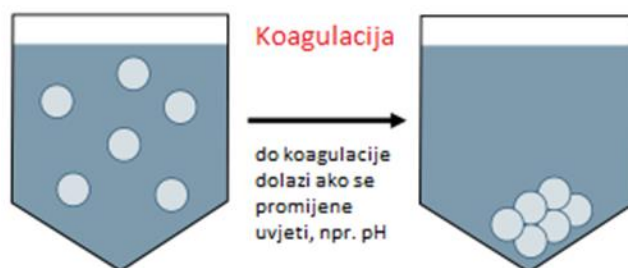
**Slika 18. Neutralizacija na filtarskom sloju vapnenca [3]**

- dodavanjem različitih sredstava za neutralizaciju: krutih (vapnenac u prahu), tekućih (vapneno mlijeko, muljevi, kiseline) ili plinovi (ugljičkov oksid)

Obveza da se otpadne vode neutraliziraju prije ispuštanja u prirodni vodni sustav ili u javnu kanalizaciju, propisana je zakonskim odredbama [4].

**b) Zgrušavanje – koagulacija**

Zgrušavanje (slika 19) odnosno koagulacija je proces praćenja ravnoteže koloidnih otopina koje nastaju ionizacijom.

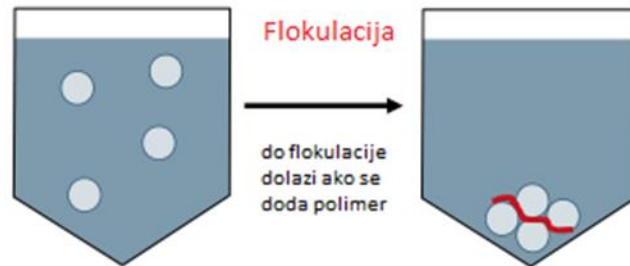


**Slika 19. Koagulacija [15]**

Najčešća sredstva za koagulaciju su aluminijev sulfat  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , aluminijev klorid  $\text{AlCl}_3$ , željezov klorid  $\text{FeCl}_3$  i drugi. Koagulacijom se iz voda uklanjaju koloidi, a količina i vrsta sredstva za koagulaciju određuju se empirijski [4].

### c) Pahuljičenje (flokulacija)

Pahuljičenje (slika 20) je proces u kojemu se čestice raspršene u tekućini sporo miješaju i spajaju u veće pahuljice i obično se primjenjuje nakon zgrušavanja.



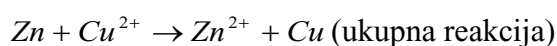
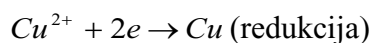
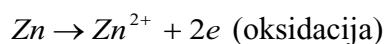
Slika 20. Flokulacija [15]

Pahuljičenje se potiče dodavanjem sredstva za pahuljičenje (flokulanta) i to najčešće aktivne „silike“  $\text{SiO}_2$ , bentonita, gline, aktivnog ugljena u prahu i sintetičkih flokulanata [4].

### d) Oksidacija i redukcija

Oksidacija i redukcija su kemijske reakcije pri kojima tvar što oksidira otpušta elektrone, a tvar koja se reducira prima elektrone. Oksidacijom se u kemijskom smislu naziva otpuštanje, a redukcijom primanje negativnog električnog naboja, što se ostvaruje prijelazom valentnih elektrona s atoma, iona ili molekule jedne tvari (oksidacija) na atom, ion ili molekulu druge tvari (redukcija), bilo izravno, bilo na elektrodama galvanskog članka ili elektrolitske ćelije [16].

#### Primjer 1. Oksidacija i redukcija cinka (Zn) i bakra (Cu)



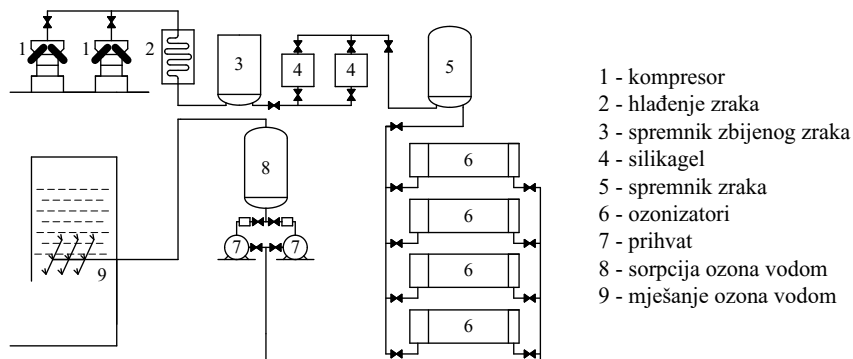
Oksidacijski procesi primjenjuju se pri dezinfekciji vode za piće, pri kemijskom otplinjavanju vode, pri deferizaciji i demanganizaciji, kao i pri obradi industrijske

otpadne vode. Oksidacijsko sredstvo može biti klor, ozon, kisik, vodikov peroksid i dr. Redukcijski procesi najviše se primjenjuju da bi se iz otpadnih voda uklonio šesterovalenti krom ( $\text{Cr}^{6+}$ ) [4].

### e) Dezinfekcija

Dezinfekcija (raskuživanje) je proces kojim se osigurava zdravstvena ispravnost vode, tj. smanjuje se broj mikroorganizama koji bi mogli biti uzročnici bolesti (posebice patogeni organizmi). Primjenjuje za vode u vodoopskrbnim sustavima i pri ispustu otpadnih voda i muljeva u okoliš. U tehnologiji kondicioniranja i čišćenja vode najčešće se koristi:

- kloriranje - plinovitim klorom  $\text{Cl}_2$  i njegovim spojevima za sada je najrašireniji i gospodarski najprihvatljiviji proces dezinfekcija vode za piće i otpadnih voda te obrade mulja
- ozonizacija - proces u kojemu se voda dezinficira ozonom  $\text{O}_3$  (slika 21)

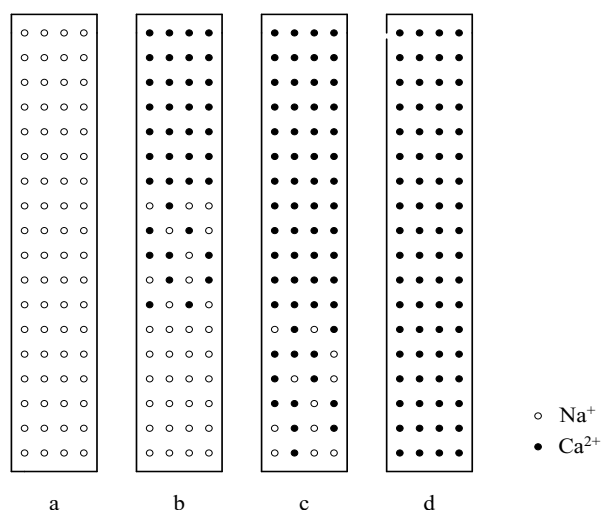


**Slika 21. Shematski prikaz uređaja za dezinfekciju vode ozonom [4]**

- ultraljubičasto zračenje (UV-zračenje) – dezinfekcijski proces koji se provodi zračenjem ultraljubičastim zraka koje u mikroorganizmima izazivaju biokemijske promjene
- ionizacijsko zračenje – proces koji se koristi za dezinfekciju voda kojemu je izvor zračenja najčešće  $\text{Co}^{60}$  (kobalt) ili  $\text{Cs}^{137}$  (cezij) te uređaju za zračenje gama-zrakama [4].

### f) Ionska izmjena

Ionski izmjenjivači su neotopive visoko molekularne tvari s pozitivnim ili negativnim nabojem, koje izmjenjuju ione bez vidljivih fizičkih promjena. Prema kemijskom svojstvu mogu biti anorganski ili organski, a u obje grupe još mogu biti prirodni ili sintetski. Prema funkcionalnim mogućnostima (karakteru) dijele se na kationske ( $\text{SO}_3\text{H}$ ,  $\text{COOH}$ ,  $\text{PO}(\text{OH})_2$ ) ili anionske ( $\text{NHR}$ ,  $\text{NH}_2$ ). Radni ciklus ionske izmjene odvija se sustavom kolone (cilindrične), tako da otopina prolazi kolonom ispunjenom zrnastim ionexom te se taj radni ciklus odvija u četiri operacije koje se ponavljaju (slika 22) [4].



Slika 22. Mehanizam odvijanja izmjene iona [4]

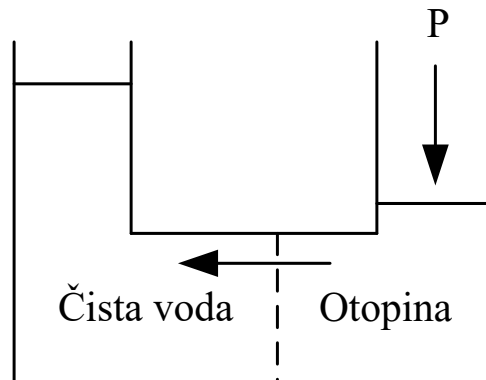
Kolona a) predstavlja sorpcijsku fazu u kojoj se odvija vlastita izmjena iona dok se u koloni b) vrši pranje. Potom se odvija regeneracija kojom se obnavlja potrošena mogućnost izmjene iona c). U konačnici se u koloni d) odvija ispiranje vodom kako bi se odstranilo sredstvo za regeneraciju [4].

### g) Membranski postupci

Membranski postupci pripadaju grupi difuznih operacija, kod kojih se tvar izdvaja pomoću selektivne propusnosti membrane. Primjenjuje se za pročišćavanje vode na osnovi propusnosti membrane. Učinak odvajanja temelji se na razlikama u

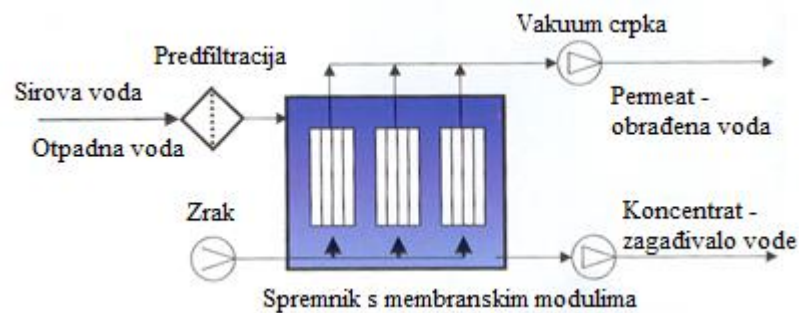
koncentracijama, tlakovima ili električnoj napetosti. Membranski procesi koji se primjenjuju u tehnologiji pročišćavanja otpadnih voda su:

- reverzna osmoza (RO) – je postupak desalinizacije i pročišćavanja otpadne vode (slika 23) - ako je tlak (P) koji djeluje na otopinu u obrnutom smjeru veći od osmotskog, otapalo se istiskuje iz otopine kroz membranu te se taj postupak naziva inverzna osmoza [4]



**Slika 23. Reverzna osmoza [4]**

- ultrafiltracija (UF) – proces filtriranja kroz membranu promjera otvora od 2 nm do 104 nm (slika 24)



**Slika 24. Proces filtriranja kroz membranu [4]**

- elektrodijaliza - membranski postupak kada se u otopine odijeljene membranom, polože elektrode tako da djeluje električno polje (slika 25) [4]

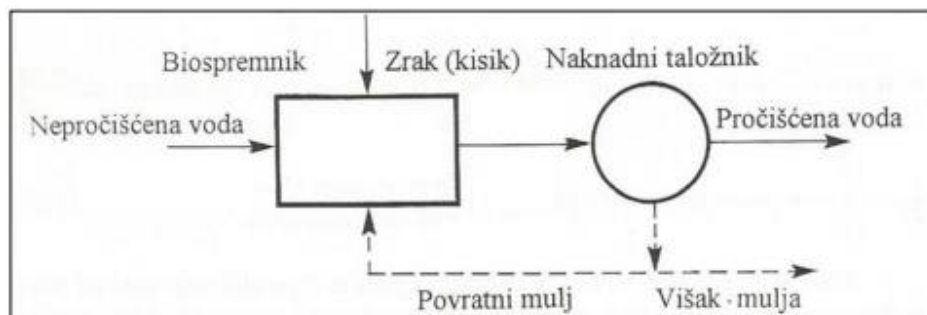




Biološki procesi osjetljivi su na sastav otpadnih voda, na količinu hranjivih tvari, količinu otopljenog kisika, temperaturu, pH i koncentraciju otrovnih tvari. Primjena bioloških postupaka za pročišćavanje otpadne vode moguća je tamo gdje su onečišćenja otpadne vode biološki razgradiva i ne sadrže toksične tvari u kritičnim količinama. Biološki postupci primjenjuju se za uklanjanje organskog ugljika, smanjenje dušikovih spojeva iz otpadne vode (nitrifikacija i denitrifikacija), smanjenje spojeva fosfora i u konačnici za stabilizaciju mulja iz otpadnih voda [4].

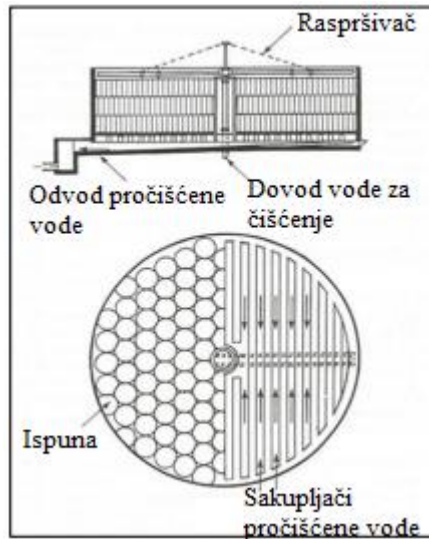
Najčešće upotrebljavani biološki uređaji za pročišćavanje svrstani su u tri skupine:

- uređaji s aktivnim muljem – osnovna im je značajka biološki bazen s aktivnim muljem u lebdećoj fazi te nužan naknadni taložnik za odvajanje mulja iz vode prije njezina ispuštanja u prirodnu sredinu (slika 26) [11]



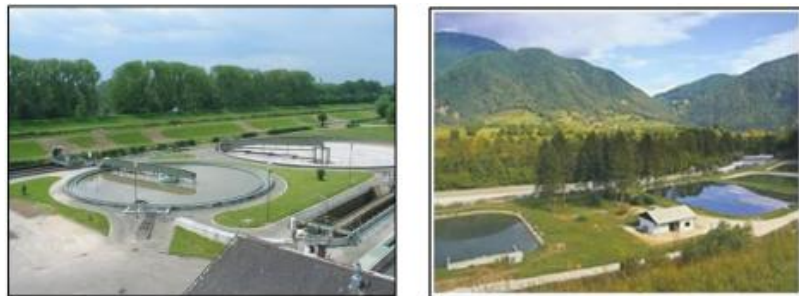
**Slika 26. Shematski prikaz postupka s aktivnim muljem [11]**

- biološki filtri ili prokapanici – sastoje se od spremnika i ispune (aktivni ugljen, kamen, sintetska ispuna) uz biološke naslage po površini ispune (najčešće varijante takvih uređaja su filtri s prirodnim ili s prisilnom ventilacijom te rotacijski diskovi) (slika 27) [11]



**Slika 27. Prokapnik [11]**

- lagune – bazeni u zemlji čija je isključiva namjena pročišćavanje vode (u njima se paralelno s biološkim procesima odvijaju i fizikalni procesi, odnosno taloženje i isplivavanje, a mogu biti anaerobne, fakultativne, aerobne i ozračene) (slika 28) [11]

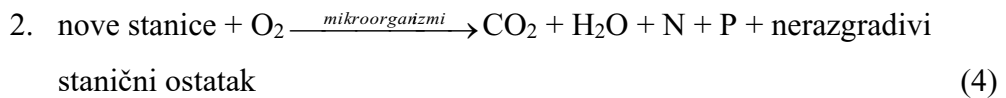
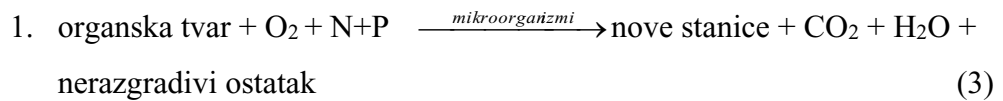


**Slika 28. Laguna [11]**

***a) Aerobni procesi***

Aerobni procesi najčešće se primjenjuju pri pročišćavanju komunalnih otpadnih voda. Uz pomoć više različitih kultura mikroorganizma i uz prisutnost kisika iz otpadnih voda uklanjaju se organske tvari koje mogu biti u otopljenom ili koloidnom obliku. Aerobni mikroorganizmi razgrađuju organske tvari pri čemu istodobno oslobađaju energiju i sintetiziraju novu biomasu. Na uređajima za pročišćavanje otpadnih voda najveći učinak ima biološko pročišćavanje

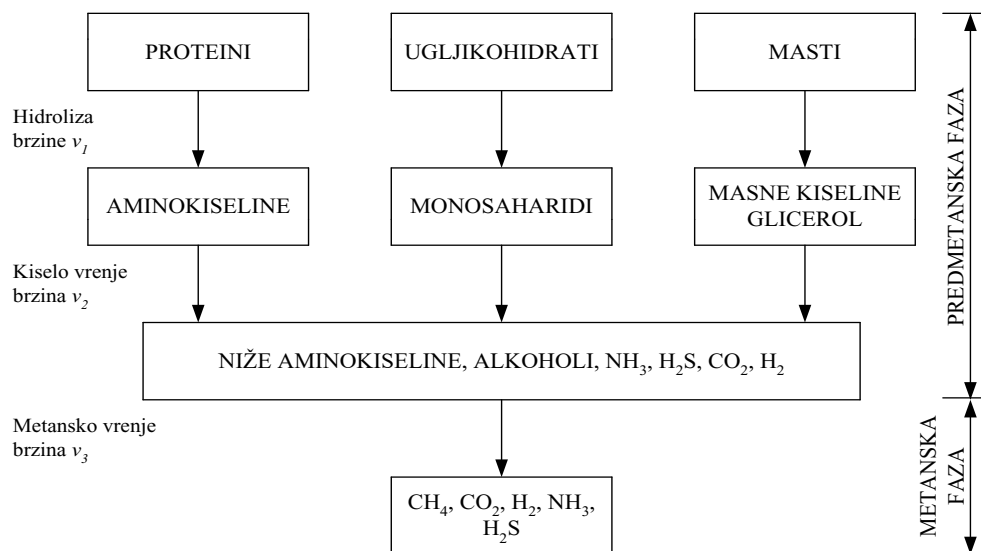
postupkom s aktivnim muljem koji se najčešće primjenjuje. Primjenjuje se i pročišćavanje mikroorganizama koji su pričvršćeni na podlozi [4].



Dio organskih tvari oksidira do  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$  uz istodobno oslobađanje energije, a višak se mijenja na ostatak i nove stanice [4].

### b) Anaerobni procesi

Anaerobni procesi (slika 29) pročišćavanja otpadnih voda je proces kojima se otpadne vode pročišćavaju uz pomoć mikroorganizama anaeroba koji u otpadnim vodama mogu živjeti i bez prisustva kisika. Proces se najčešće primjenjuje u slučajevima kada su visoke koncentracije organskog opterećenja odnosno u slučajevima kada se nalazi organsko visoko opterećenja otpadnih voda. Biološke procese moguće je ubrzati povišenjem temperature [4].

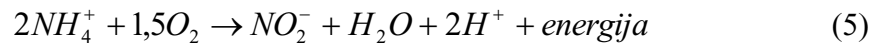


**Slika 29. Shematski prikaz anaerobne razgradnje [4]**

**c) Nitrifikacija i denitrifikacija**

Nitrifikacija i denitrifikacija (tablica 1) su dva biološka procesa koji se odvijaju jedan iza drugoga pod djelovanjem mikroorganizama koji iz vode uklanjaju spojeve dušika. Nitrifikacija i denitrifikacija mogu se odvijati samostalno ili u kombinaciji. Kod nitrifikacije, amonijak se do nitrata oksidira u dva stupnja:

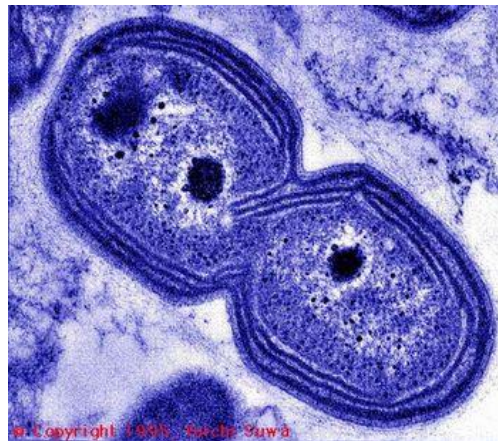
1. stupanj:



2. stupanj:



Mikroorganizmi koji sudjeluju u nitrifikacijskom procesu su autotrofne, strogo aerobne bakterije koje mogu biti rodom *Nitrosomonas* (slika 30), *Nitrosocystis* i *Nitrospira*, dok u drugom stupnju i *Nitrobacter* (slika 31).



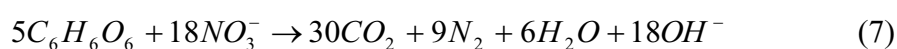
**Slika 30. Nitrosomonas [17]**



**Slika 31. Nitrobacter [18]**

Postoje i glavni čimbenici procesa nitrifikacije, a to su: niska koncentracija organske tvari, dovoljna koncentracija kisika, temperatura, pH vrijednost, prisutnost CO<sub>2</sub> i odsutnost otrovnih tvari [4].

Pri denitrifikaciji nitrati se reduciraju u plinoviti dušik koji odlazi u atmosferu.



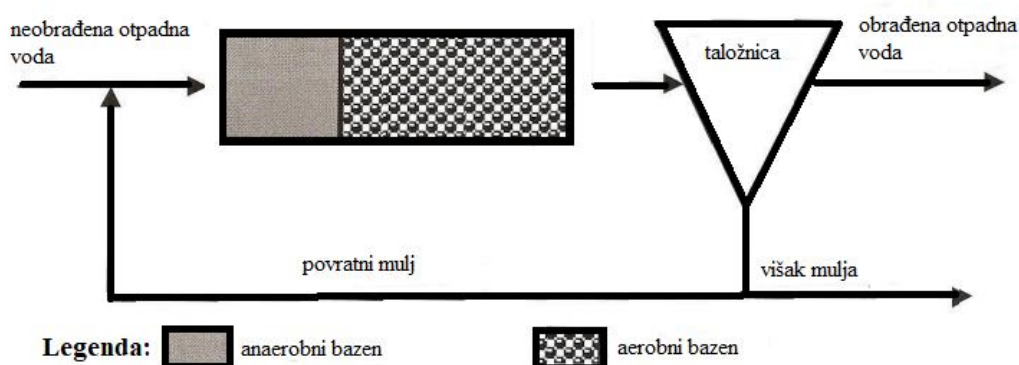
Denitrifikaciju omogućuju heterotrofne, strogo ili fakultativno anaerobne bakterije kao što su *Pseudomonas*, *Achromobacter* i *Bacillus* (zahtijevaju prisutnost ugljika u lako raspadljivom obliku i dostupnosti kisika) [4].

**Tablica 1. Čimbenici koji utječu na biološke procese nitrifikacije i denitrifikacije**

Čimbenici koji utječu na nitrifikaciju	Čimbenici koji utječu na denitrifikaciju
<ul style="list-style-type: none"> <li>- niska koncentracija organske tvari</li> <li>- dovoljna koncentracija kisika (najmanje 2 mg/l)</li> <li>- temperatura (optimalna 20°)</li> <li>- pH ( optimalan 8-9)</li> <li>- prisutnost CO<sub>2</sub></li> <li>- odsutnost otrovnih tvari</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- organske tvari s velikom količinom ugljika</li> <li>- anaerobni uvjeti</li> <li>- temperatura (optimalna 20°)</li> <li>- pH (optimalan 7-8)</li> <li>- odsutnost otrovnih tvari (posebice teških metala)</li> </ul>

#### d) *Uklanjanje fosfora*

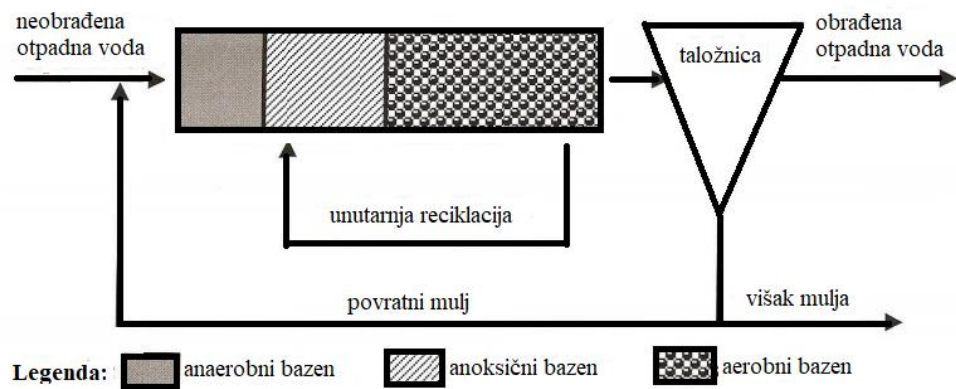
Fosfor se iz otpadne vode može ukloniti na više načina. Svi procesi ovise o nastanku anaerobnih uvjeta uz potpunu odsutnost kisika i nitrata otopljenih u suspenziji aktivnog mulja i otpadne vode. Pritom su i fermentacijski proizvodi bitni, osobito masne kiseline s kratkim lancem ugljikovih atoma, kojima se potiče rast i odabir određene vrste bakterija koje ih u staničnoj strukturi mogu akumulirati kao rezervnu hranu. Uklanjanje fosfora (slika 32) odvija se u anaerobnoj fazi, a kao izvor energije služi akumulirani polifosfat koje se razgrađuje u toj fazi. Tijekom aerobne faze u kojoj se aerobnim procesima razgrađuju akumulirane masti, polifosfati se ponovno sintetiziraju, ali u većoj mjeri nego u ranijem procesu [4].



Slika 32. Uklanjanje fosfora [19]

#### e) *Kombinirano uklanjanje dušika i fosfora*

U nekim situacijama (kada dolazi do zagađenja vode zbog prevelikih koncentracija dušika i fosfora koje mogu pogoršati kemijsku kakvoću vode te uzrokovati eutrofikaciju vodenog sustava) biološki procesi uklanjanja dušika i fosfora mogu se kombinirati na različite načine. Svaka od mogućih kombinacija uključuje anaerobne, anoksične i aerobne zone (slika 33) [4].



Slika 33. Kombinirano uklanjanje fosfora i dušika [19]



## 6. METODOLOGIJA

U prvom koraku, pomoću RAPS metode provedena je analiza ulaznih i izlaznih vrijednosti pokazatelja kakvoće otpadne vode (KPK, BPK<sub>5</sub>, suspendirane tvari) te antropogenih utjecaja na kakvoću otpadne vode (ukupne oborine i srednja dnevna temperatura zraka) za II. stupanj pročišćavanja, prema Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 2013, NN 2016) za tri mjeseca (lipanj, srpanj i kolovoz) u vremenskom periodu od 2013. do 2015. godine te se nastojala utvrditi njihova povezanost s antropogenim utjecajima odnosno s oborinama i srednjim dnevnim temperaturama zraka. Potom je provedena ista analiza za cjelogodišnji vremenski niz od 2013. do 2015. godine. Ljetni period godine (lipanj, srpanj i kolovoz) odabran je jer se radi o karakterističnom dijelu godine gdje su u posljednje vrijeme prisutne suše ili povećane količine oborina, kao i sezonske migracije stanovništva, gdje konkretno stanovništvo odlazi na godišnji odmor. Količine oborina dostupne su za posljednji period do 2016. godine, budući da je meteorološka postaja Čakovec prestala s radom te godine.

### 6.1. RAPS metoda

Metoda RAPS zasnovana je na analizi vremenske raspodjele otjecanja sumarne krivulje odstupanja. Vizualni grafički prikaz zasnovan na RAPS transformaciji je pogodan jer omogućava prevladavanje malih sustavnih i slučajnih promjena, grešaka i varijabilnosti u analiziranom vremenskom nizu. Grafički prikaz RAPS metode upućuje na postojanje više podrazdoblja koji imaju slične karakteristike, većeg broja trendova, naglih skokova i padova vrijednosti, nereguliranih fluktuacija, itd [20]. Izraz koji se koristi za proračun RAPS-a definiran je pomoću izraza:

$$RAPS_k = \sum_{t=1}^k \frac{Y_t - \bar{Y}}{S_y} \quad (8)$$

$Y_t$  prosječna vrijednost cijeloga razmatranog vremenskog niza

$S_y$  standardna devijacija istog niza

$n$  broj podataka u vremenskom nizu

$k = 1, 2, \dots, n$  – brojač tijekom sumiranja [21, 22]

Grafički prikaz  $RAPS_k$  vrijednosti tijekom vremena ukazuje na postojanje pravilnosti u fluktuacijama analiziranog parametra  $Y_t$ , koji u ovom slučaju predstavlja vrijednost određenog pokazatelja kakvoće otpadne vode. Nakon što se utvrde postojanja (ili nepostojanja) podnizova unutar zadanog niza, daljnji postupak je određivanje linearnog trenda tog podniza te po potrebi statistička obrada tj. izračun osnovnih statističkih parametara, kao što su srednja vrijednost podniza, standardno odstupanje, raspon, najveća i najmanja vrijednost i sl.

Metoda Rescaled Adjusted Rescaled Sums primjenjuje se u cijelome svijetu. Konkretno, metoda RAPS uobičajeno se najviše koristi kod analiza hidroloških i meteoroloških pokazatelja. Jedan od najvećih hidrologa u svijetu, Ognjen Bonacci, u svojem radu iz 2010 koristi RAPS metodu kod analize nizova srednjih godišnjih temperatura zraka, izmjerenih na 26 meteoroloških postaja u Hrvatskoj čiji je cilj bio određivanje promjena u režimu srednjih godišnjih temperatura zraka tijekom raspoloživog razdoblja mjerenja na pojedinim postajama [21]. U radu [23], RAPS je korišten za određivanje karakteristika srednjih dnevnih protoka rijeke Sacramento u Kaliforniji u SAD-u. U [24], RAPS je primijenjen na analizi ovisnosti godišnjih količina nanosa i protoka kineskih rijeka, kao i godišnjih ukupnih količina oborina u svrhu objašnjenja i definiranja međusobnih utjecaja i ovisnosti navedenih veličina.

Bonacci je sa koautorima primijenio RAPS kod analize protoka i temperature vode rijeke Dunav kod Bratislave [25], a godinu dana ranije u radu vezanom samo uz temperaturu rijeke Dunav u Hrvatskoj [26]. U radu [27] RAPS je korišten kod utvrđivanja utjecaja klimatskih promjena na vapnenačke naslage na području sliva rijeke Krke. Pri tome su određene vrijednosti RAPS-a srednje dnevne temperature zraka, ukupne količine oborina i srednjeg dnevnog protoka vode, odnosno provedena je analiza navedenih pokazatelja. Bonacci i Andrić primjenjuju RAPS za određivanje režima tečenja vode u kršu na slivu rijeke Like i Gacke [28]. Tadić koristi RAPS metodu u analizi trendova ukupnih dnevnih oborina kod procjene mogućnosti

navodnjavanja na području Osječko-baranjske županije [29]. Nakon pregleda raspoloživih bibliografskih jedinica koji su povezani s analizom vremenskih nizova u kojima se koristi RAPS metoda, utvrđeno je da se ova metoda nikad nije koristila u svijetu na primjeru analize pokazatelja kakvoće otpadne vode.

Diplomski rad predstavlja nadopunu i proširenje istraživanja započelih za potrebe studentskog rada koji je osvojio Rektorovu nagradu 2017. godine [30], odnosno prikazanih na međunarodnoj znanstvenoj konferenciji "Voda za sve" u Osijeku 2017. godine [31] i objavljenih u [32]. Rad za Rektorovu nagradu [30] obrađivao je primjenu RAPS metode na ukupnu dnevnu količinu oborina te vrijednosti ulaznih i izlaznih pokazatelja KPK, BPK<sub>5</sub> i suspendiranih tvari unutar tri mjeseca (lipanj, srpanj i kolovoz) tijekom 2013, 2014 i 2015 godine na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda Čakovec. [31] je bio orijentiran na detaljnije međusobne usporedbe izlaznih i izlaznih vrijednosti KPK, BPK<sub>5</sub> i suspendiranih tvari samo za 2015. godinu i predstavlja prvi rad vezan uz tematiku RAPS-a i kakvoće pokazatelja otpadnih voda, dok je u [32] razrađen utjecaj srednje dnevne temperature zraka i ukupne dnevne količine oborina, tj. najvažnijih klimatskih pokazatelja na KPK, BPK<sub>5</sub> i suspendirane tvari unutar tri mjeseca (lipanj, srpanj i kolovoz) tijekom 2015 godine. Diplomski rad predstavlja proširenje i nadopunu svih ovih istraživanja.

## **6.2. Uzorkovanje i karakterizacija**

Za provedbu analize fizikalno – kemijskih parametara kakvoće vode uzeti su uzorci otpadne vode na ulazu i izlazu iz centralnog uređaja za pročišćavanje otpadne vode u Čakovcu. Aparat za automatsko uzimanje uzorka (slika 34) postavljen je uz mjerni žlijeb u vodotijesni ormarić u kojemu se nalazi automatski uzorkivač otpadne vode s 12 posuda (slika 35) za čuvanje 24-satnog kompozitnog uzorka otpadne vode te dozirna crpka koja crpi uzorke otpadne vode iz mjernog žlijeba [33].



**Slika 34. Automatski uzorkivač [33]**



**Slika 35. Posude u koje se spremaju uzorci [33]**

Automatika i doziranje uzoraka otpadne vode je proporcionalna s mjerenim protokom pa je ova crpka povezana s mjeracem protoka. Dnevno se kompozitni uzorci uzimaju iz ormarića u svrhu laboratorijskih ispitivanja karakteristika otpadnih voda kako bi se utvrdili ulazni pokazatelji i optimalizacije tehnološkog procesa čišćenja otpadne vode. Provedba analize fizikalno – kemijskih pokazatelja kakvoće vode izvodi se u laboratoriju, koji se nalazi u sklopu uređaja za pročišćavanje otpadne vode. Pokazatelji koji se svakodnevno analiziraju i čije se vrijednosti pohranjuju su pH, ukupni dušik, amonijev ion, nitrati, KPK, BPK<sub>5</sub>, suspendirane tvari i fosfor [33]. U diplomskom radu su analizirane KPK, BPK<sub>5</sub>, suspendirane tvari kao i antropogeni utjecaji kao što su oborina i temperatura.

**a) Određivanje kemijske potrošnje kisika spektrofotometrijskom metodom**

KPK određuje se *HACH DR 4000U* spektrofotometrom u koncentracijskom području 0,0 -1000 mg/l O<sub>2</sub>. Reagens se priprema na način da se otopine pomiješaju sljedećim redoslijedom:

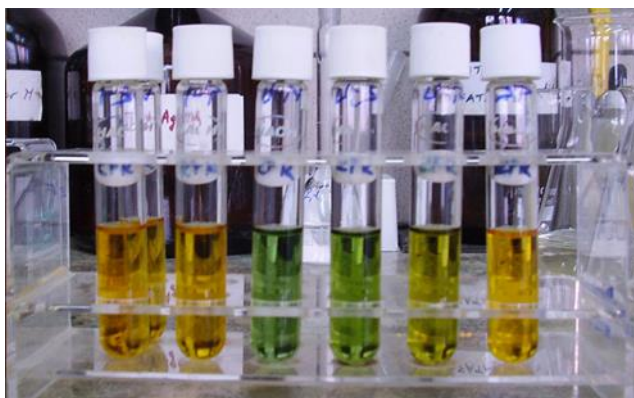
1. K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (kalijev dikromat) – 75 ml
2. Hg<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (živin (II) sulfat) – 30 ml
3. Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (srebrov sulfat) – 375 ml

Volumen od 3,2 ml pripremljenog reagensa odmjeri se u čiste kivete koje se zatvore i čuvaju od utjecaja svjetlosti na sobnoj temperaturi. U pripremljene kivete dodaje se 2 ml uzorka otpadne vode, dobro se zatvori čepom te se promiješa okretanjem kivete. Potom se kivete stave u KPK – reaktor (slika 36) i kuhaju se 2 sata na 150 °C.



**Slika 36. KPK reaktor [33]**

Nakon kuhanja uzorak se ohladi do 60 °C ili manje te se kivete promiješaju (slika 37).



**Slika 37. Ohlađeni uzorci spremni za očitavanje KPK vrijednosti [33]**

Kada se kivete ohlade do sobne temperature, mjeri se apsorbancija pri valnoj duljini od 600 nm u odnosu na slijepu probu. Slijepa proba priprema se na isti način s destiliranom vodom. Na zaslonu spektrofotometra automatski se pojavljuje rezultat KPK vrijednosti u mg/l O<sub>2</sub> [33].

***b) Određivanje BPK<sub>5</sub>***

BPK<sub>5</sub> određuje se Oxitop uređajem (slika 38). Temperatura uzorka mora biti na 20 °C, a pH na 6 – 8.



**Slika 38. Oxitop uređaj [33]**

U staklenu tikvicu ili menzuru odmjeri se određeni volumen homogeniziranog uzorka (ovisno o očekivanoj koncentraciji utrošenog kisika u mg/l nakon 5 dana) te se prebaci u bočicu od tamnog stakla. Doda se određeni broj kapi inhibitora

nitrifikacije (1 kap na 50 ml uzorka), stavi se magneti c u bo cicu i gumeni nastavak na grlo bo cice u koji se stave dvije granule NaOH (slika 39).



**Slika 39. Priprema uzorka za ispitivanje  $BPK_5$  [33]**

Bo cica se zatvori Oxitop-om te se nulira istovremenim pritiskom na tipke S i M dok se na zaslonu ne prikažu dvije nule (00). Prethodno podešeni termostat stavi se na  $20 \pm 1$  °C tako da se magneti c u bo cici okreće te se nakon 5 dana o ita rezultat [33]. Uređaj ima mogućnost očitavanja rezultata mjerenja pojedinačno nakon svakog dana, od prvog do petog, kao i trenutnog rezultata mjerenja. Očitani rezultat na Oxitop uređaju koji se pomnoži s faktorom iz *Tablice 2* daje koncentraciju utrošenog kisika nakon 5 dana u mg/l [33].

$$\text{očitana vrijednosti} \times \text{faktor} = BPK_5 \left( \frac{mg}{l} \right) \quad (9)$$

**Tablica 2. Faktori za izračun vrijednosti koncentracije utrošenog kisika nakon 5 dana u mg/l u odnosu na volumen uzorka**

VOLUMEN UZORKA (ml)	RANG MJERENJA (mg/l)	FAKTOR
432	0 – 40	1
365	0 – 80	2
250	0 – 200	5
164	0 – 400	10
97	0 – 800	20
43,5	0 – 2000	50
22,7	0 – 4000	100

**c) *Određivanje suspendirane tvari***

Osušen i u eksikatoru ohlađen filter papir potrebno je vagnuti i zabilježiti odvagu. Filter papiri koji se koriste su:

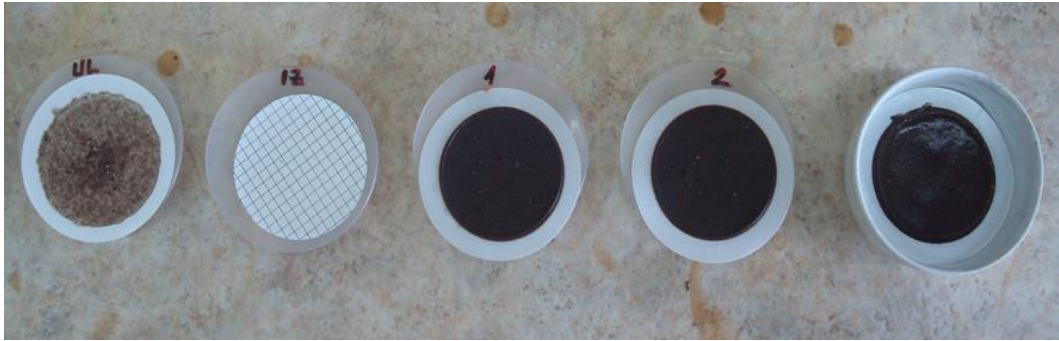
- crna traka (promjera 55 mm) koja se koristi za uzorak ulazne vode i uzorke bio 1 i bio 2
- sa staklenom fazom (promjera 55 mm) koja se koristi za uzorak povrata mulja
- celuloza nitrati (promjera 50 mm) koja se koristi za uzorak izlazne vode

Filter papir stavi se na vakuum sisaljku i ispire se malom količinom destilirane vode. Određeni volumen izmiješanog uzorka (ovisno o količini suspendirane tvari koja se očekuje) profiltrira se preko filter papira, ispire se malom količinom destilirane vode potom se stavi u sušionik na 105 °C oko 60 minuta. Osušeni filter papir stavi se u eksikator na hlađenje najmanje 30 – 60 minuta zatim se važe i zabilježi odvaga.

Ako se određuje postotak organske tvari u uzorku, filter papir s talogom se stavi u porculansku zdjelicu i spali na 600 °C tako da se zdjelica s filter papirom stavi u peć za žarenje i drži do pojave plamena, a zatim se otvore vrata peći dok se plamen ne ugasi. Ponovno se zatvore vrata i zdjelica s filter papirom se ostavi u peći 15 minuta. Spaljeni filter papir stavi se u eksikator na hlađenje u trajanju od 60 minuta, važe se



i zabilježi odvaga [33]. Na slici 40 prikazani su profiltrirani uzorci suspendirane tvari za ulaz, izlaz, bioeracijski spremnik 1 i 2 te za povrat mulja.



**Slika 40. Profiltrirani uzorci suspendirane tvari [33]**

Suspendirana tvar i žareni ostatak izračunavaju se prema sljedećim izrazima:

$$G_1 = \frac{a \times 1000}{b} \quad (10)$$

$$a = a_2 - a_1$$

za žareni ostatak:

$$G_2 = \frac{c \times 1000}{b} \quad (11)$$

$$c = a_2 - a_3$$

pri čemu je:

$G_1$  masa ostatka nakon sušenja (mg/l)

$G_2$  masa ostatkanakon žarenja (mg/l)

$a$  masa neto ostatka nakon sušenja (mg)

$a_1$  masa osušenog i u eksikatoru ohlađenog filter papira (g)

$a_2$  masa osušenog i u eksikatoru ohlađenog filter papira s uzorkom (g)

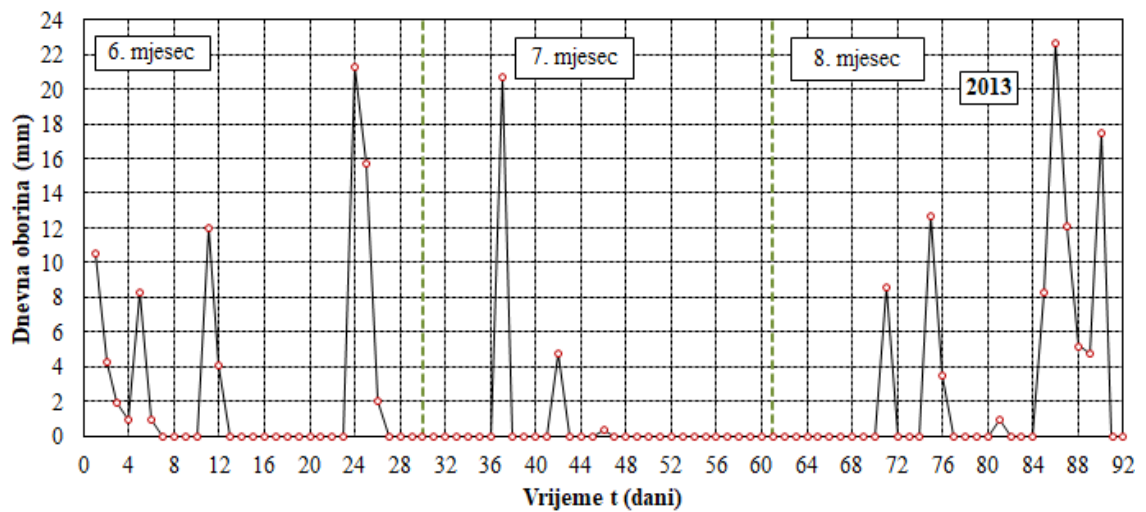
$a_3$  masa žarenog i u eksikatoru ohlađenog filter papira s uzorkom (g)

$b$  volumen uzorka uzet za analizu (l)

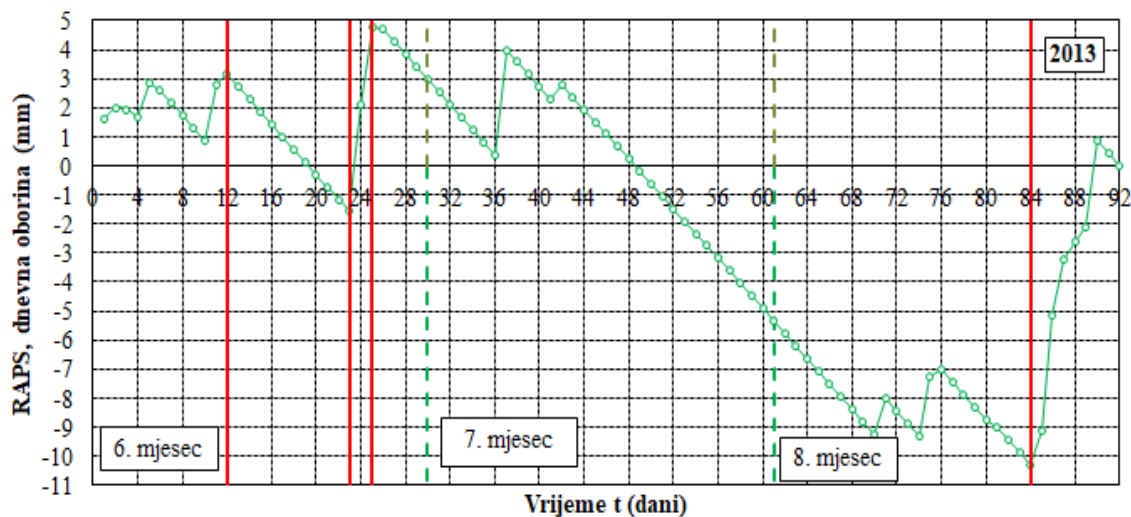
$c$  masa neto ostatka nakon žarenja (mg) [33].

### 6.3. Rezultati i rasprava

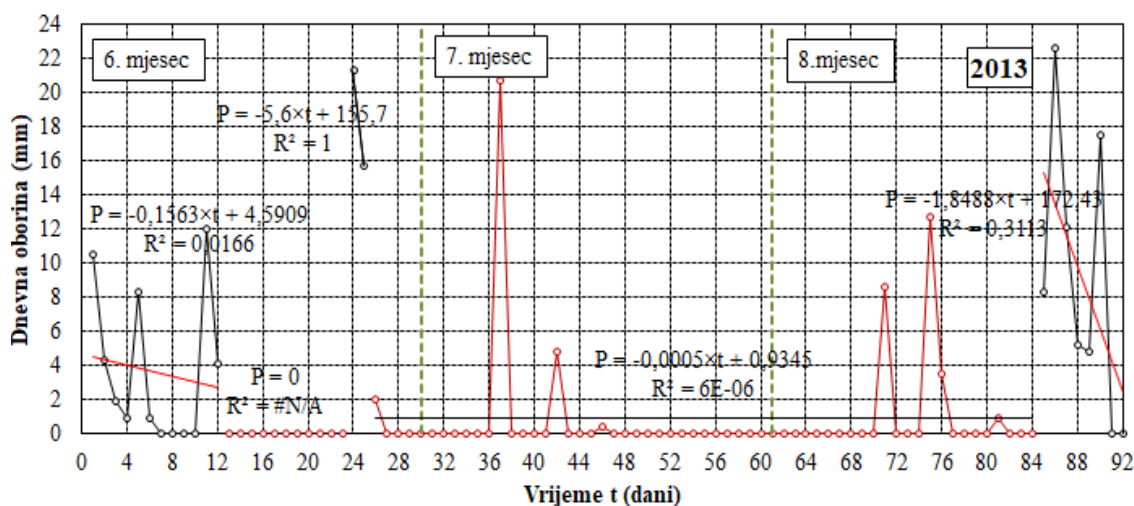
Na slikama 41. do 49. prikazane su ukupne dnevne količine oborina za grad Čakovec u vremenskom periodu lipnja, srpnja i kolovoza 2013., 2014. te 2015. godine [34].



Slika 41. Ukupne dnevne količine oborina za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2013. godine

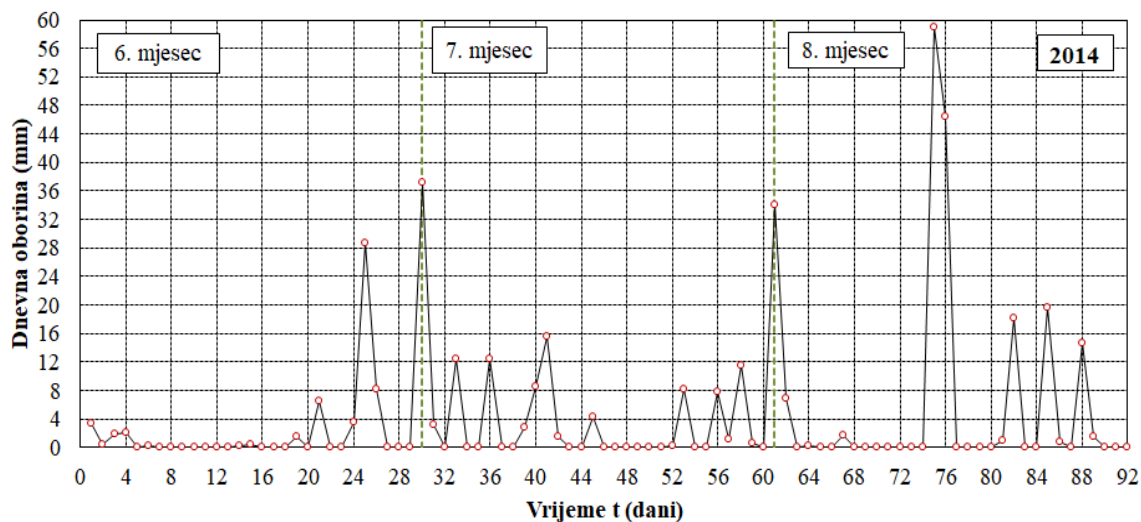


Slika 42. Prikaz provedenog RAPS-a za ukupne dnevne količine oborina za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2013. godine

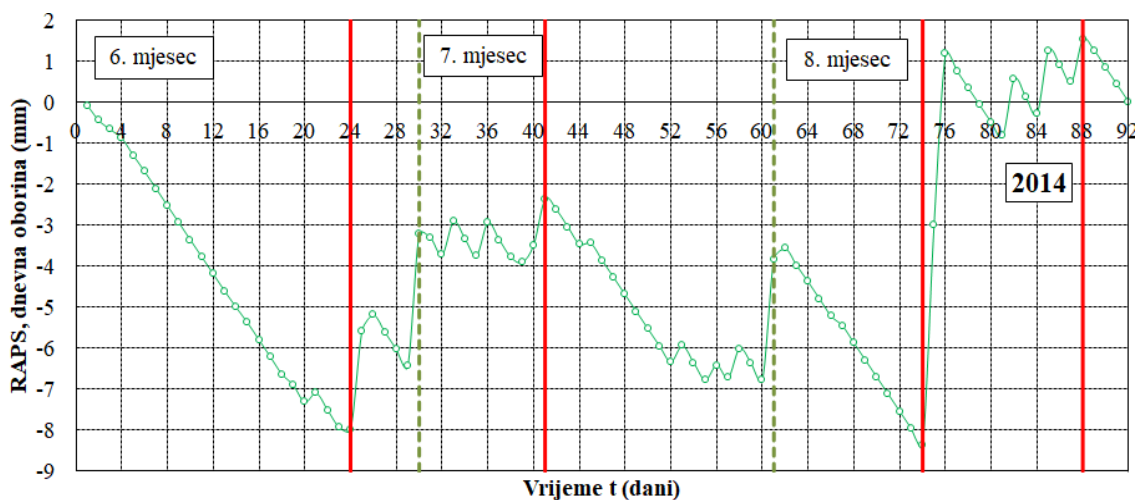


Slika 43. Prikaz dobivenih podnizova za ukupne dnevne količine oborina za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2013. godine

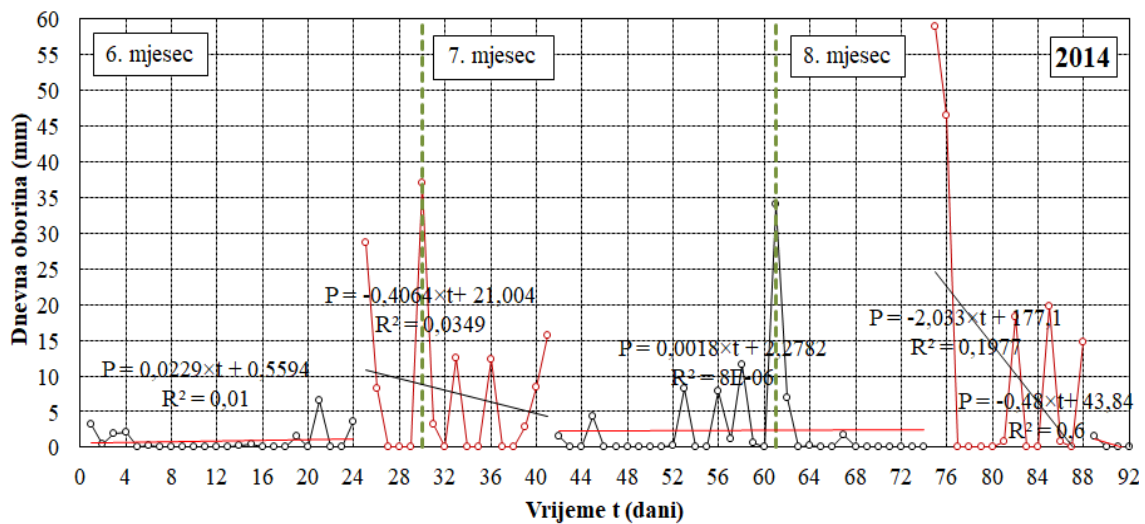
Na slikama 41. do 43. vidljivo je da definicija trenda nema opravdanost zbog velikih odstupanja vrijednosti količine oborina, odnosno njihovih izostanaka, što je i karakteristika ovakvih stohastičkih veličina.



Slika 44. Ukupne dnevne količine oborina za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2014. godine

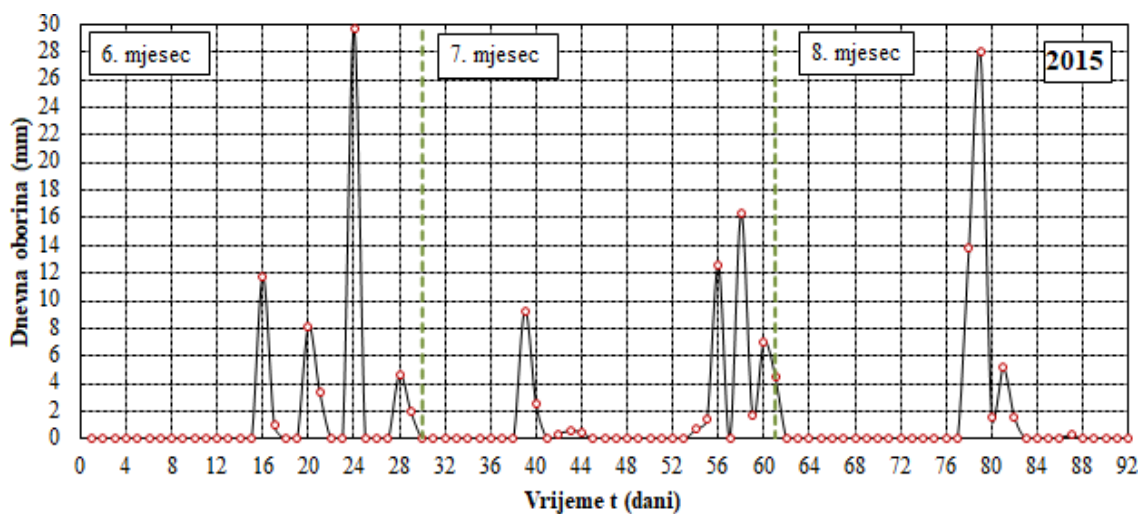


Slika 45. Prikaz provedenog RAPS-a za ukupne dnevne količine oborina za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2014. godine

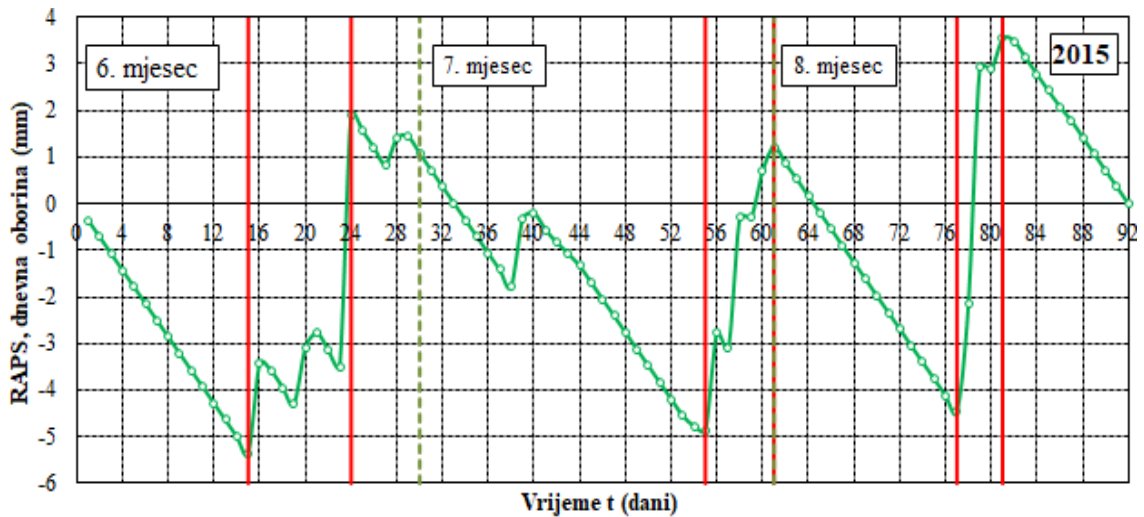


**Slika 46. Prikaz dobivenih podnizova za ukupne dnevne količine oborina za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2014. godine**

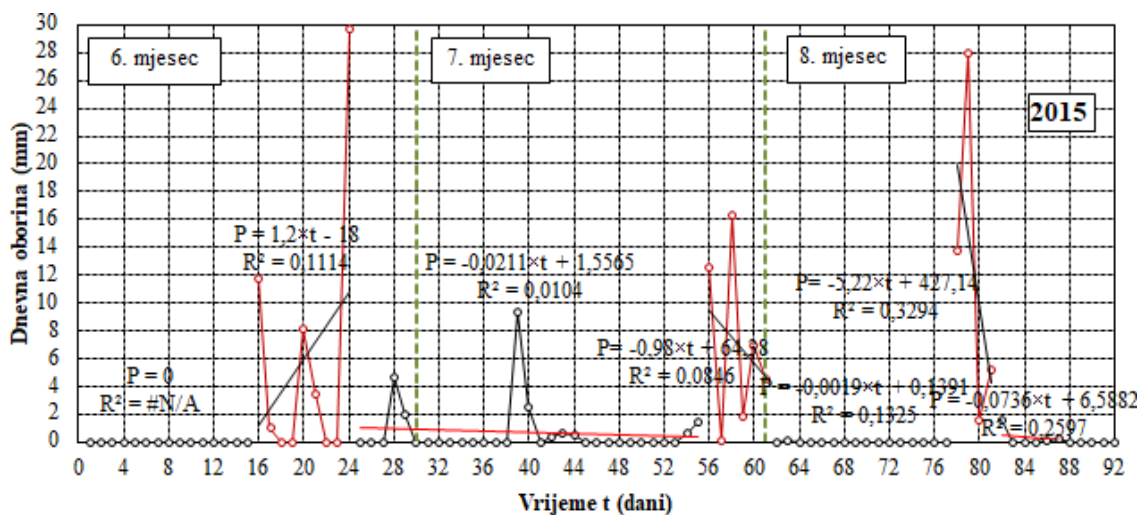
Na slikama 44. do 46. također je vidljivo da definicija trenda nema opravdanost.



**Slika 47. Ukupne dnevne količine oborina za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2015. godine**



Slika 48. Prikaz provedenog RAPS-a za ukupne dnevne količine oborina za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2015. godine

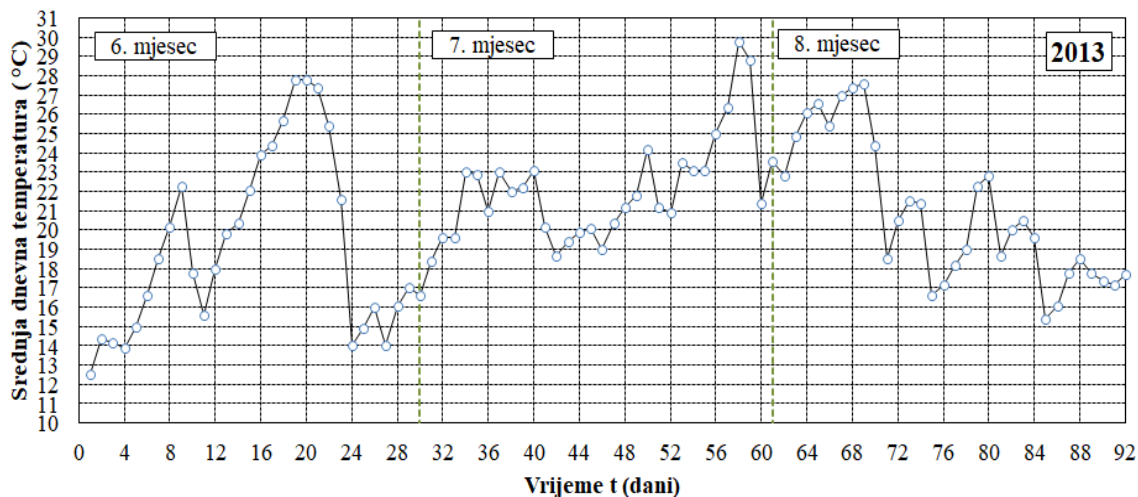


Slika 49. Prikaz dobivenih podnizova za ukupne dnevne količine oborina za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2015. godine

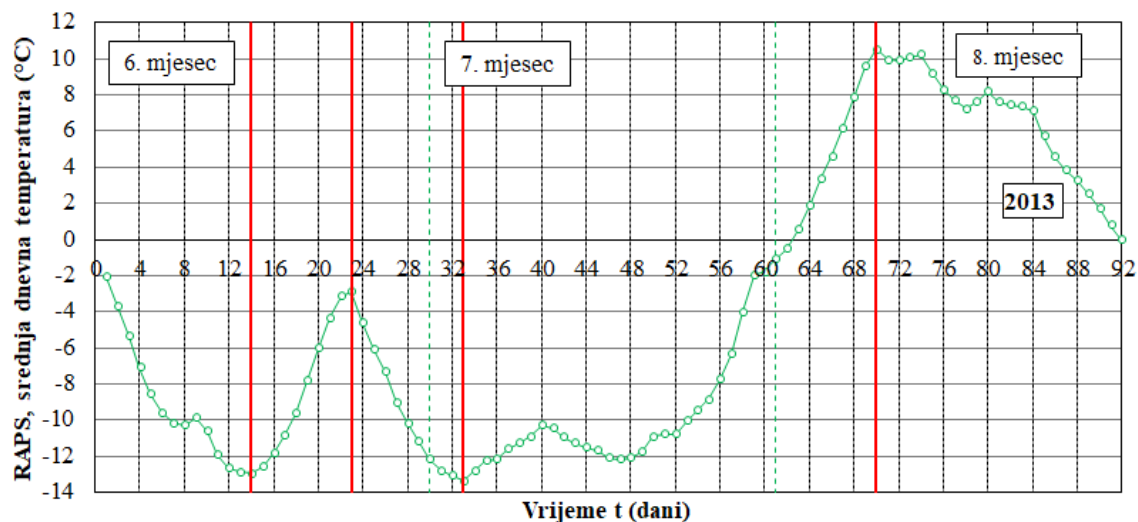
Definicija trenda nema opravdanost na slikama 47. do 49. Može se zaključiti da primjena RAPS-a ne bi imala svrhu, budući da su zbog nedostataka oborina zadani nizovi kratki. Stoga, na onim mjestima gdje je količina oborina jednaka 0 mm, došlo bi do nastanka podnizova, no jasno je da su takvi podnizovi zapravo nastali jer nije bilo oborina. Jako je teško odrediti tj. kvantificirati u kojoj mjeri oborine utječu na koncentraciju otpadnih voda, budući da se u obzir uzima i sezonska karakteristika života

u gradu Čakovcu i njegovih prigradskih naselja, drugim riječima odlasci na godišnje odmore (sezonska migracija stanovništva izvan grada/naselja).

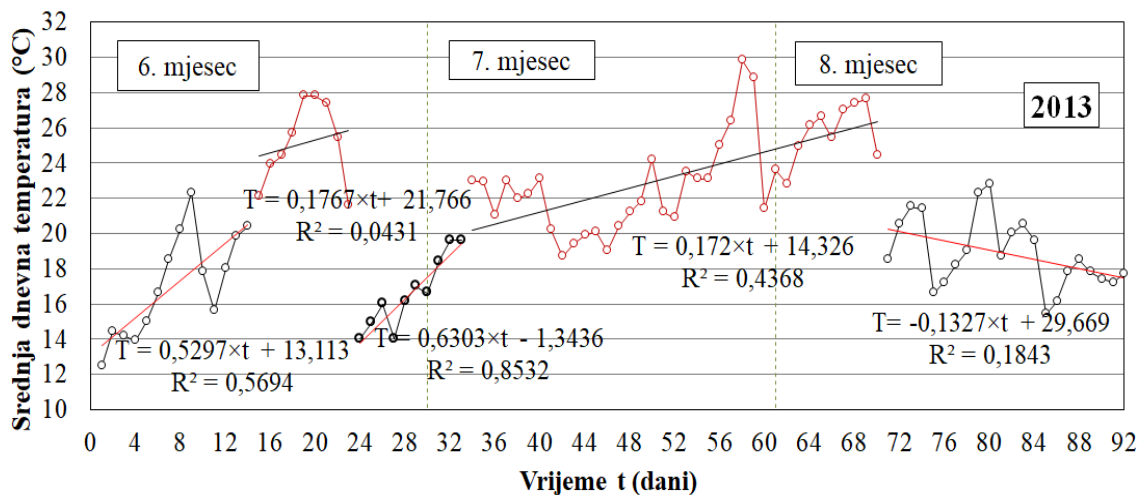
Na slikama 50. do 58. prikazane su srednje dnevne temperature za lipanj, srpanj i kolovoz godine 2013., 2014. i 2015., pri čemu je provedena istovjetna analiza kao i kod oborina, slike 41. do 49 [35].



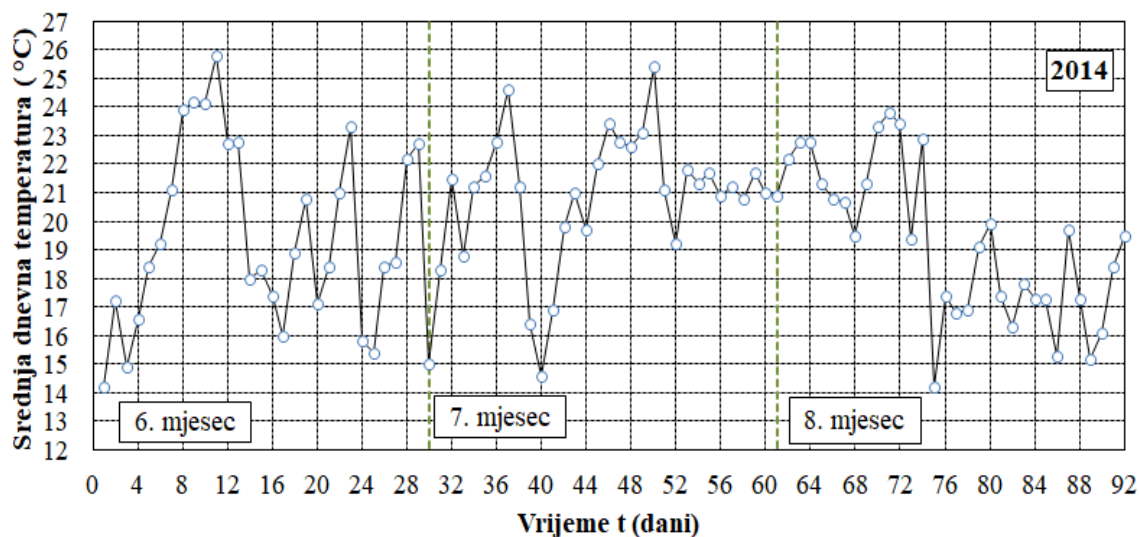
**Slika 50. Srednja dnevna temperatura za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2013. godine**



**Slika 51. Prikaz provedenog RAPS-a srednje dnevne temperature za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2013. godine**

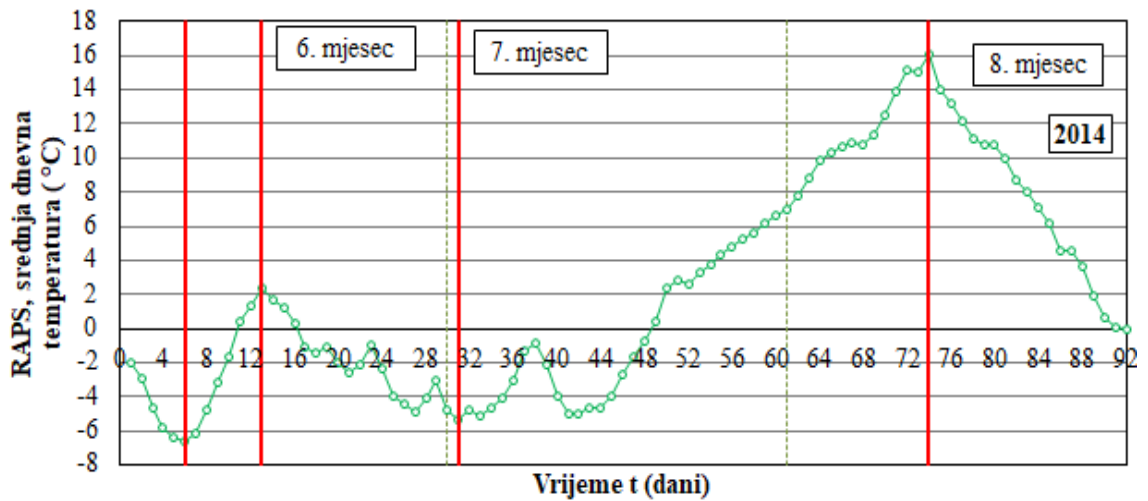


Slika 52. Prikaz dobivenih podnizova srednje dnevne temperature za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2013. godine

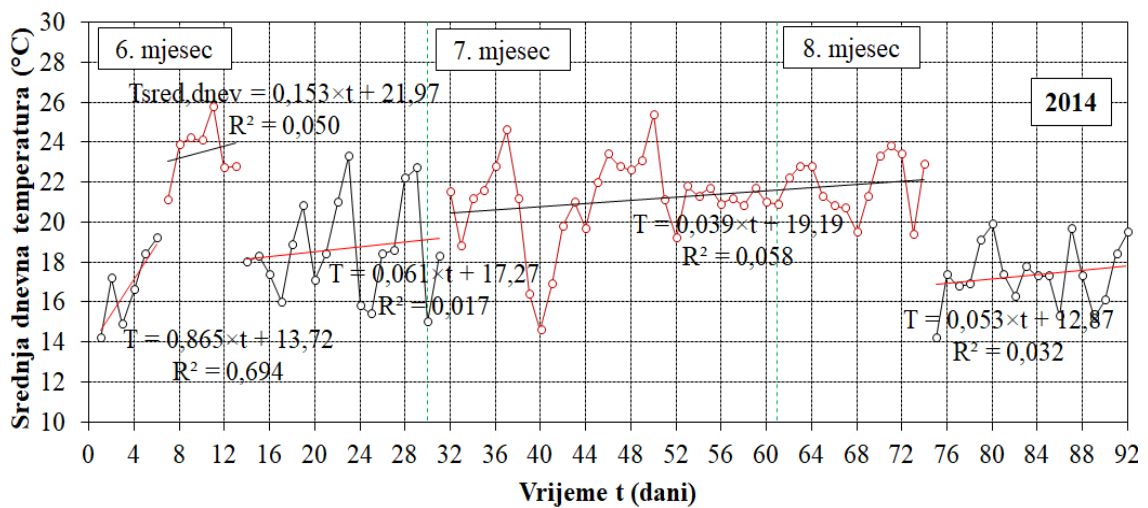


Slika 53. Srednja dnevna temperatura za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2014. godine

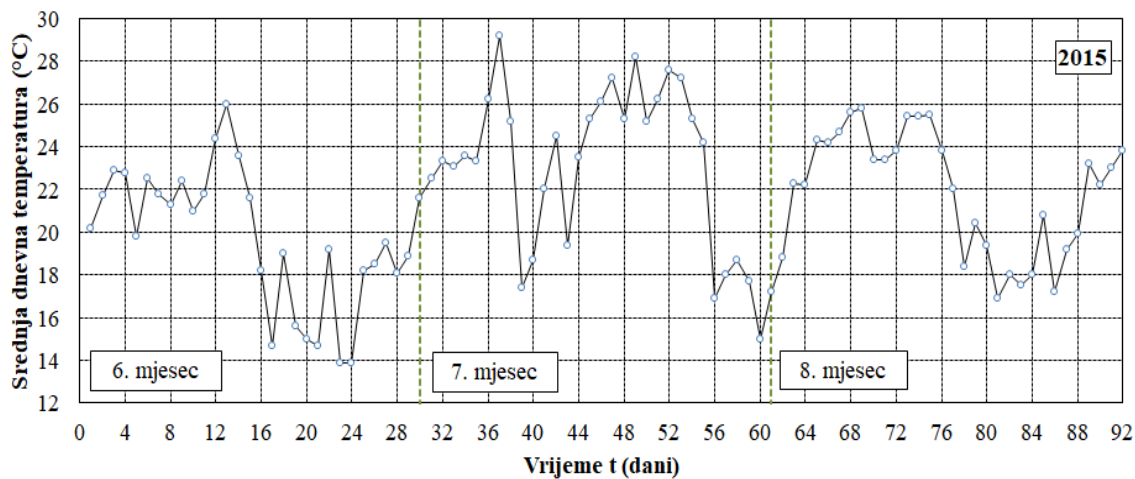




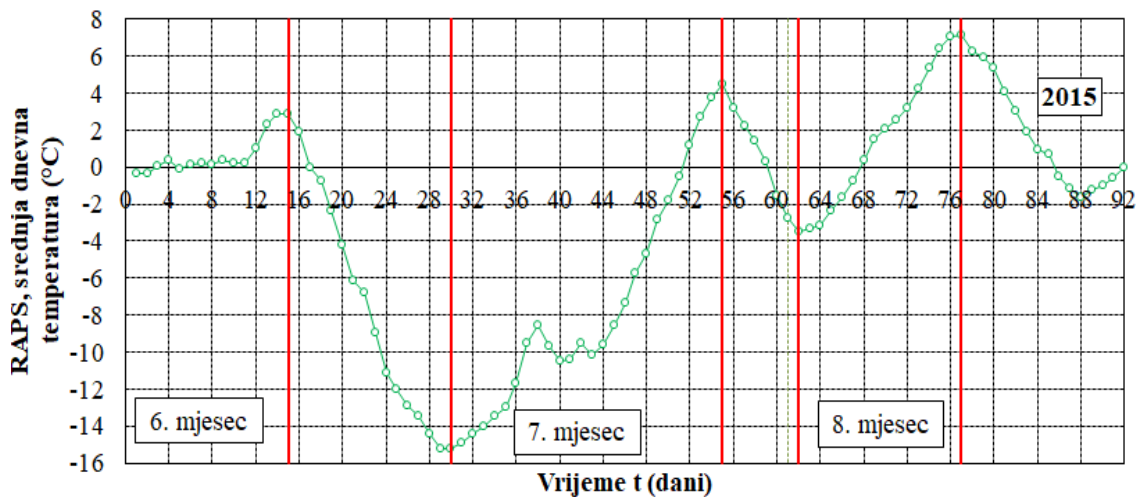
Slika 54. Prikaz provedenog RAPS-a srednje dnevne temperature za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2014. godine



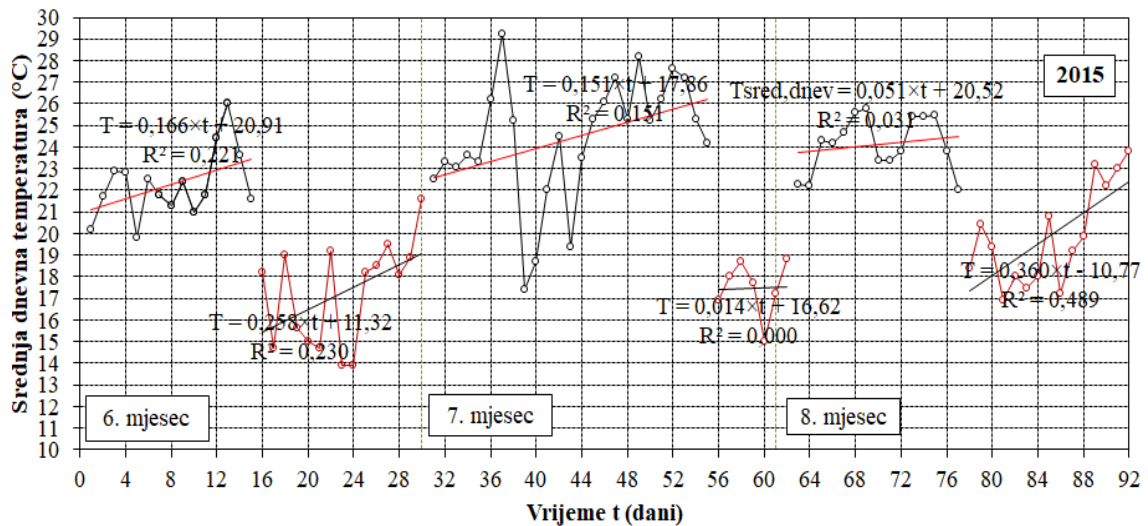
Slika 55. Prikaz dobivenih podnizova srednje dnevne temperature za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2014. godine



**Slika 56. Srednja dnevna temperatura za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2015. godine**



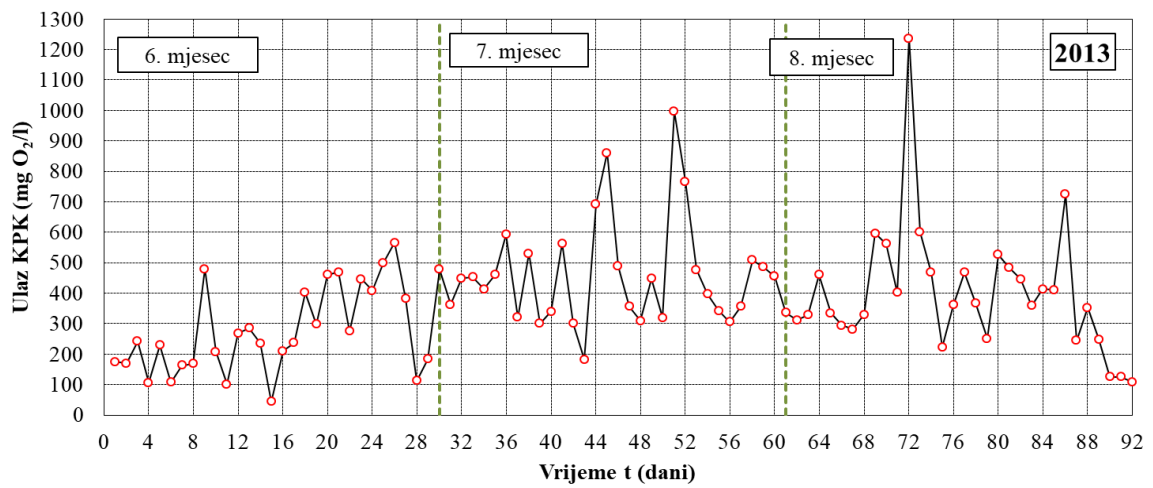
**Slika 57. Prikaz provedenog RAPS-a srednje dnevne temperature za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2015. godine**



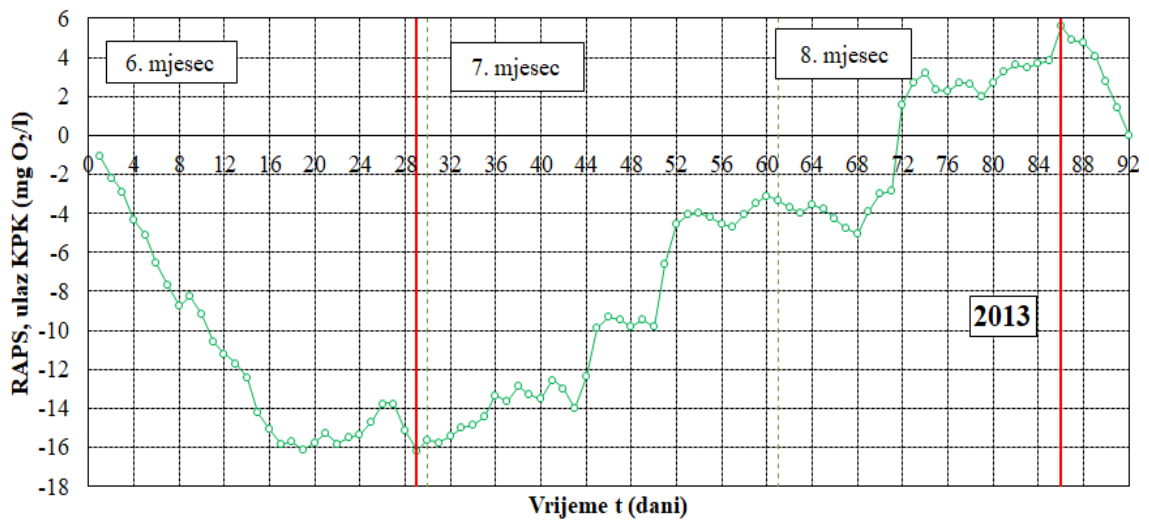
**Slika 58. Prikaz dobivenih podnizova srednje dnevne temperature za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2015. godine**

Na temelju slika 50. do 58., vidljivo je da srednje dnevne temperature variraju tijekom godine te je teško na temelju provedenih analiza za tri mjeseca (lipanj, srpanj i kolovoz) doći do relevantnog zaključka kako srednje dnevne temperature utječu na kakvoću otpadne vode. Stoga je potrebno produljiti promatrani niz na minimalno godinu dana. Iz prikaza dobivenih rezultata analize RAPS-a provedene na antropogene utjecaje (oborine i temperatura) za promatrani niz od tri mjeseca (lipanj, srpanj i kolovoz) može se zaključiti da je najveća zabilježena vrijednost  $R^2$  jednaka 1 (slika 43) te nakon toga 0.8532 (slika 52) i 0.694 (slika 55), što ukazuje na značajnu povezanost. Kada se koeficijent determinacije nalazi u intervalu od 0.25 - 0.64 veza između pojedinih parametara je srednje jakosti, a kada je koeficijent determinacije veći od 0.64 predviđa se da će parametri biti u čvrstoj vezi [36]. Najmanja zabilježena vrijednosti  $R^2$  je 0.000 (slika 58.) te nakon toga 0.017 (slika 55) i 0.031 (slika 58). Ove vrijednosti ukazuju na nepostojanje funkcionalne povezanosti između temperature zraka i vremena, što upućuje na potpuno stohastičnu karakteristiku temperature, kao i kod oborina.

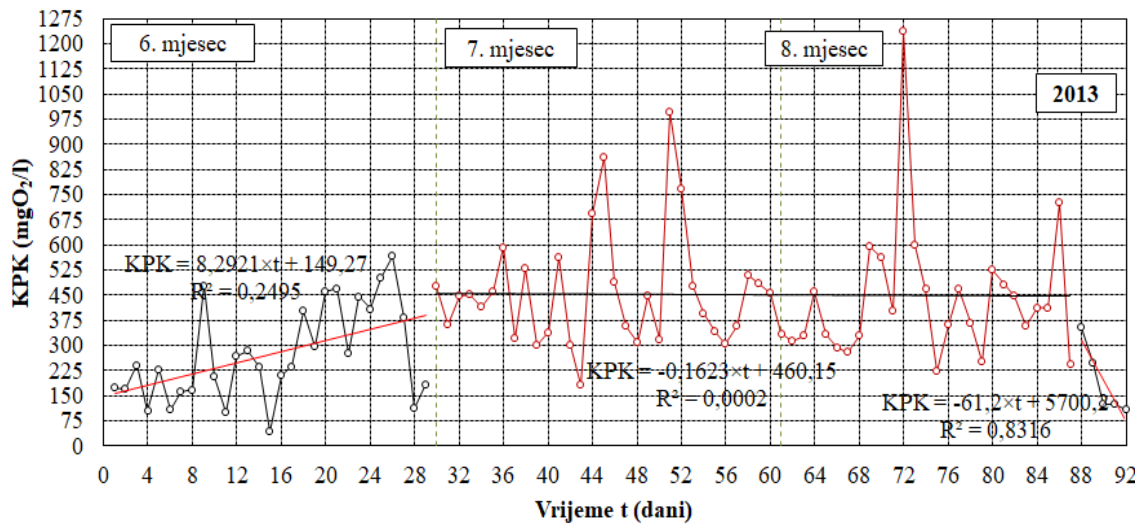
Potom se analiziraju pokazatelji KPK, BPK<sub>5</sub> i suspendirane tvari ulaza i izlaza otpadne vode iz uređaja za pročišćavanje otpadne vode Čakovec. Na slikama 59. do 85. prikazane su ulazne vrijednosti KPK, BPK<sub>5</sub> i suspendiranih tvari za lipanj, srpanj i kolovoz 2013., 2014. i 2015. godine.



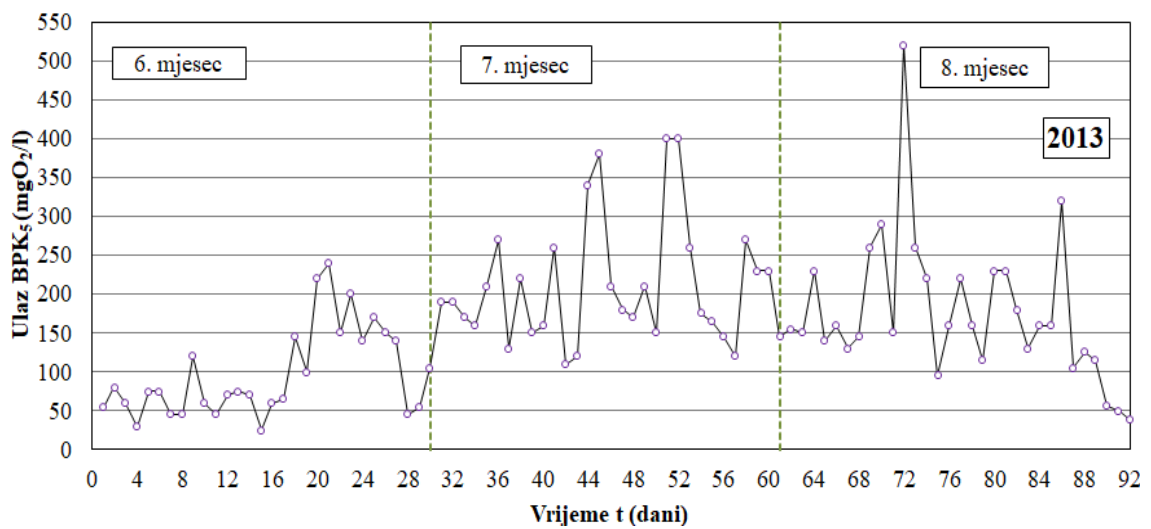
Slika 59. Ulazne vrijednosti KPK za 2013. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz



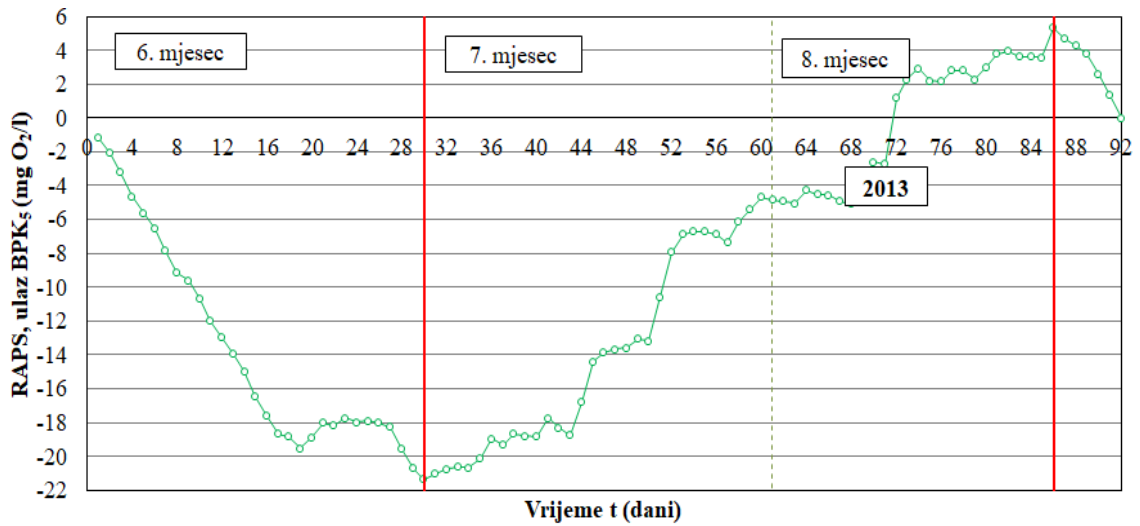
Slika 60. Prikaz provedenog RAPS-a za ulazne vrijednosti KPK 2013. godine; lipanj, srpanj i kolovoz



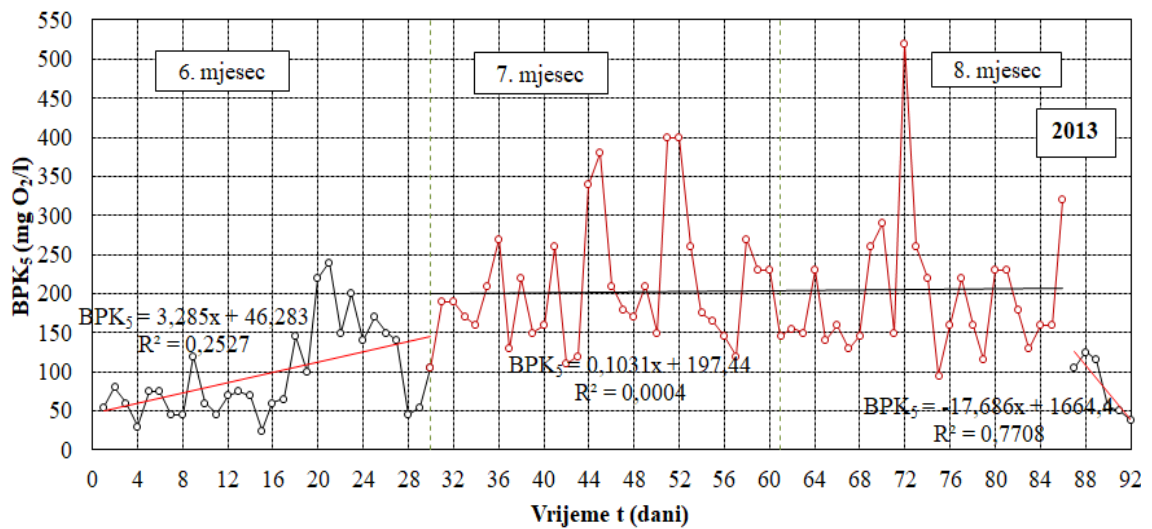
**Slika 61. Prikaz dobivenih podnizova za ulazne vrijednosti KPK 2013. godine; lipanj, srpanj i kolovoz**



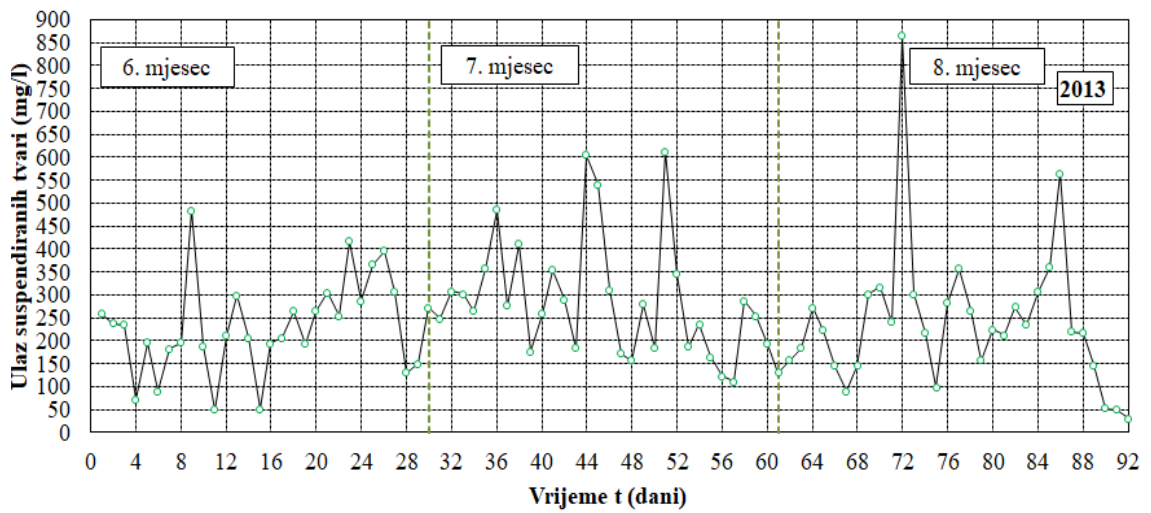
**Slika 62. Ulazne vrijednosti za BPK<sub>5</sub> 2013. godine; lipanj, srpanj i kolovoz**



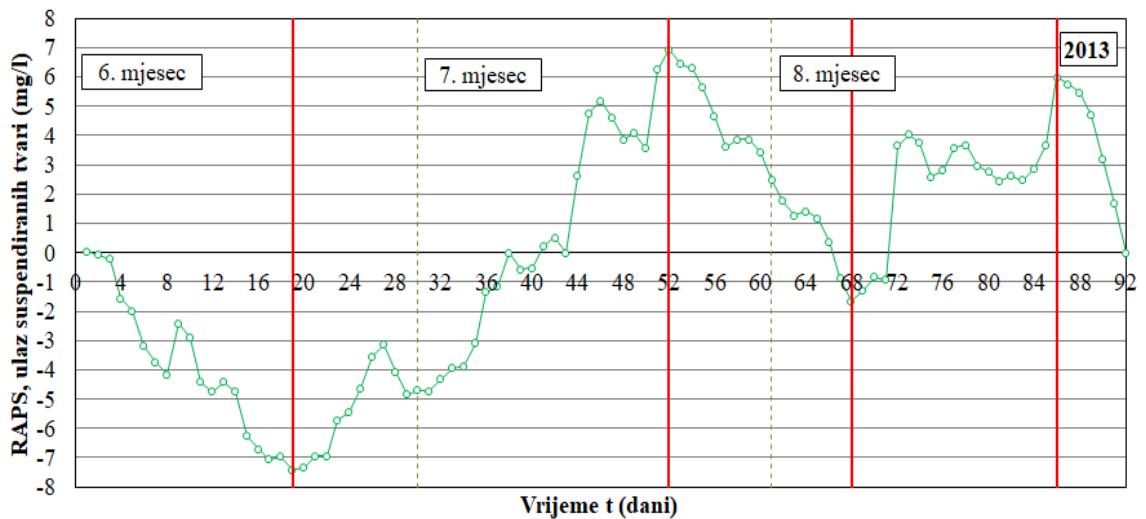
Slika 63. Prikaz provedenog RAPS-a za ulazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> 2013. godine; lipanj, srpanj i kolovoz



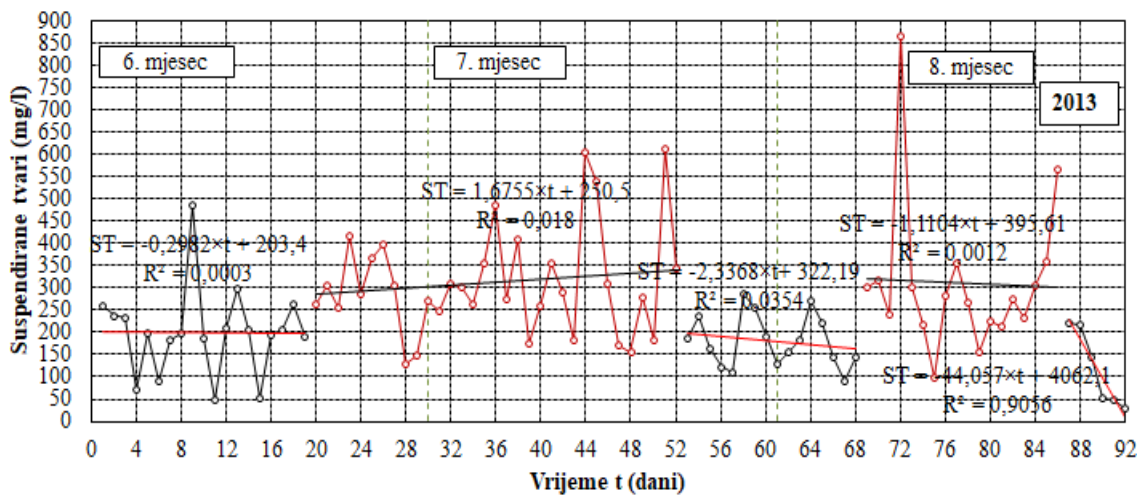
Slika 64. Prikaz dobivenih podnizova za ulazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> 2013. godine; lipanj, srpanj i kolovoz



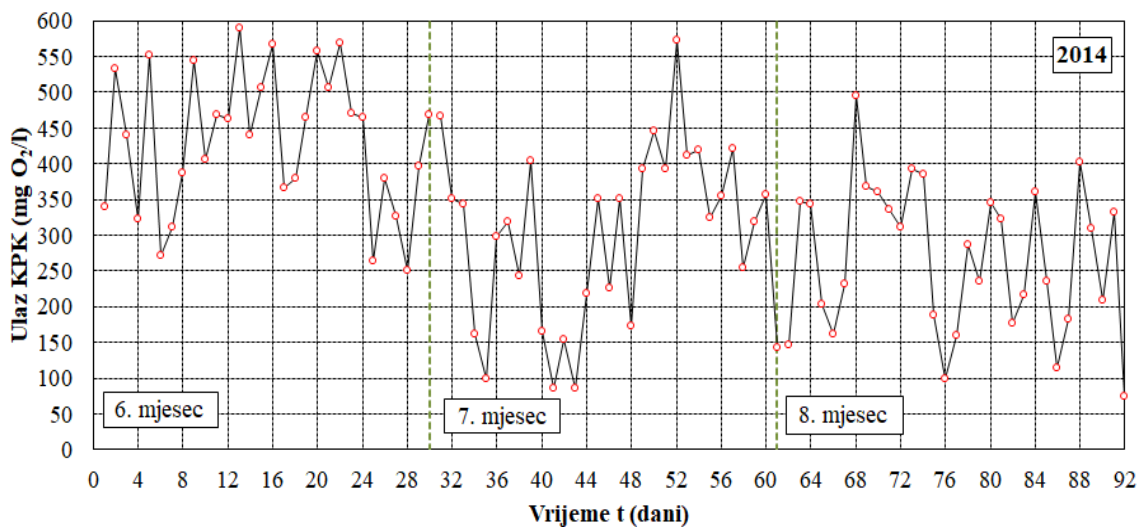
**Slika 65. Ulazne vrijednosti suspendiranih tvari za 2013. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz**



**Slika 66. Prikaz provedenog RAPS-a za ulazne vrijednosti suspendiranih tvari 2013. godine; lipanj, srpanj i kolovoz**

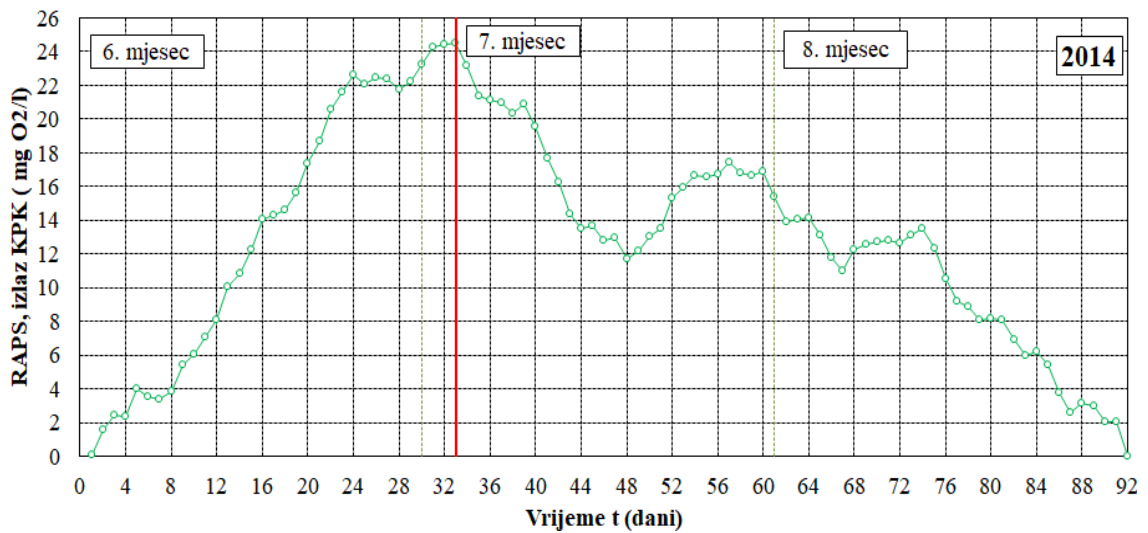


Slika 67. Prikaz dobivenih podnizova za ulazne vrijednosti suspendiranih tvari 2013. godine; lipanj, srpanj i kolovoz

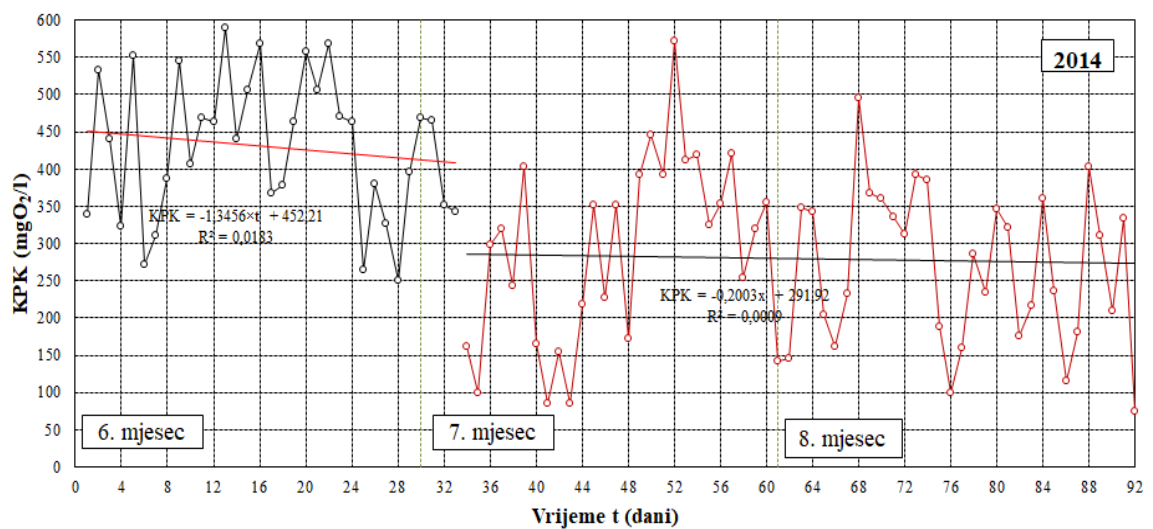


Slika 68. Ulazne vrijednosti KPK za 2014. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz

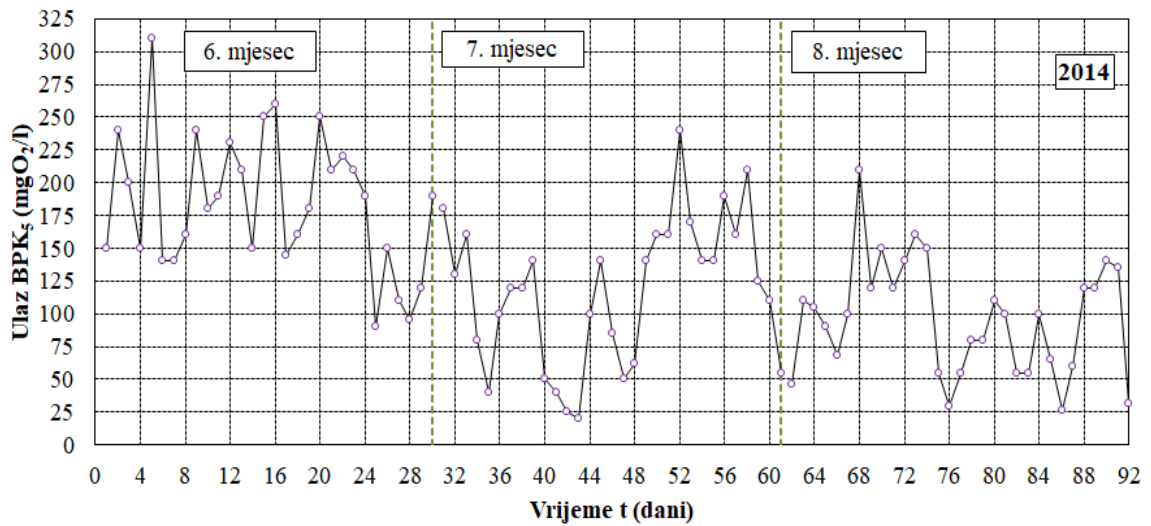




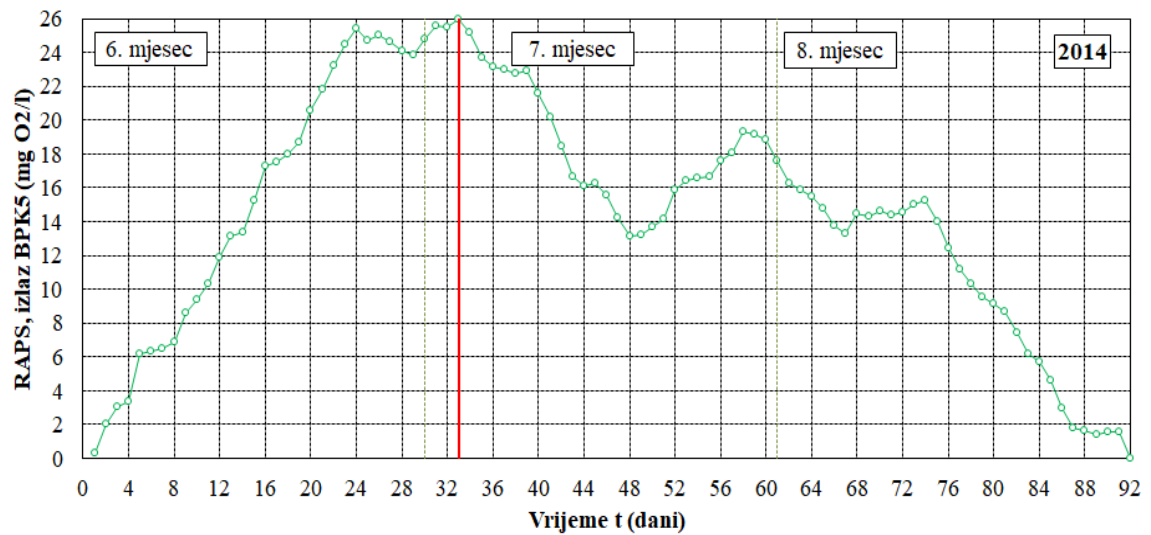
**Slika 69. Prikaz provedenog RAPS-a za ulazne vrijednosti KPK 2014. godine; lipanj, srpanj i kolovoz**



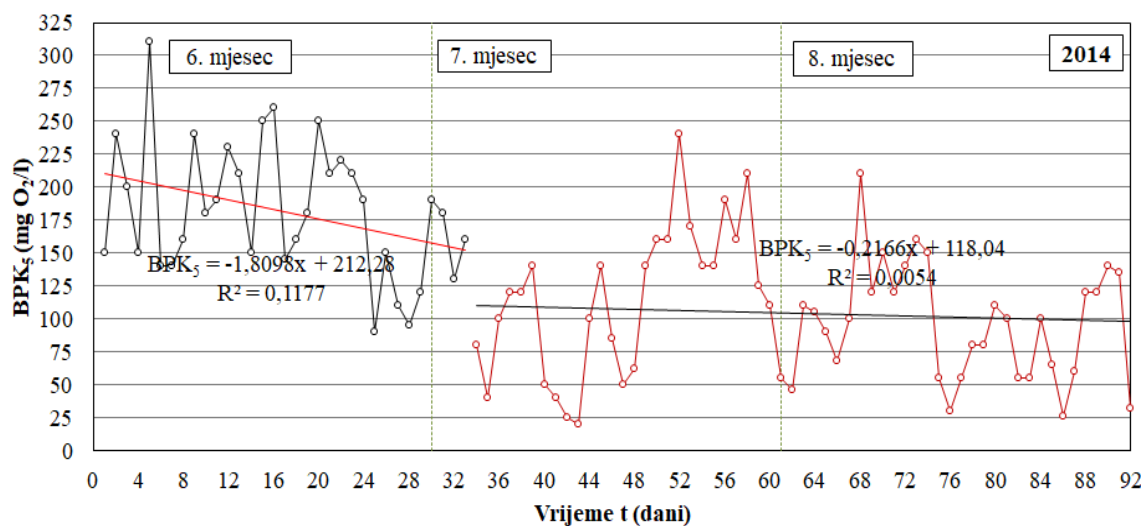
**Slika 70. Prikaz dobivenih podnizova za ulazne vrijednosti KPK 2014. godine; lipanj, srpanj i kolovoz**



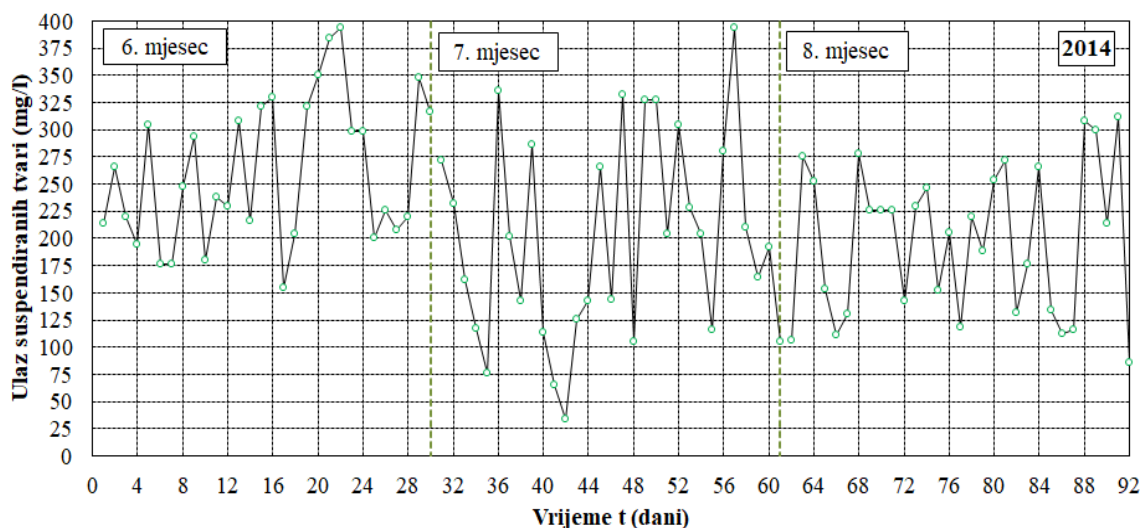
Slika 71. Ulazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> za 2014.godine; lipanj, srpanj i kolovoz



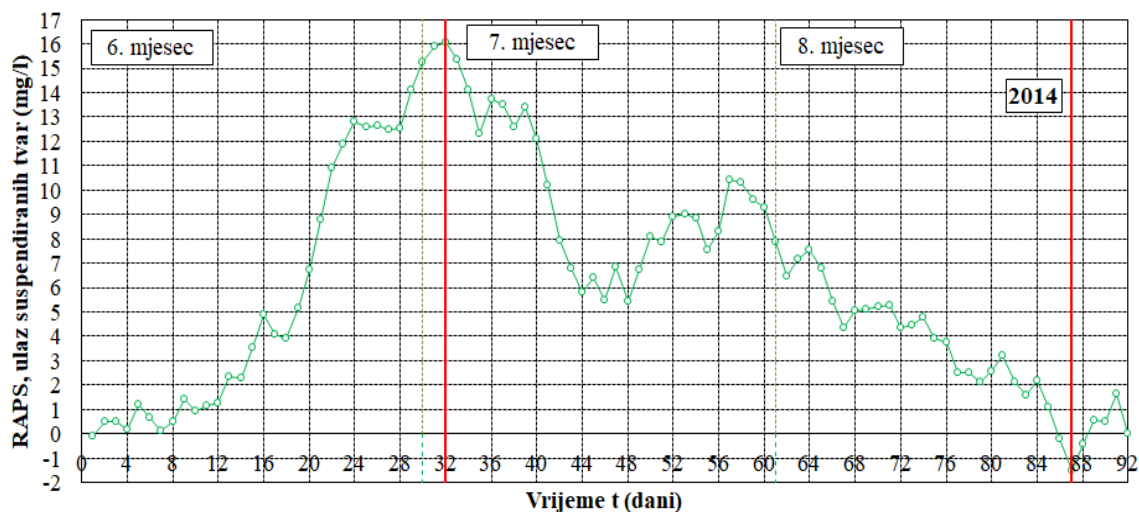
Slika 72. Prikaz provedenog RAPS-a za ulazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> 2014. godine; lipanj, srpanj i kolovoz



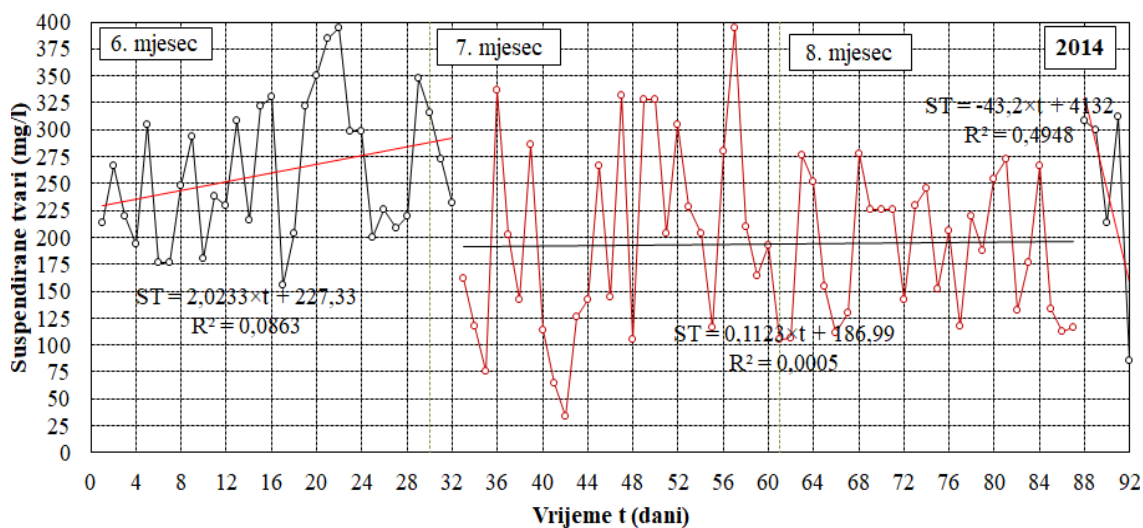
**Slika 73. Prikaz dobivenih podnizova za ulazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> 2014. godine; lipanj, srpanj i kolovoz**



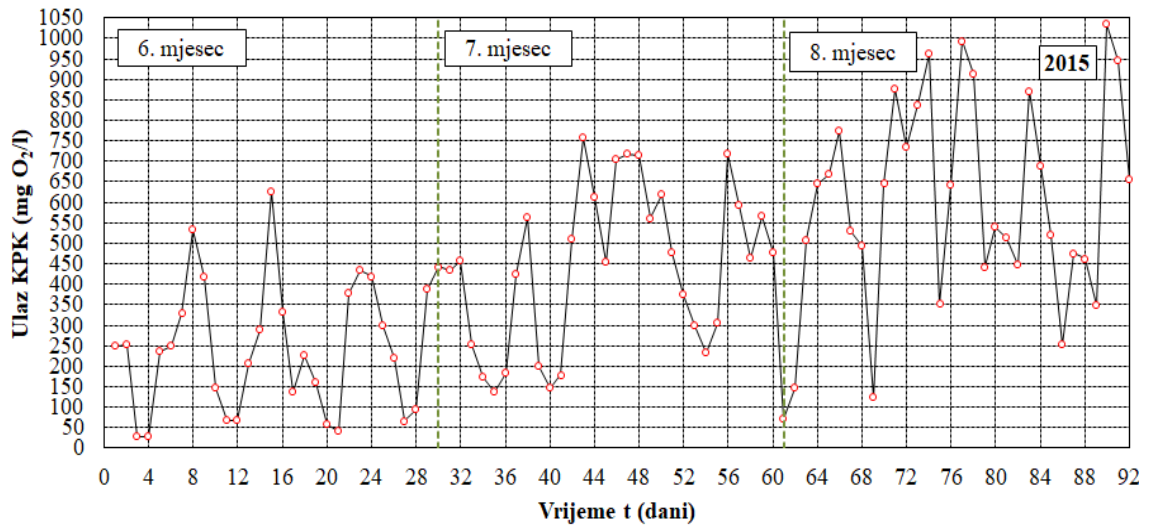
**Slika 74. Ulazne vrijednosti suspendiranih tvari za 2014. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz**



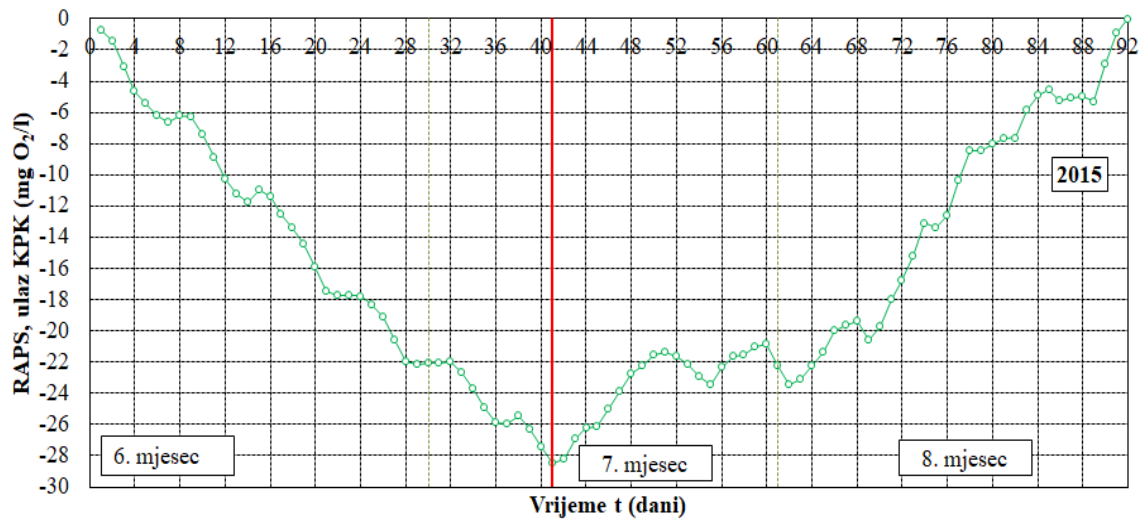
Slika 75. Prikaz provedenog RAPS-a za ulazne vrijednosti suspendiranih tvari 2014. godine; lipanj, srpanj i kolovoz



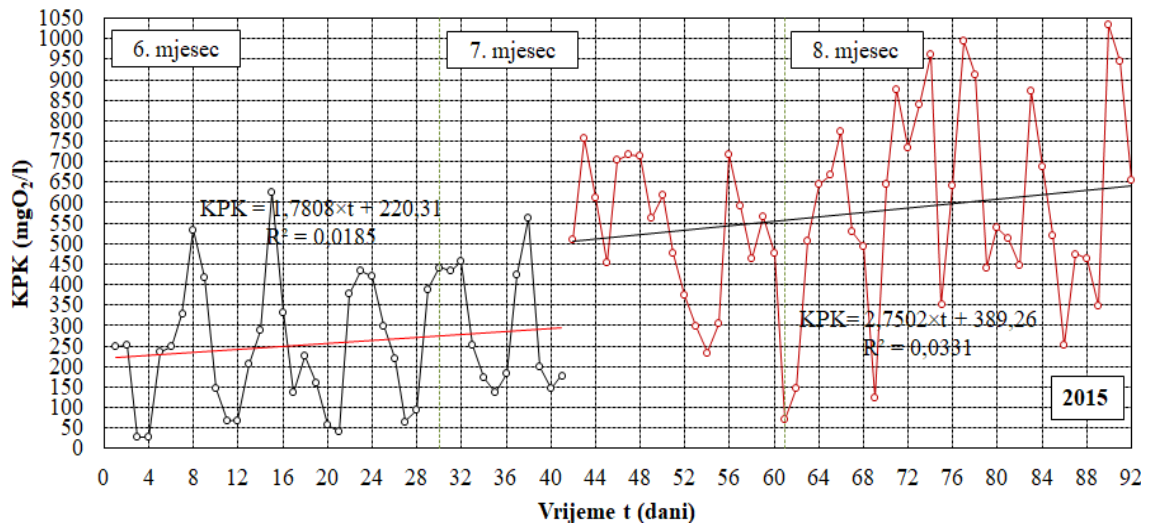
Slika 76. Prikaz dobivenih podnizova za ulazne vrijednosti suspendiranih tvari 2014. godine; lipanj, srpanj i kolovoz



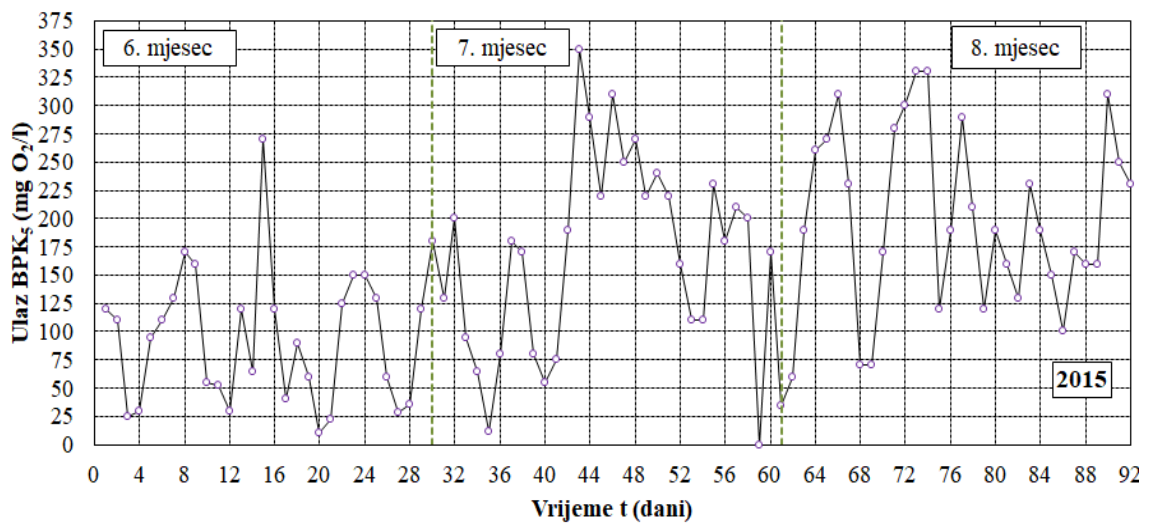
Slika 77. Ulazne vrijednosti KPK za 2015. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz



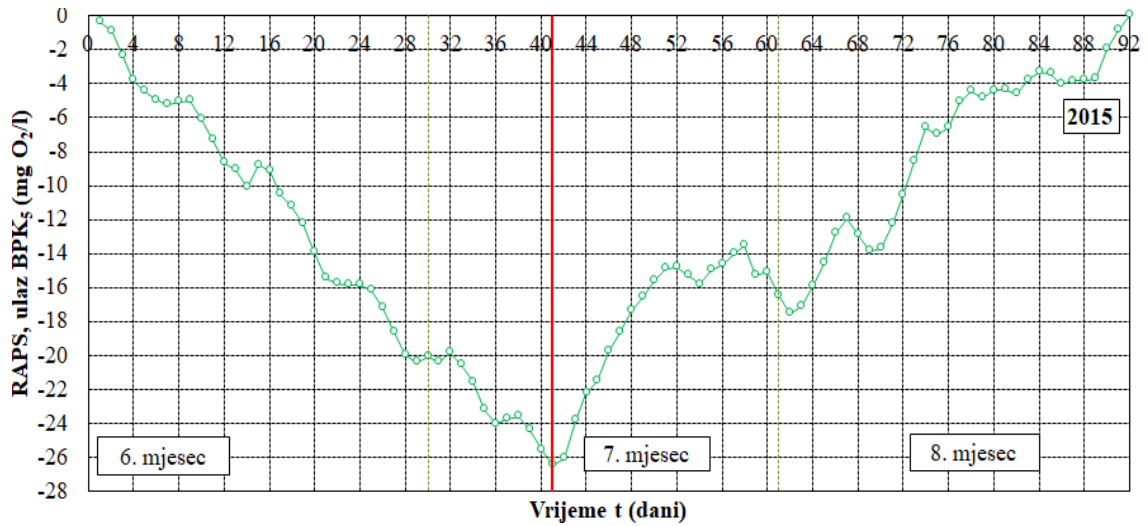
Slika 78. Prikaz provedenog RAPS-a za ulazne vrijednosti KPK 2015. godine; lipanj, srpanj i kolovoz



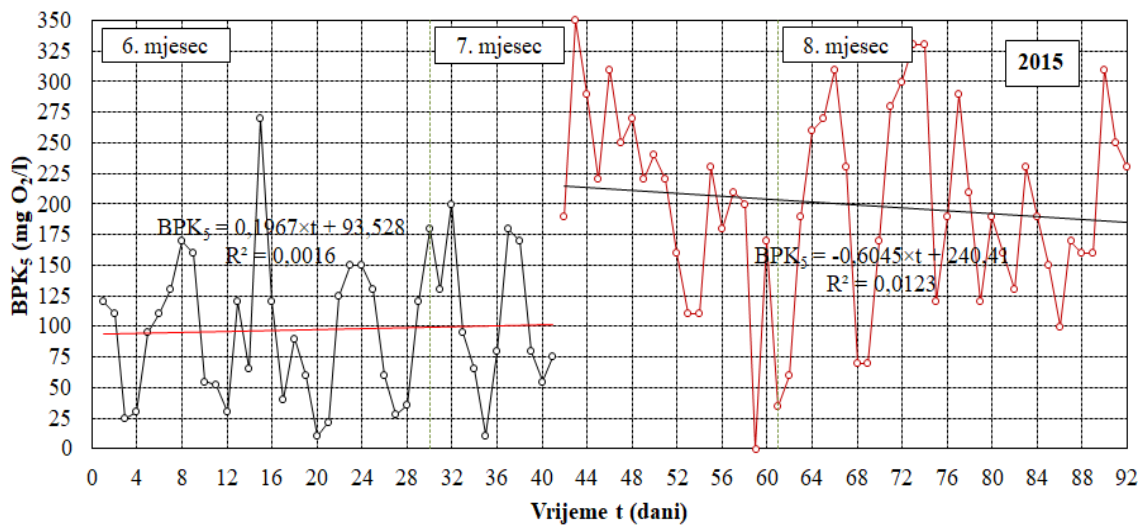
**Slika 79. Prikaz dobivenih podnizova za ulazne vrijednosti KPK 2015. godine; lipanj, srpanj i kolovoz**



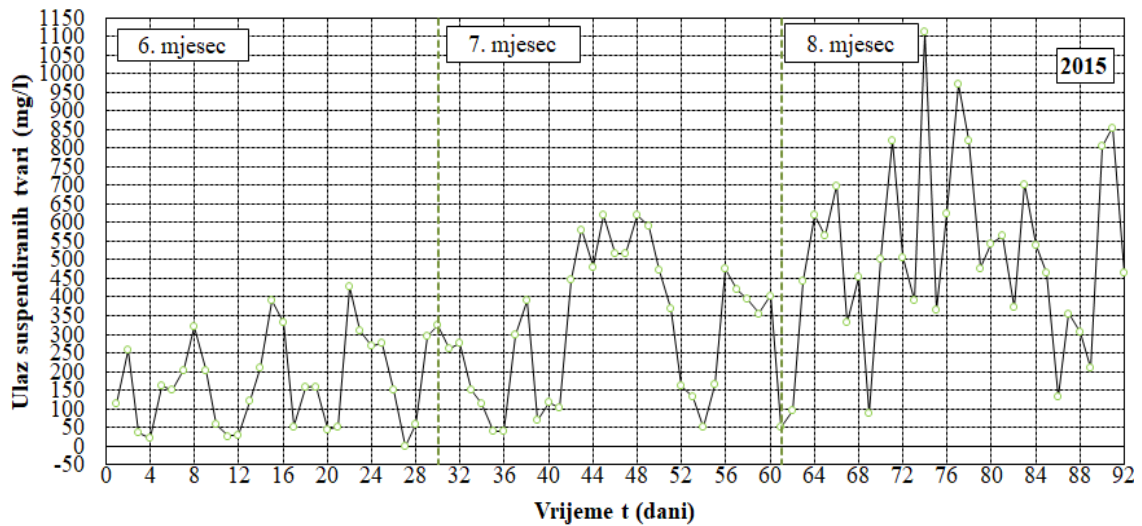
**Slika 80. Ulazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> za 2015. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz**



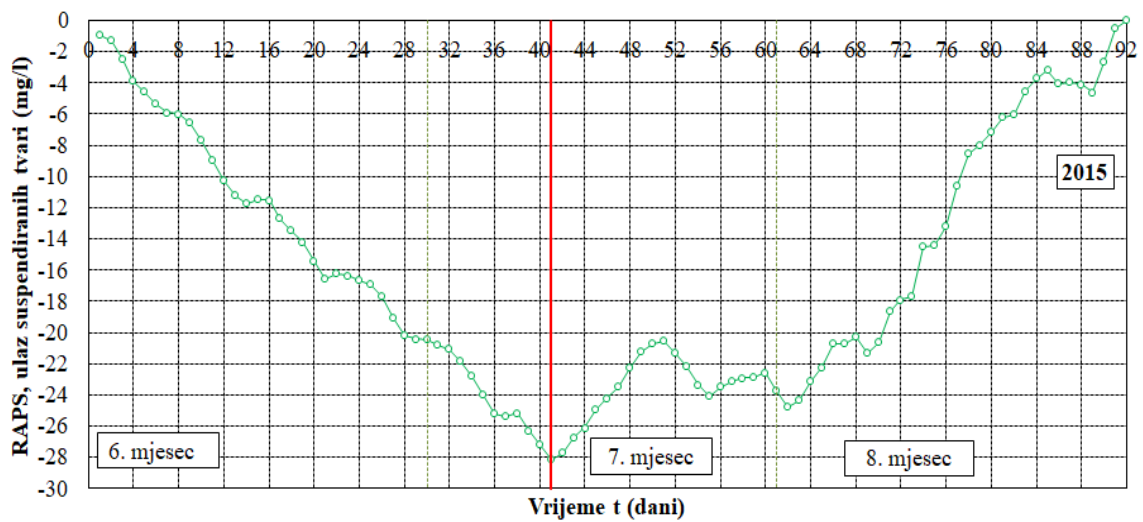
**Slika 81. Prikaz provedenog RAPS-a za ulazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> 2015. godine; lipanj, srpanj i kolovoz**



**Slika 82. Prikaz dobivenih podnizova za ulazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> 2015. godine; lipanj, srpanj i kolovoz**

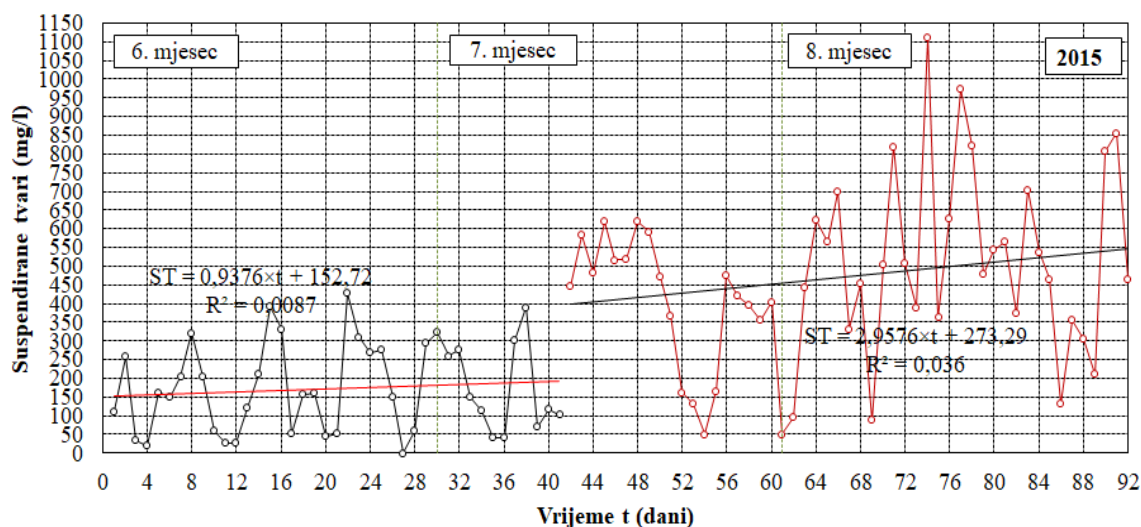


**Slika 83. Ulazne vrijednosti suspendiranih tvari za 2015. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz**



**Slika 84. Prikaz provedenog RAPS-a za ulazne vrijednosti suspendiranih tvari 2015. godine; lipanj, srpanj i kolovoz**





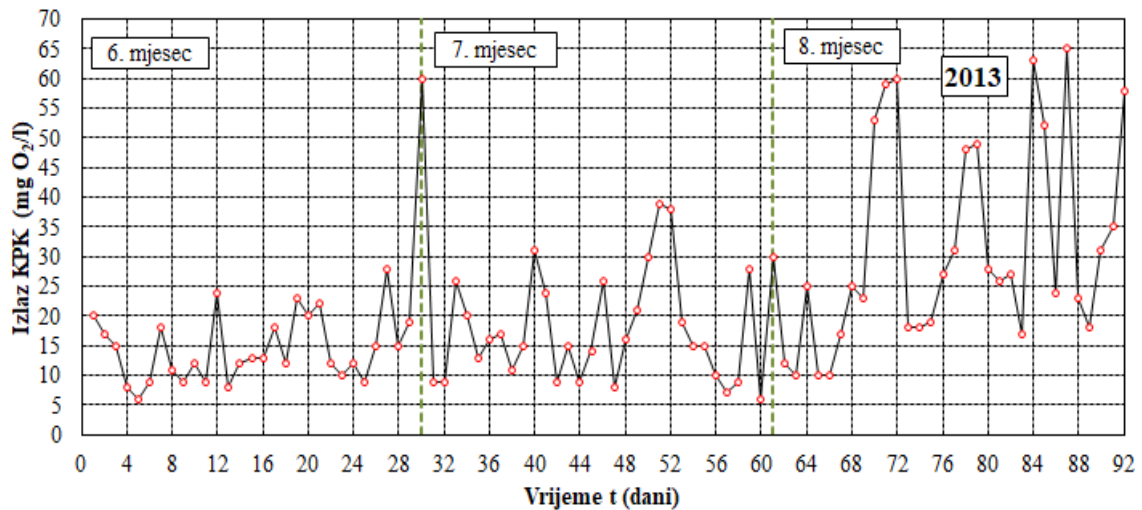
**Slika 85. Prikaz dobivenih podnizova za ulazne vrijednosti suspendiranih tvari 2015. godine; lipanj, srpanj i kolovoz**

Usporedbom zabilježenih količina oborina grada Čakovca (slika 41. do 49.) za 2013., 2013. i 2015. godinu (lipanj, srpanj i kolovoz) s ulaznim vrijednostima RAPS-a (slika 59. do 85.) (KPK, BPK<sub>5</sub> i suspendirane tvari) za iste godine, može se zaključiti da je došlo do stanovitih prekida svih nizova, odnosno nastanka podnizova. Primijećeno je povećanje koncentracije otpadne tvari zbog smanjenja oborina i obrnuto.

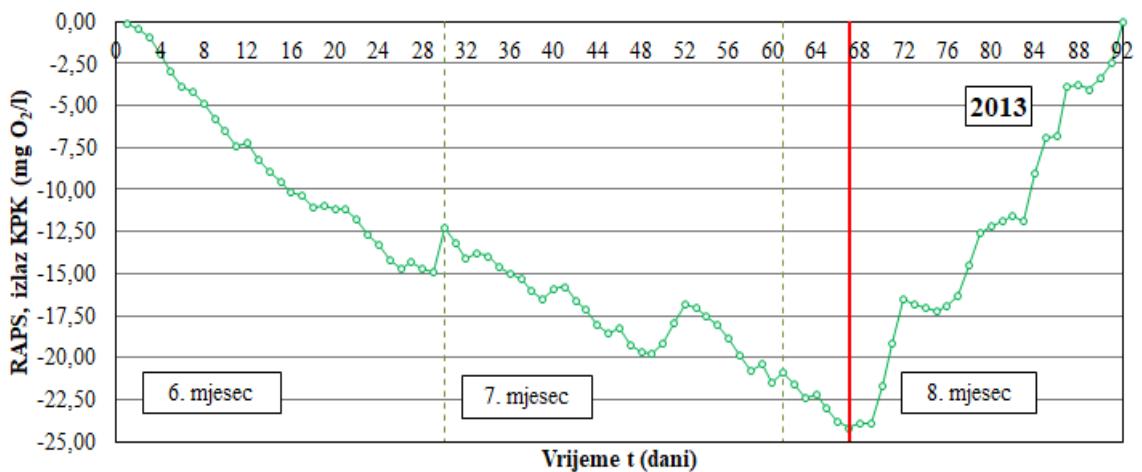
Isto tako može se zaključiti da nema značajnijeg linearnog trenda porasta vrijednosti srednjih dnevnih temperatura na slikama 50. do 58., nego da dolazi do fluktuacija (promjena) u određenim mjesecima što je zapravo posljedica varijacije klime. Svakako se ističe sezonski karakter tih ulaznih vrijednosti, tj da u sedmom mjesecu dolazi do promjena, što se vidi u nastanku podnizova koji završavaju, odnosno počinju tada. Za očekivati je da će povećanje vremena analize s tri mjeseca na godinu dana ukazati na zornije promjene srednje dnevne temperature zraka, odnosno na lokalnu klimatsku karakteristiku (slike 50. do slike 58.). Vrijednosti ulaznih pokazatelja kakvoće otpadne vode su iznad vrijednosti maksimalno dopuštene koncentracije (MDK), što je i za očekivati. Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN, 2013.; NN, 2016.) za II. stupanj pročišćavanja otpadnih voda dopušta MDK za KPK 125 mg O<sub>2</sub>/l, BPK<sub>5</sub> 25 mg O<sub>2</sub>/l i suspendirane tvari 35 mg/l [36]. Na temelju prikazanih grafova može se vidjeti da je najveća izračunata vrijednost determinacije  $R^2$  prikazana na slici 67. koja iznosi 0.9056 za pokazatelj suspendiranih tvari, a potom slijedi 0.8316 (slika 61) za pokazatelj KPK i 0.7708 (slika 64) za pokazatelj BPK<sub>5</sub>. Kada je koeficijent

determinacije u intervalu od 0.25 - 0.64 veza između pojedinih parametara je srednje jakosti, a kada je koeficijent veći od 0.64 predviđa se da će parametri biti u čvrstoj vezi. Na temelju slika 61., 64. i 67. vidljivo je da je veza između parametara čvrsta.

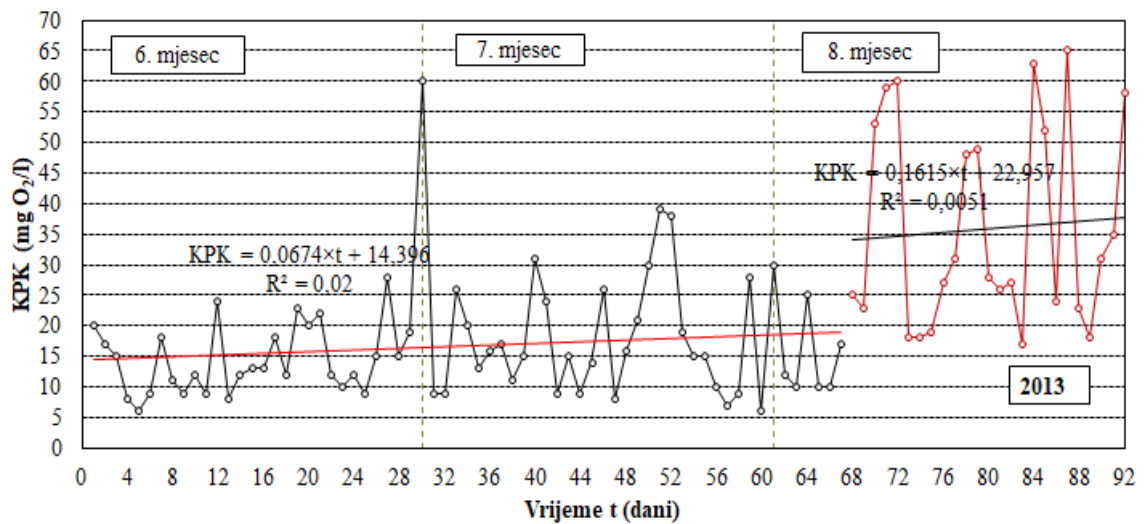
Na slikama 86. do 112. prikazane su izlazne vrijednosti KPK, BPK<sub>5</sub> te suspendiranih tvari za lipanj, srpanj i kolovoz 2013., 2014. i 2015. godine.



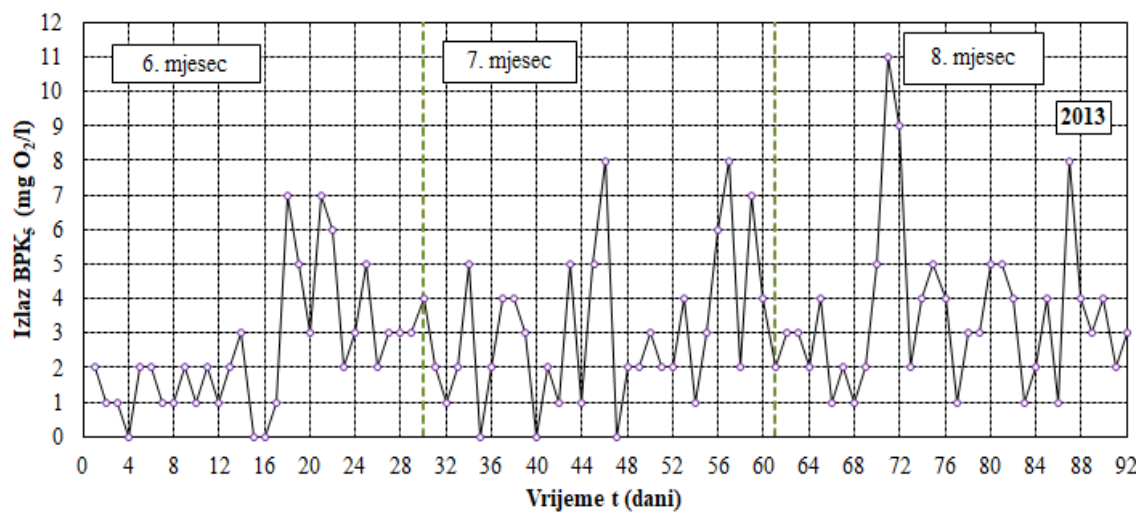
Slika 86. Izlazne vrijednosti KPK za 2013. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz



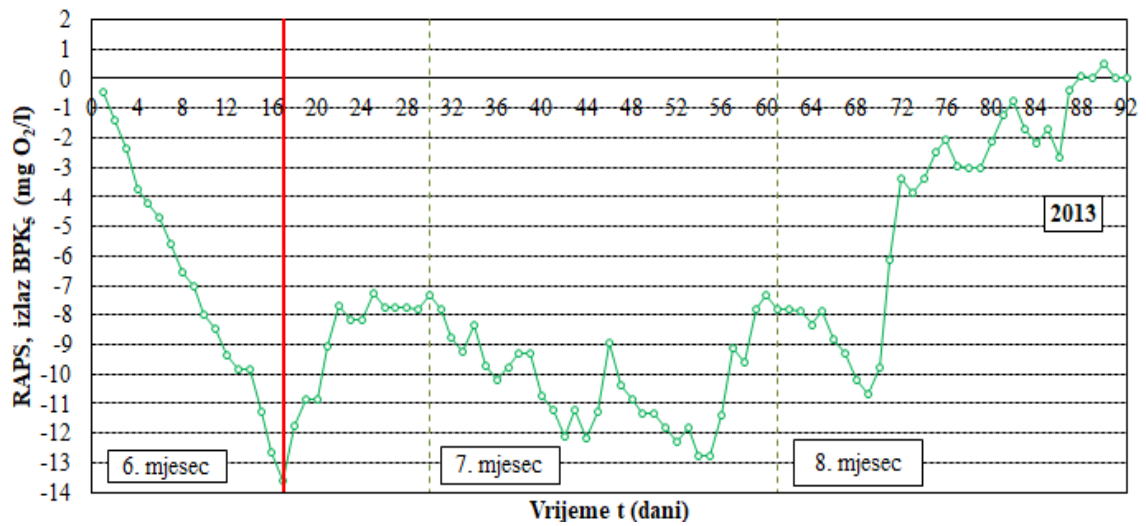
Slika 87. Prikaz provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti KPK 2013. godine; lipanj, srpanj i kolovoz



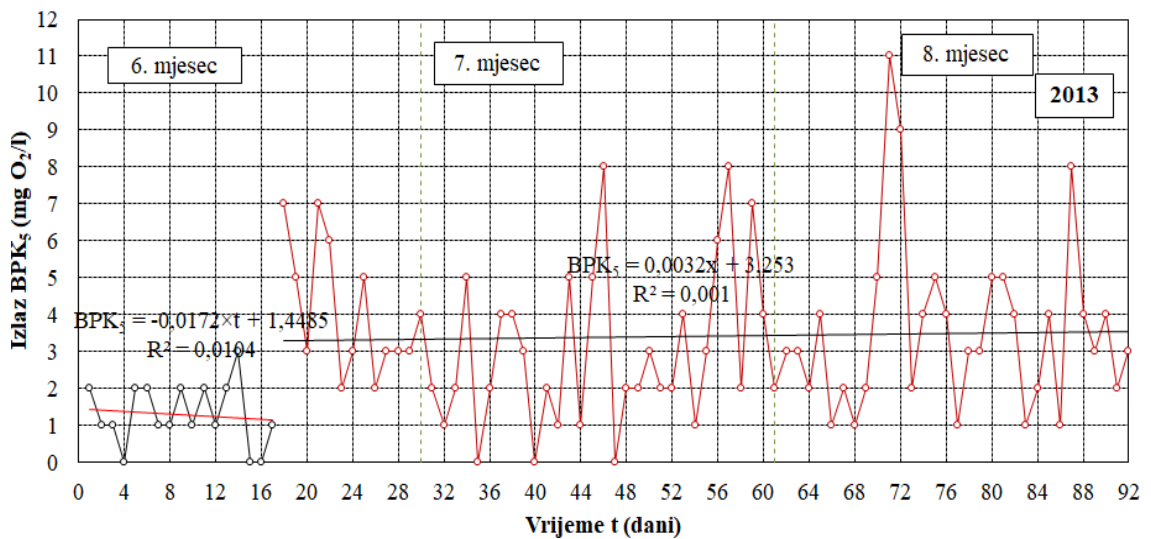
Slika 88. Prikaz dobivenih izlaznih podnizova za KPK2013. godine; lipanj, srpanj i kolovoz



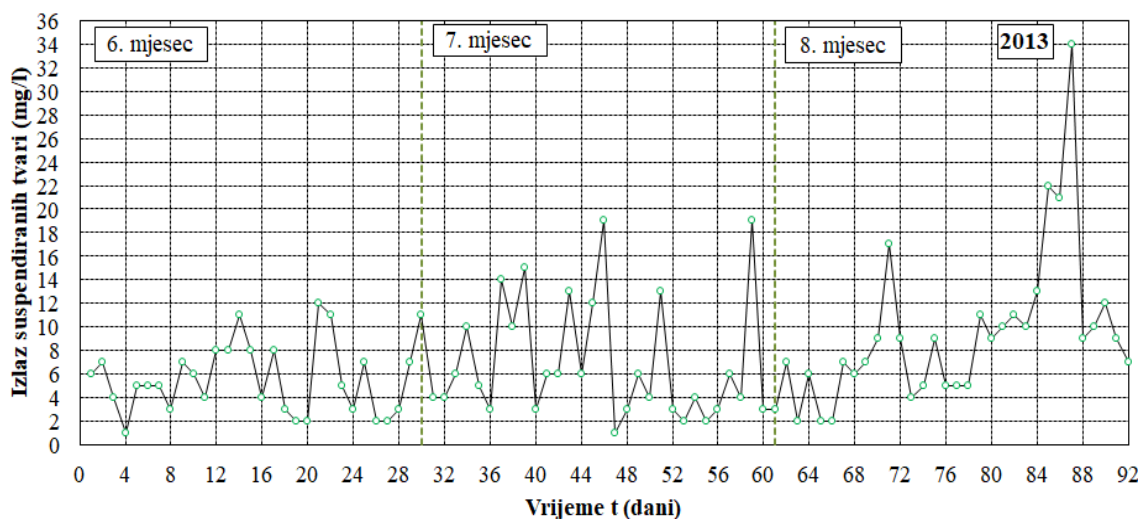
Slika 89. Izlazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> za 2013. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz



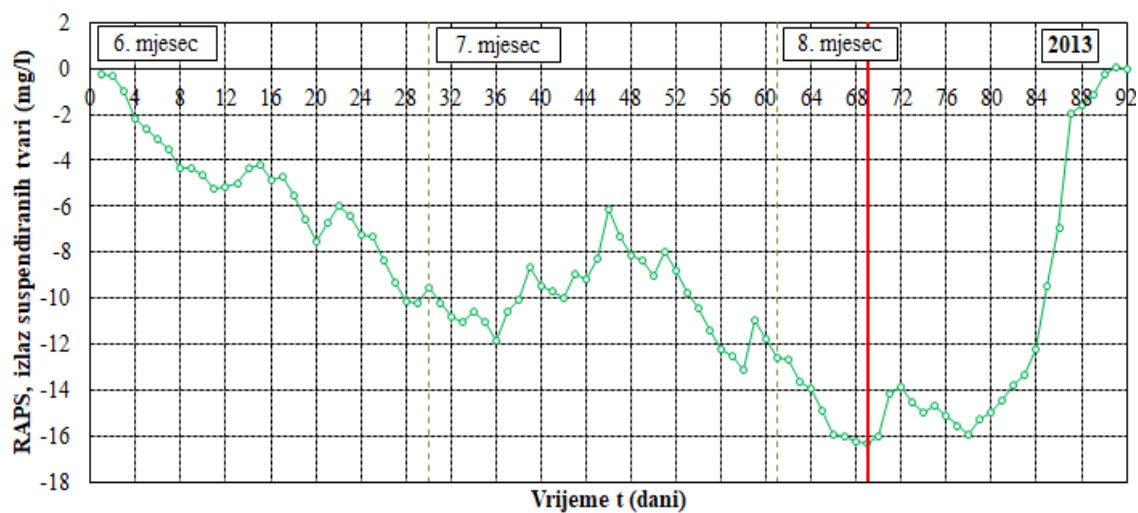
Slika 90. Prikaz provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> 2013. godine; lipanj, srpanj i kolovoz



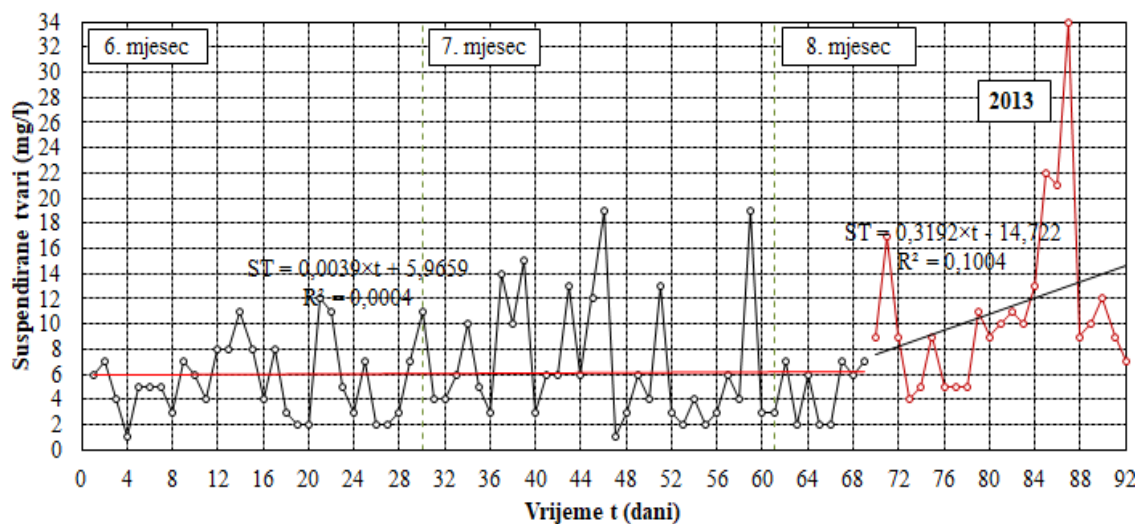
Slika 91. Prikaz dobivenih izlaznih podnizova za BPK<sub>5</sub> 2013. godine; lipanj, srpanj i kolovoz



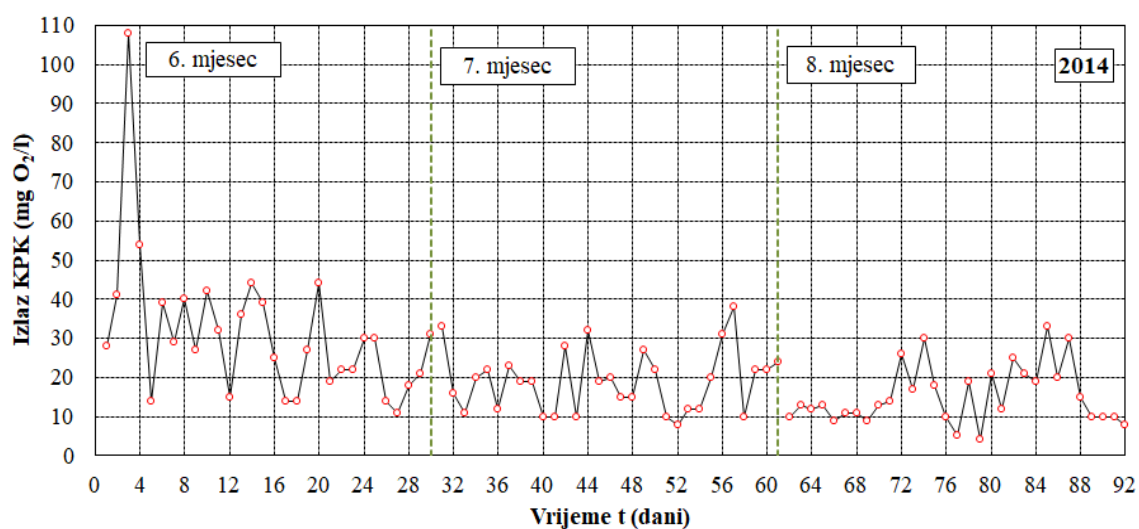
**Slika 92. Izlazne vrijednosti suspendiranih tvari za 2013. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz**



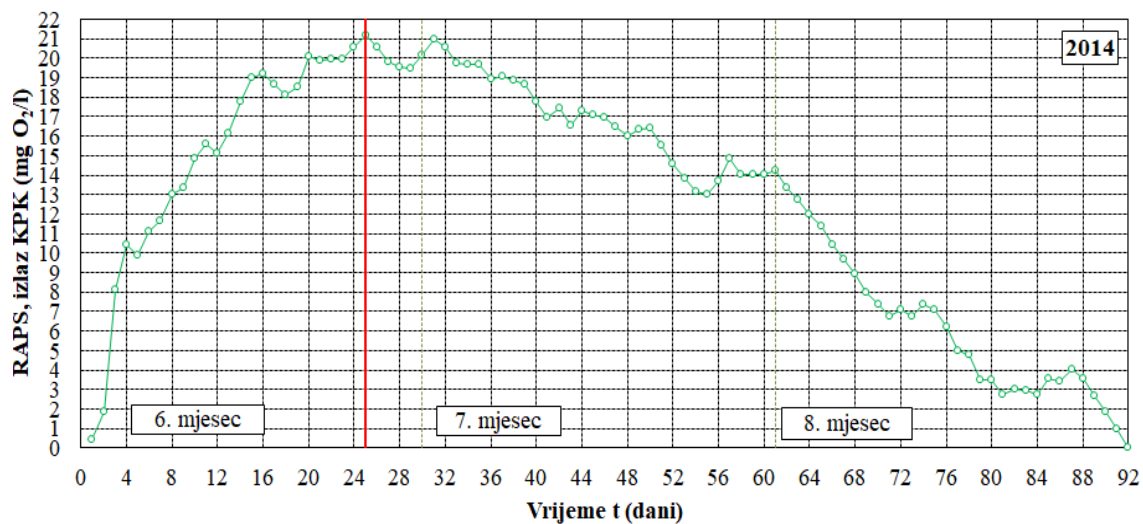
**Slika 93. Prikaz provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti suspendiranih tvri 2013. godine; lipanj, srpanj i kolovoz**



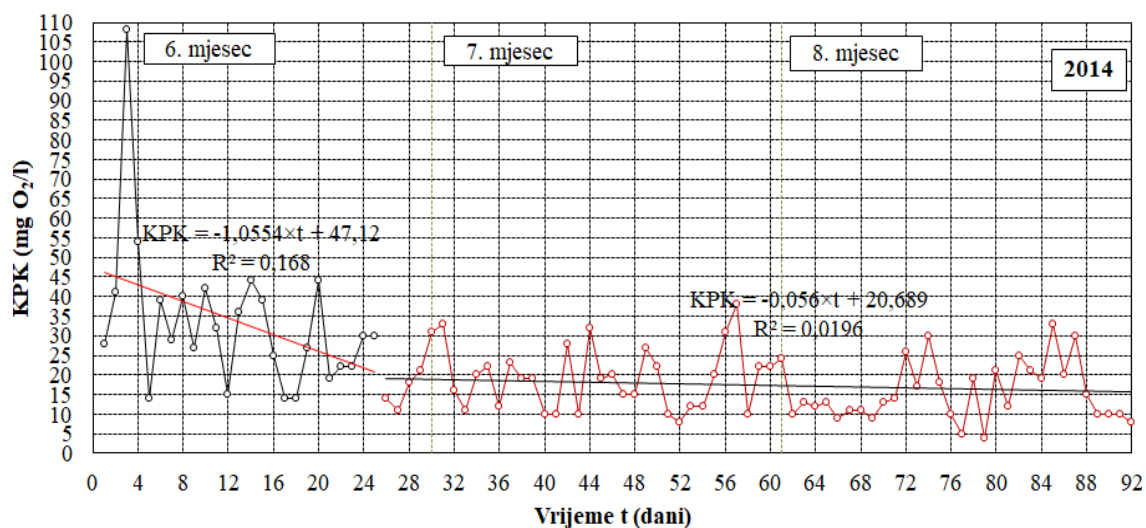
Slika 94. Prikaz dobivenih izlaznih podnizova za suspendirane tvari 2013. godine; lipanj, srpanj i kolovoz



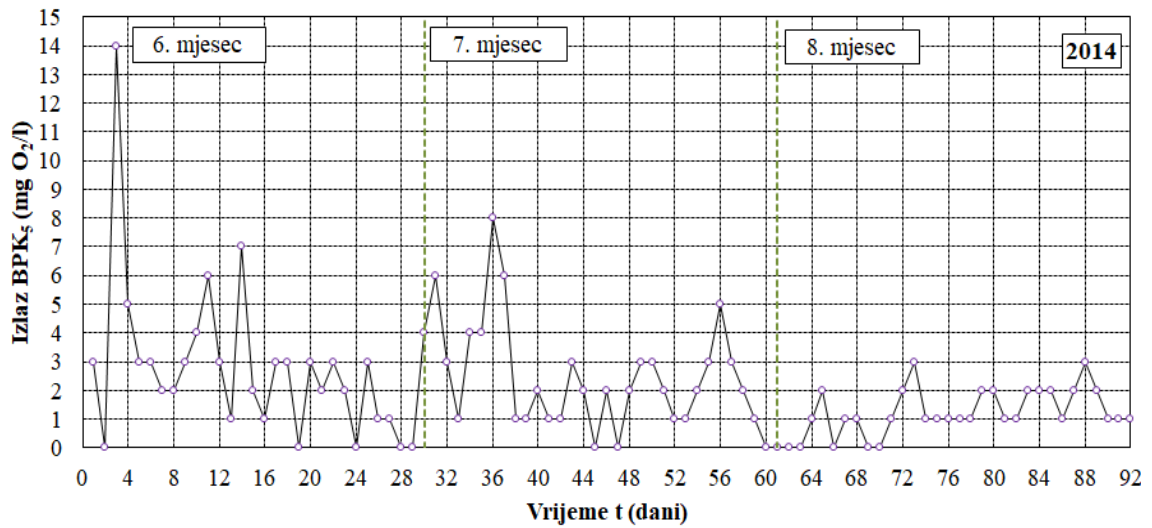
Slika 95. Izlazne vrijednosti KPK za 2014. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz



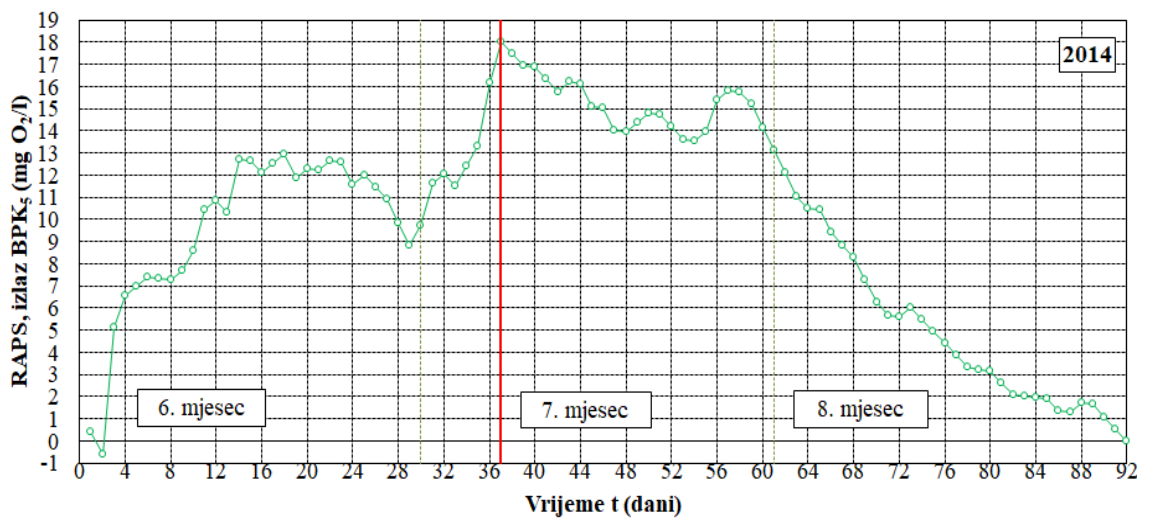
Slika 96. Prikaz provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti KPK 2014. godine; lipanj, srpanj i kolovoz



Slika 97. Prikaz dobivenih izlaznih podnizova za KPK 2014. godine; lipanj, srpanj i kolovoz

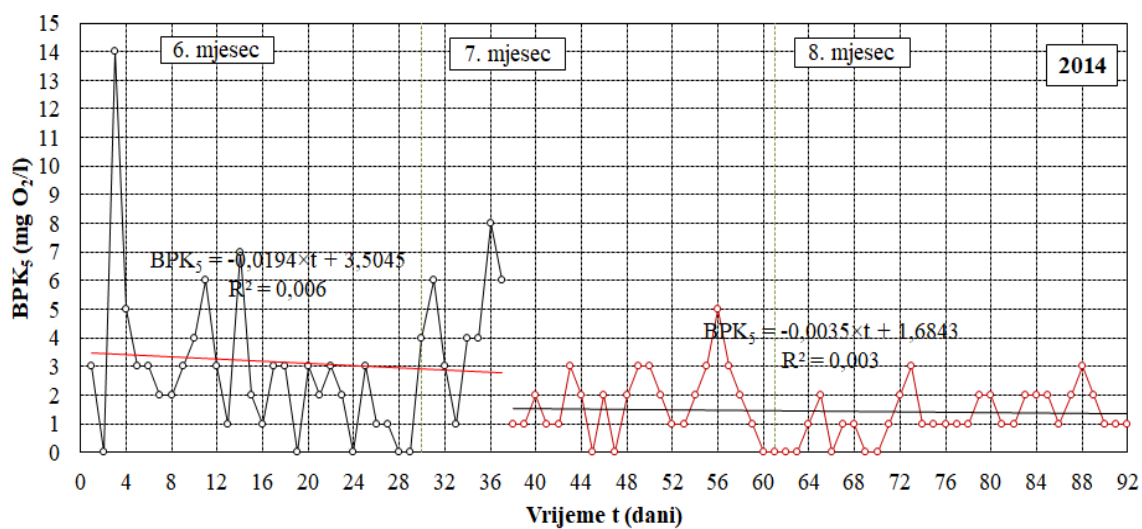


Slika 98. Izlazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> za 2014. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz

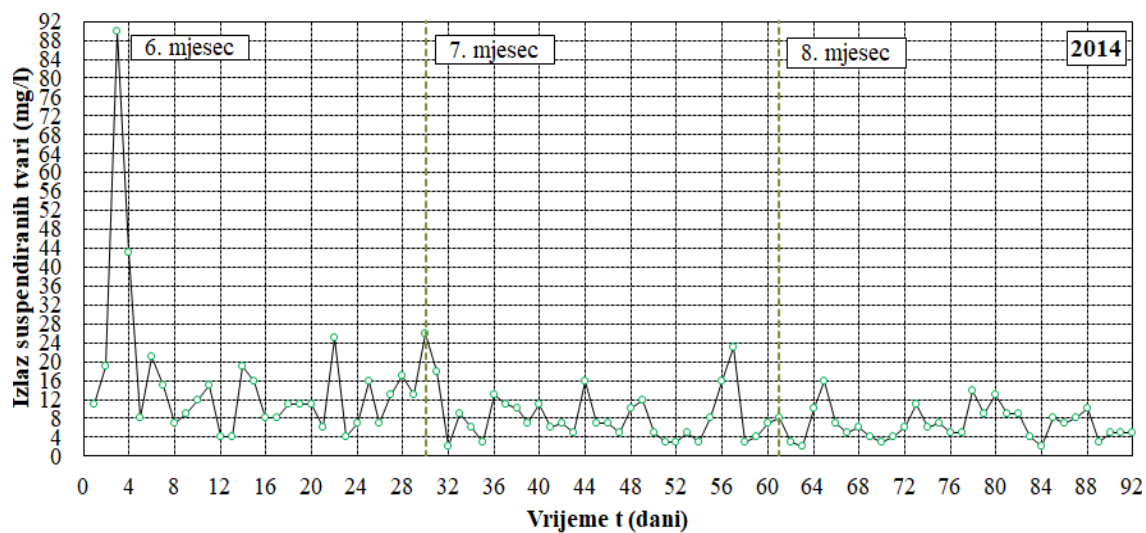


Slika 99. Prikaz provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> 2014. godine; lipanj, srpanj i kolovoz

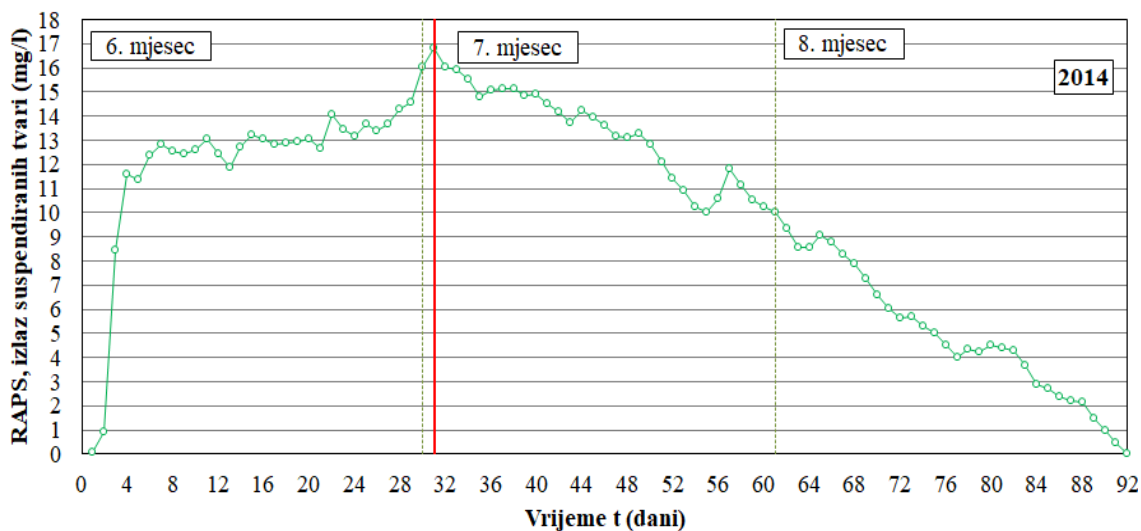




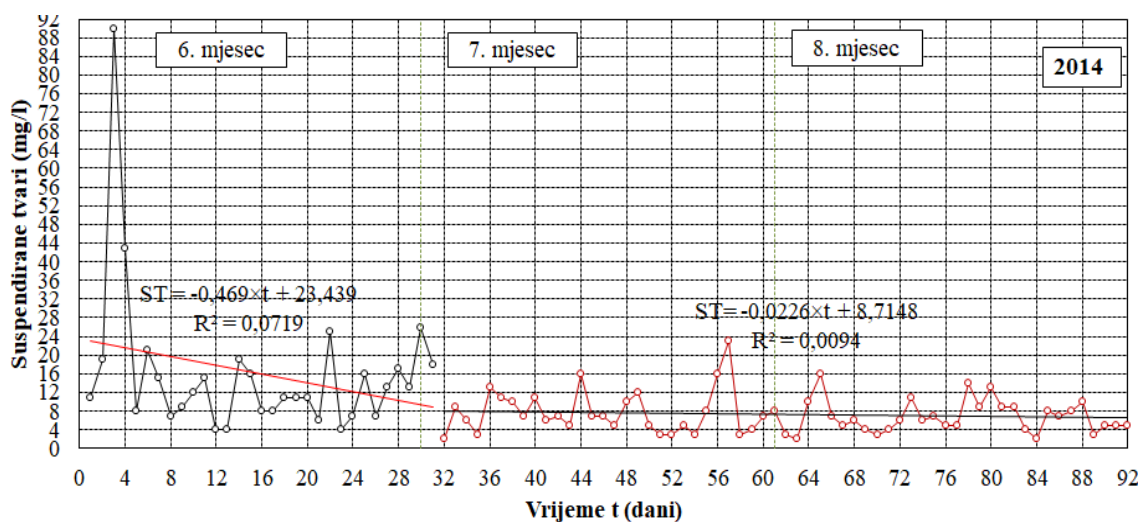
Slika 100. Prikaz dobivenih izlaznih podnizova za BPK<sub>5</sub> 2014. godine; lipanj, srpanj i kolovoz



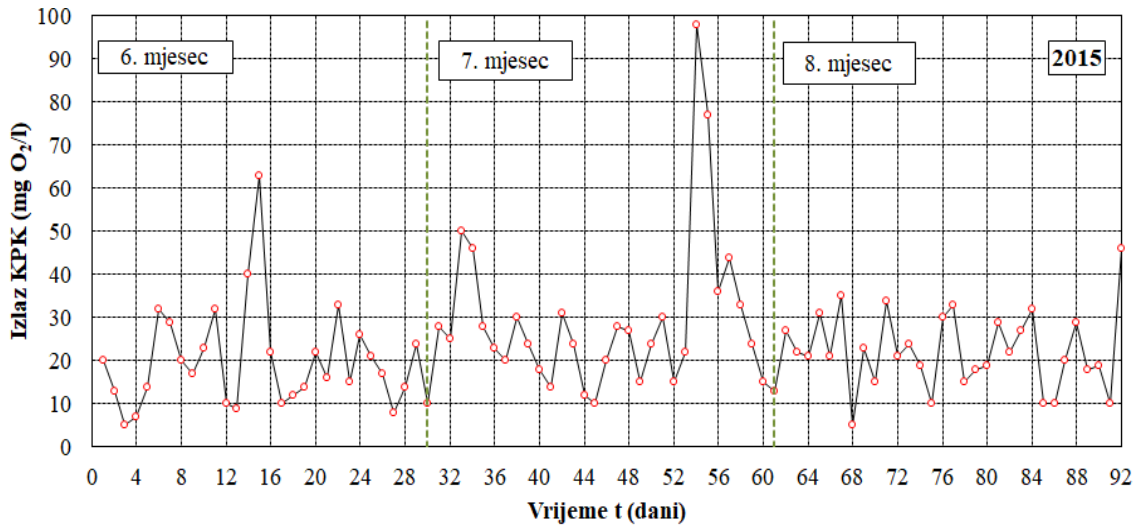
Slika 101. Izlazne vrijednosti suspendiranih tvari za 2014. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz



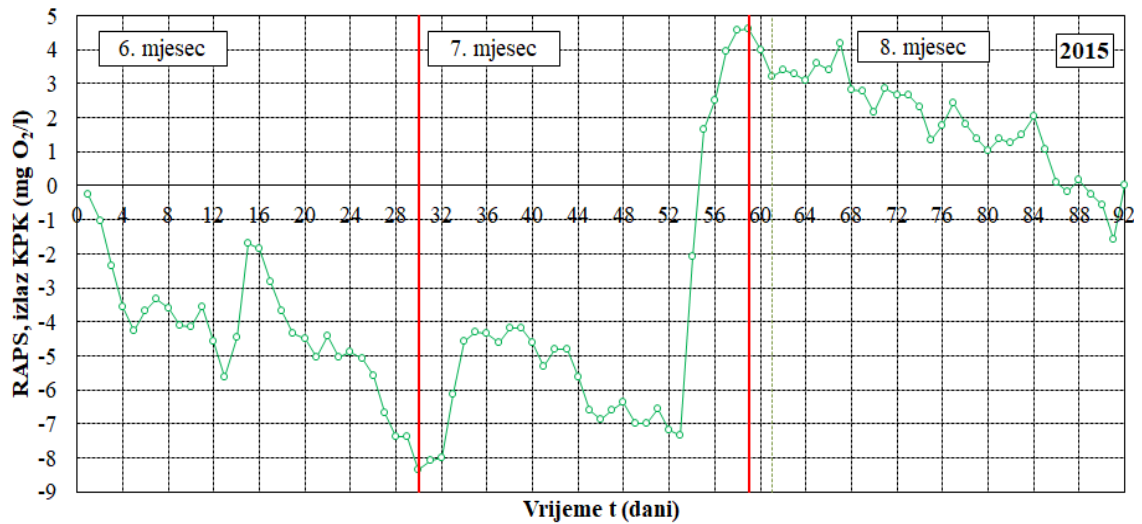
**Slika 102. Prikaz provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti suspendiranih tvari 2014. godine; lipanj, srpanj i kolovoz**



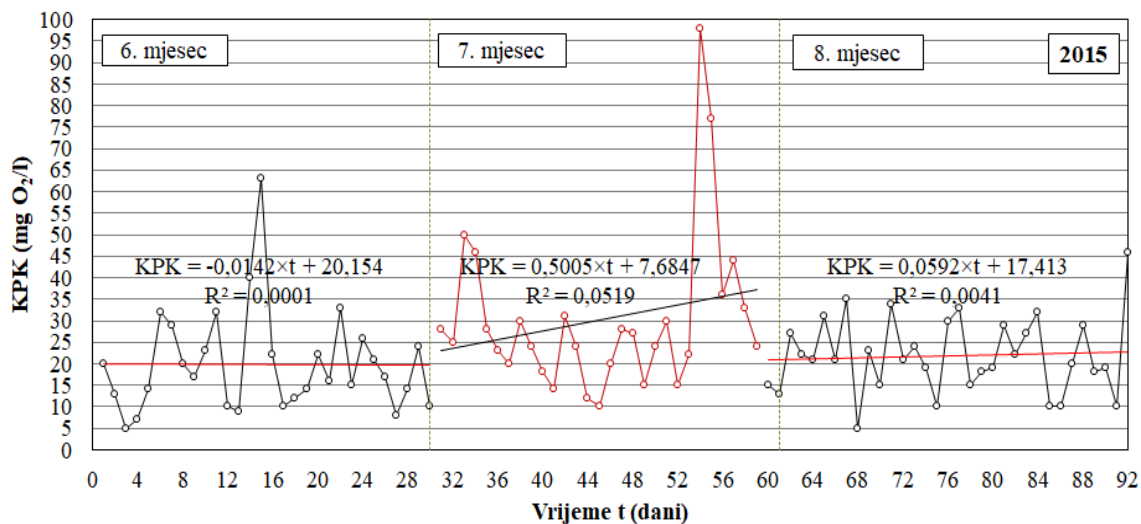
**Slika 103. Prikaz dobivenih izlaznih podnizova za suspendirane tvari 2014. godine; lipanj, srpanj i kolovoz**



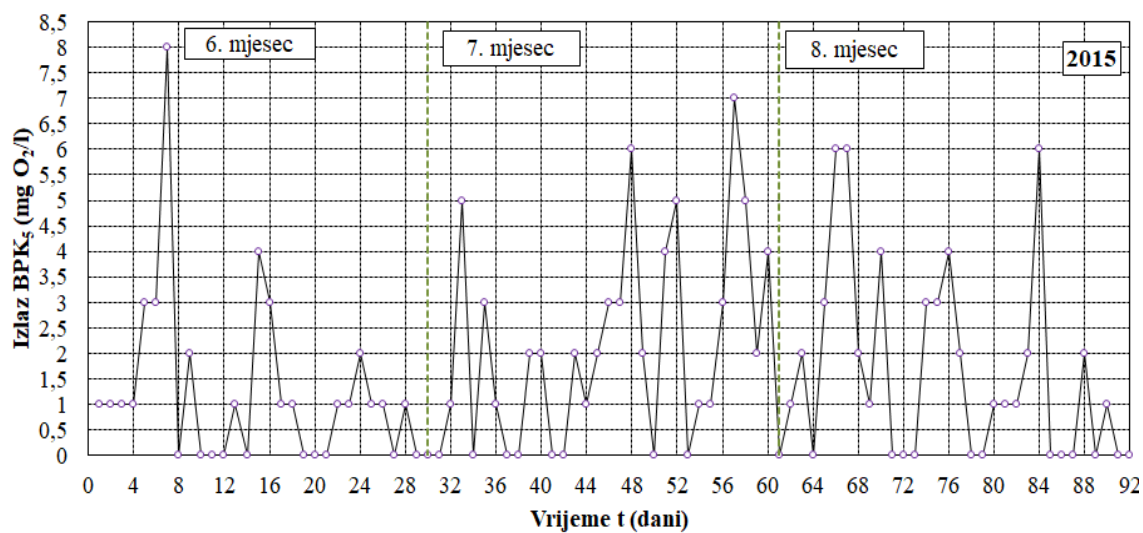
Slika 104. Izlazne vrijednosti KPK za 2015. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz



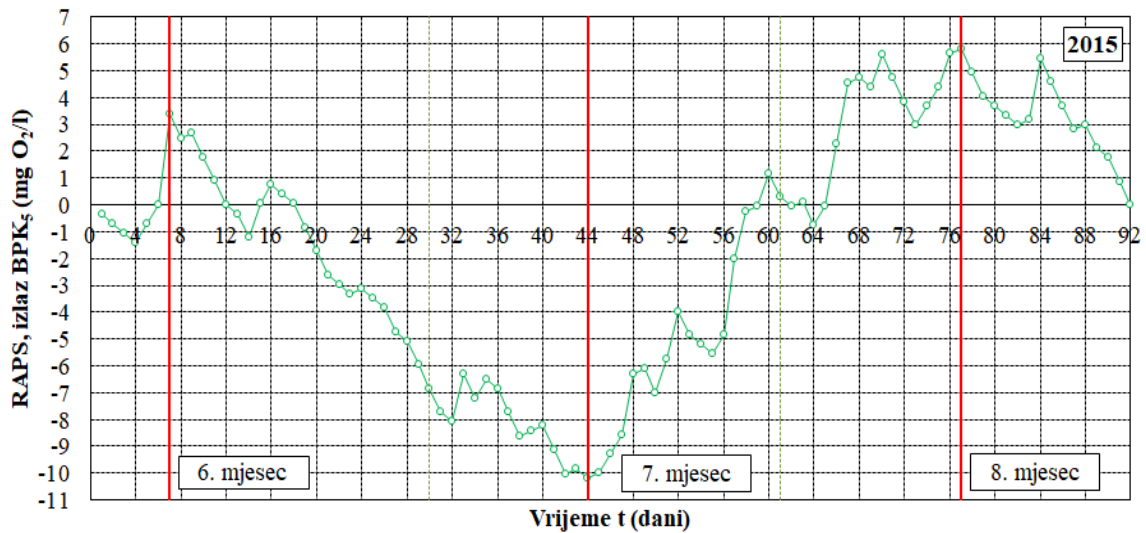
Slika 105. Prikaz provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti KPK 2015. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz



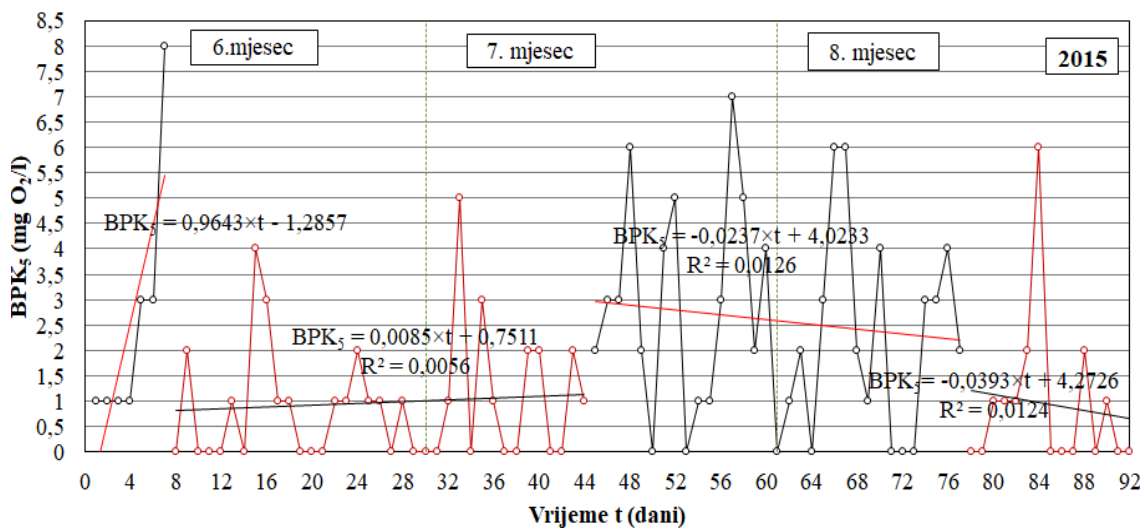
**Slika 106. Prikaz dobivenih podnizova za izlazne vrijednosti KPK 2015. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz**



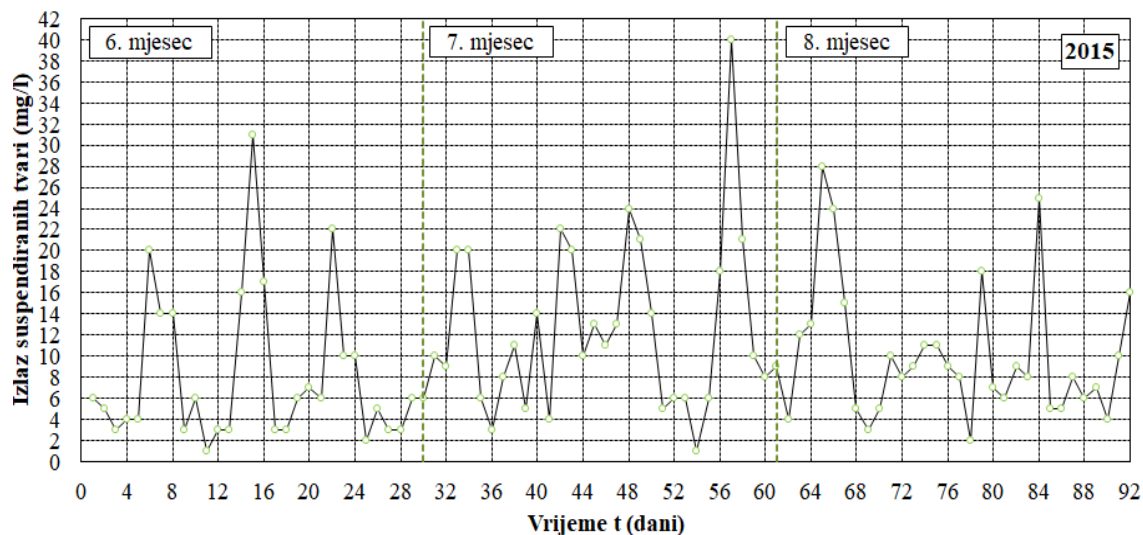
**Slika 107. Izlazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> za 2015. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz**



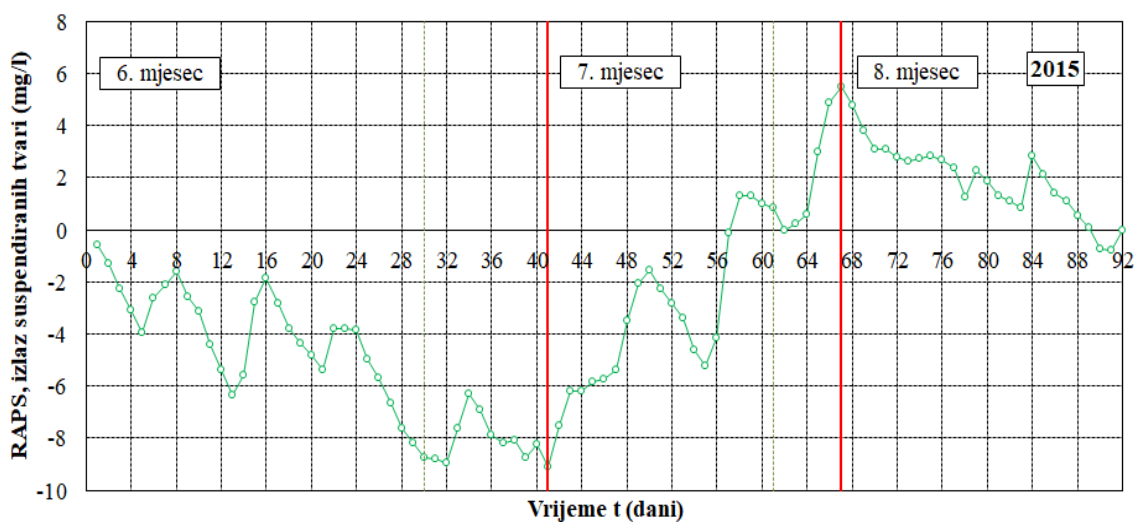
Slika 108. Prikaz provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> 2015. godinu; lipanj, srpanj, kolovoz



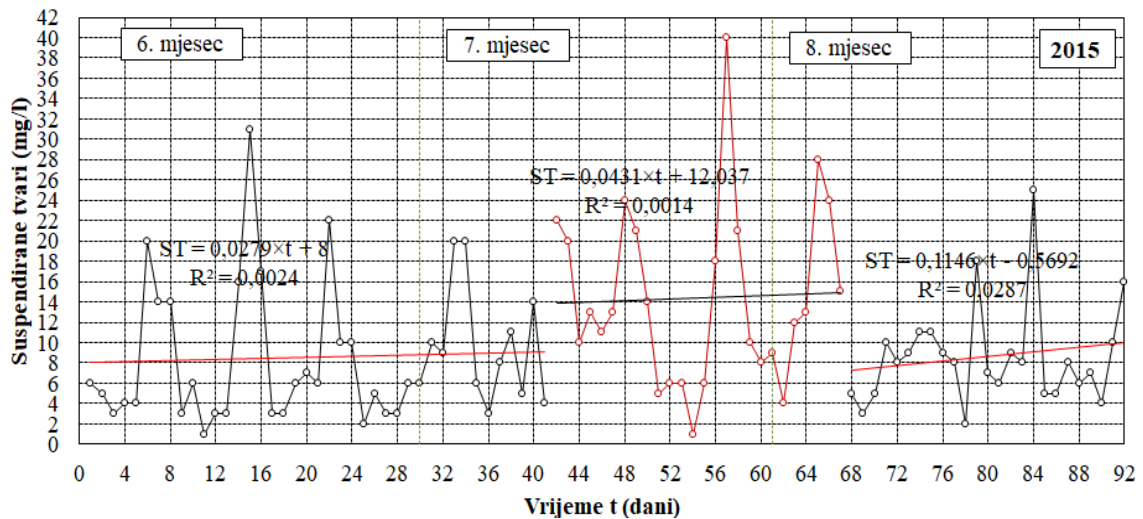
Slika 109. Prikaz dobivenih izlaznih podnizova za BPK<sub>5</sub> 2015. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz



**Slika 110. Izlazne vrijednosti suspendiranih tvari za 215. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz**



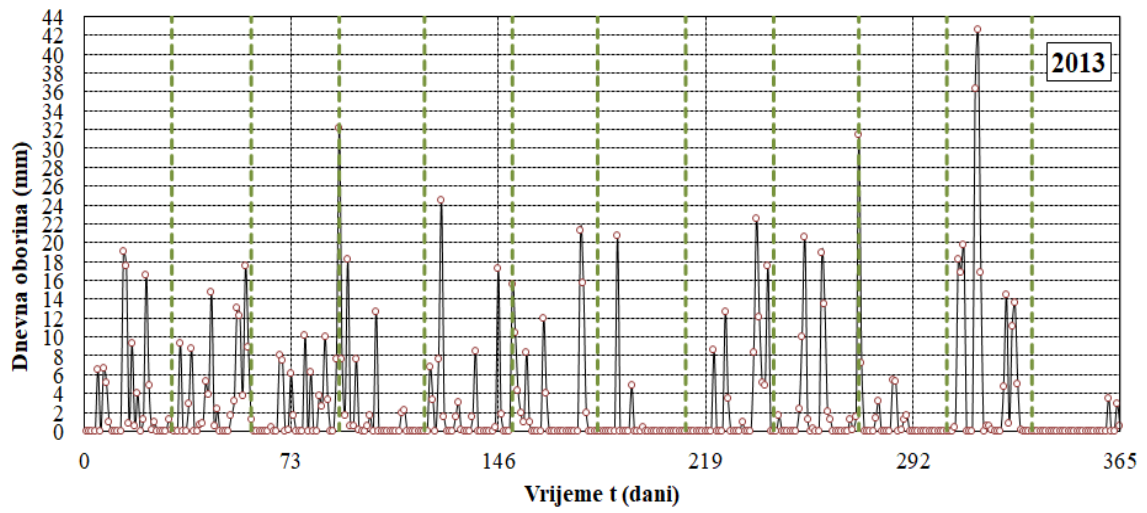
**Slika 111. Prikaz provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti suspendiranih tvari 2015. godine; lipanj, srpanj i kolovoz**



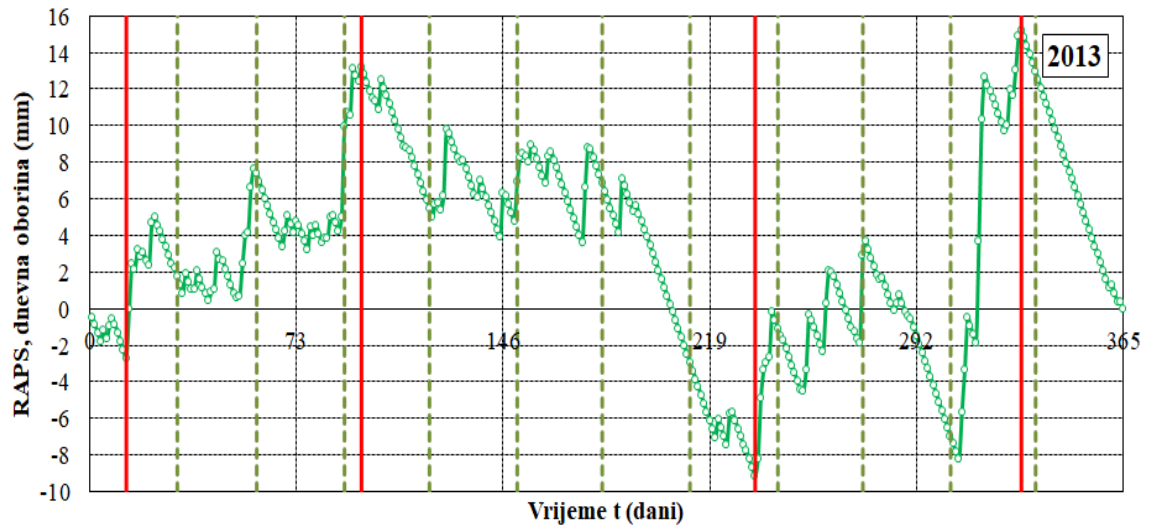
**Slika 112. Prikaz dobivenih izlaznih podnizova za suspendirane tvari 2015. godine; lipanj, srpanj i kolovoz**

Kod izlaznih pokazatelja kakvoće otpadnih voda može se reći da nema zapaženih podudaranja s nizovima količine oborina te izlaznih podnizova što zapravo znači da oborine ne utječu na rad uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Također, nema ni značajnijeg linearnog trenda porasta vrijednosti srednjih dnevnih temperatura, već dolazi do fluktuacija u određenim mjesecima, što je zapravo posljedica varijacije klime. Vrijednosti izlaznih pokazatelja kakvoće otpadne vode su ispod MDK te su podnizovi zapravo rezultat tehnoloških procesa koji su nastali u kontroliranim uvjetima. Bez obzira na male vrijednosti koeficijenta determinacije  $R^2$ , pažnju je potrebno obratiti na podnizove s rastućim linearnim trendovima. Cilj je što veća kakvoća pročišćene otpadne vode koja izlazi iz uređaja za pročišćavanje otpadne vode, odnosno koja ulazi u prijemnik otpadnih voda, najčešće vodotok. Također, vidljivo je da su dobiveni podnizovi ulaznih i izlaznih vrijednosti za tromjesečne nizove približno jednake.

Na slikama 113. do 157. prikazane su ukupne ulazne vrijednosti ukupne dnevne oborine i srednje dnevne temperature) i ulaznih i izlaznih pokazatelja kakvoće otpadne vode (KPK, BPK<sub>5</sub> i suspendirane tvari) za 2013., 2014. i 2015. godinu.

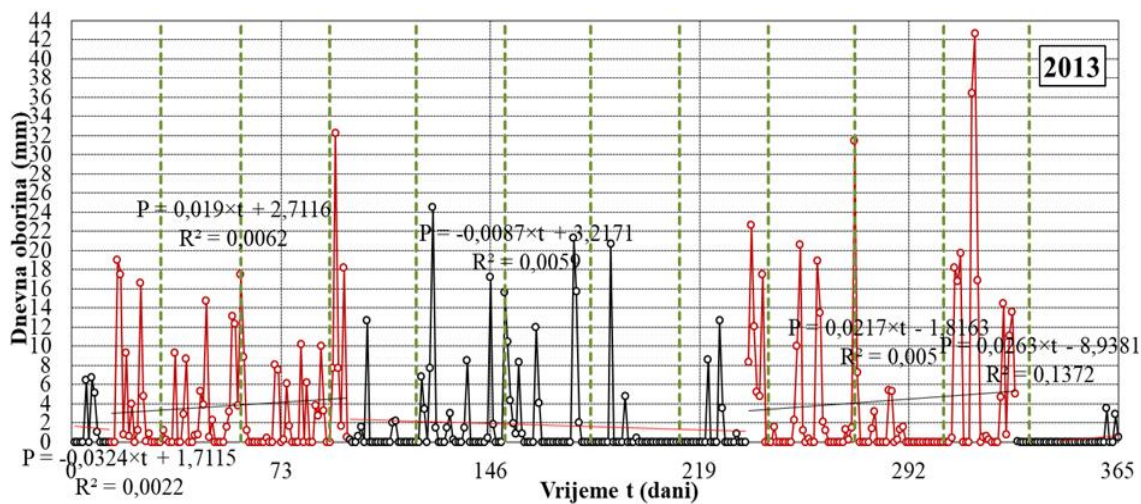


Slika 113. Dnevna oborina za grad Čakovec 2013. godine

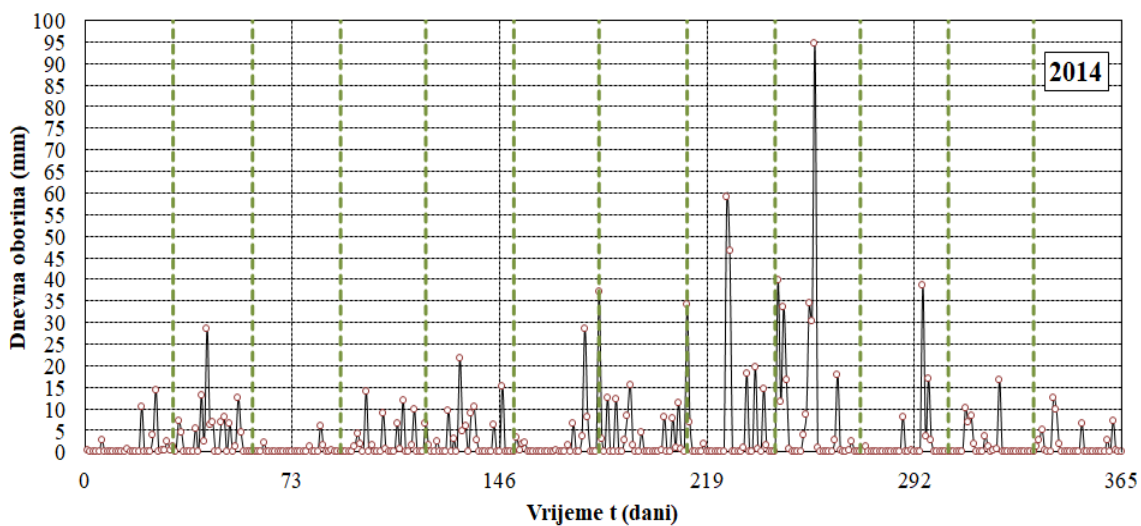


Slika 114. Prikaz provedenog ukupnog RAPS-a za dnevne oborine 2013. godine

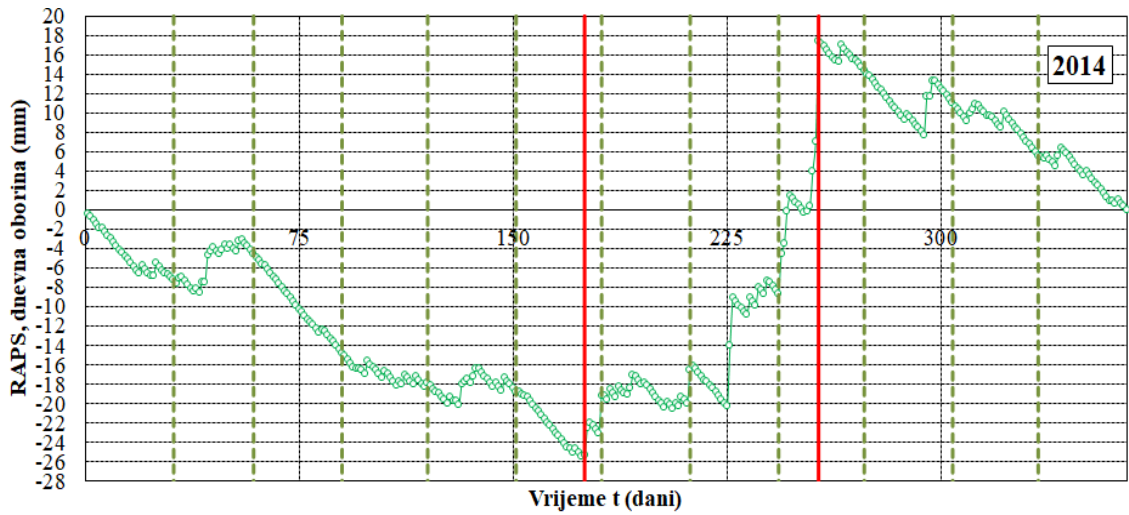




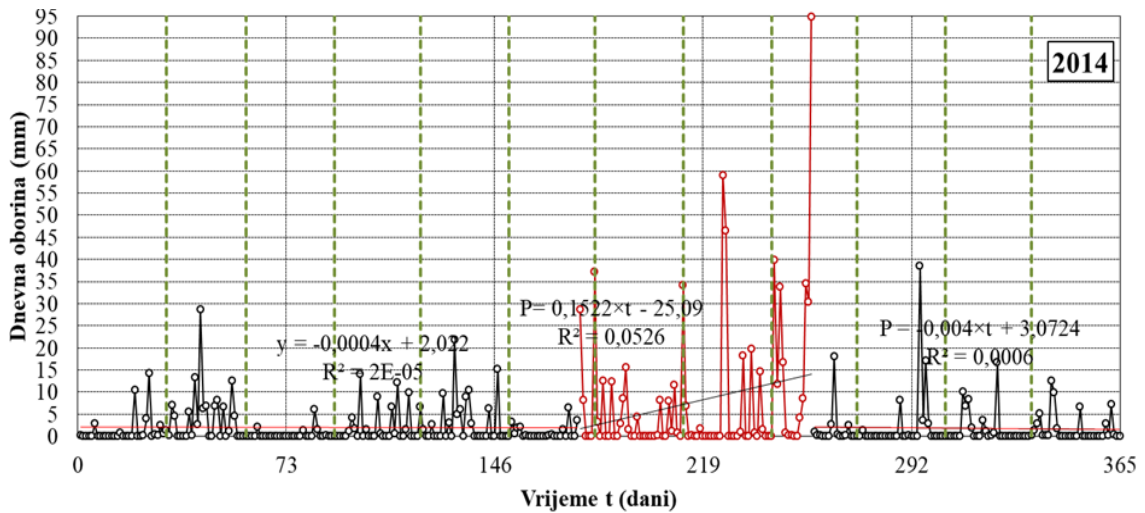
Slika 115. Ukupna dnevna oborina za grad Čakovec 2013. godine



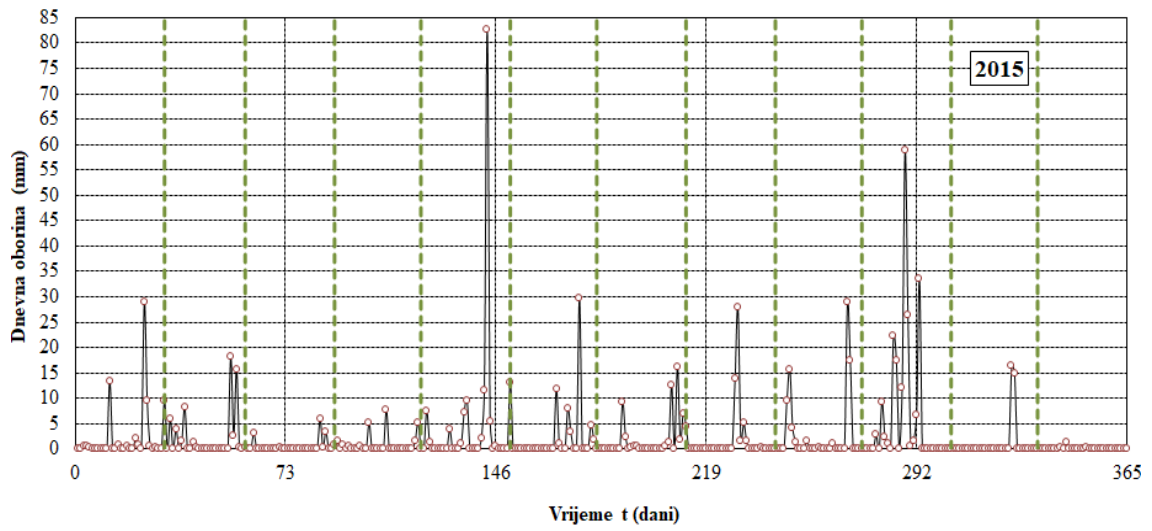
Slika 116. Dnevna oborina za grad Čakovec 2014. godine



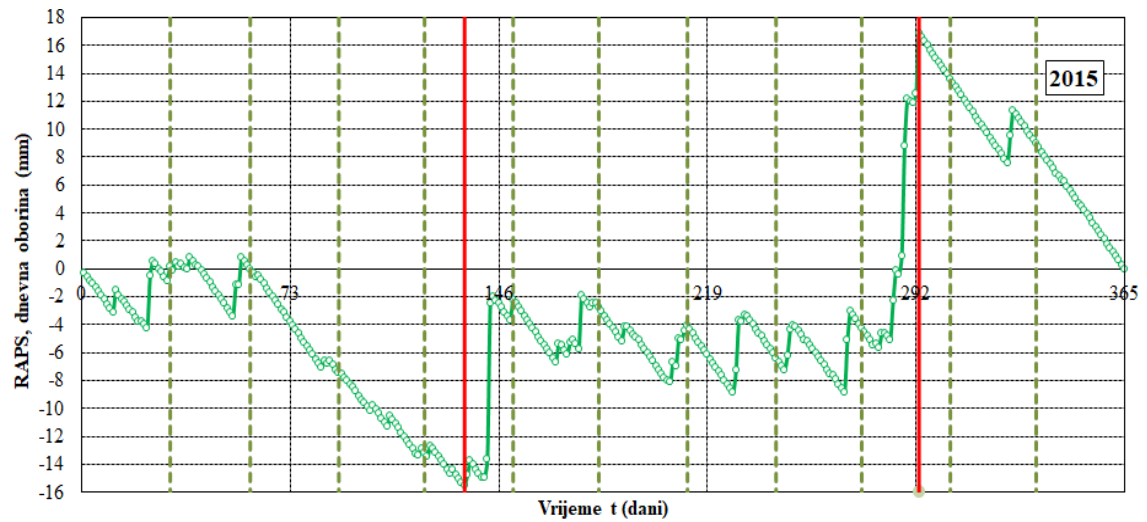
Slika 117. Prikaz provedenog ukupnog RAPS-a za dnevne oborine 2014. godine



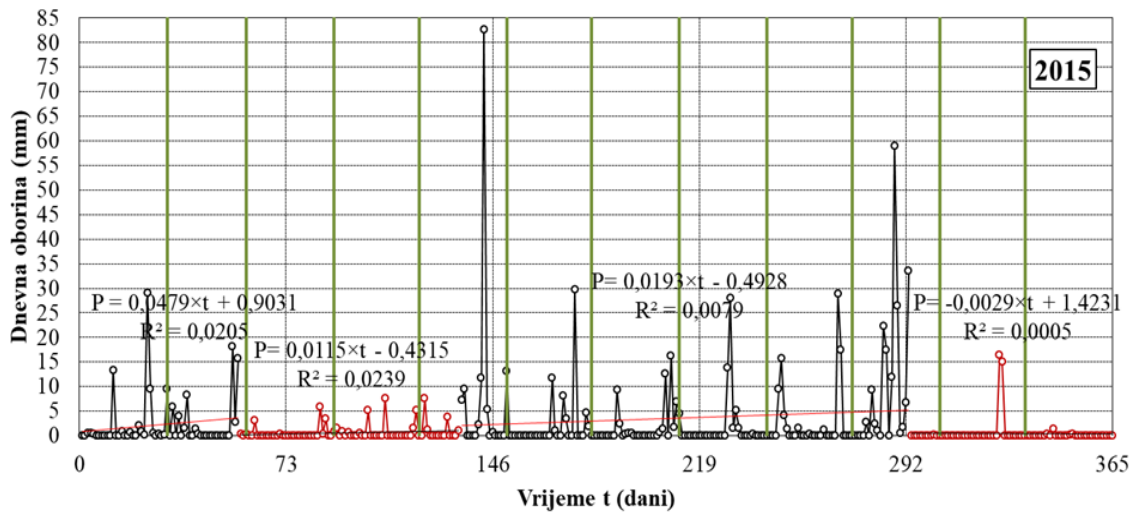
Slika 118. Ukupna dnevna oborina za grad Čakovec 2014. godine



Slika 119. Dnevna oborina za grad Čakovec 2015. godine



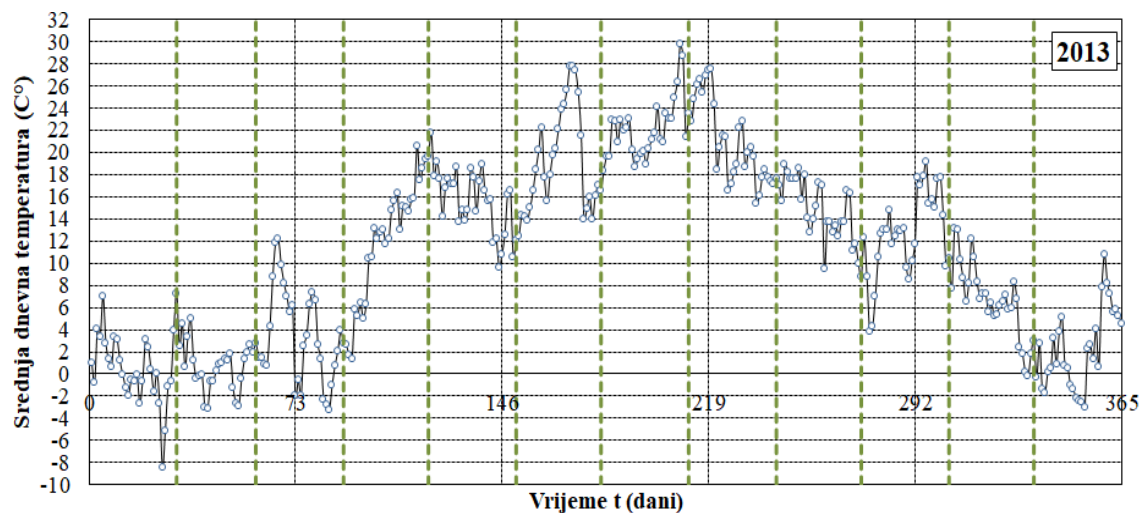
Slika 120. Prikaz provedenog ukupnog RAPS-a za dnevne oborine 2015. godine



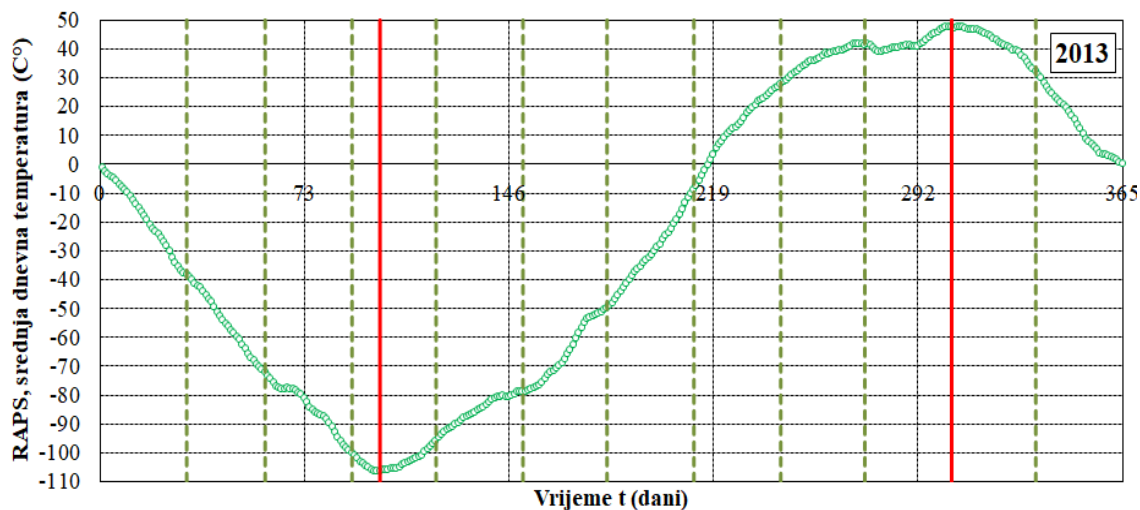
**Slika 121. Ukupna dnevna oborina za grad Čakovec 2015. godine**

Na temelju slika od 113. do 121. može se zaključiti da primjena RAPS-a na nizove ukupnih dnevnih oborina ni za promatrani niz od godinu dana ne bi imala svrhu. Na onim mjestima gdje je oborina jednaka 0 mm dolazi do nastanka podnizova, no jasno je da su takvi podnizovi nastali jer nije bilo oborina.

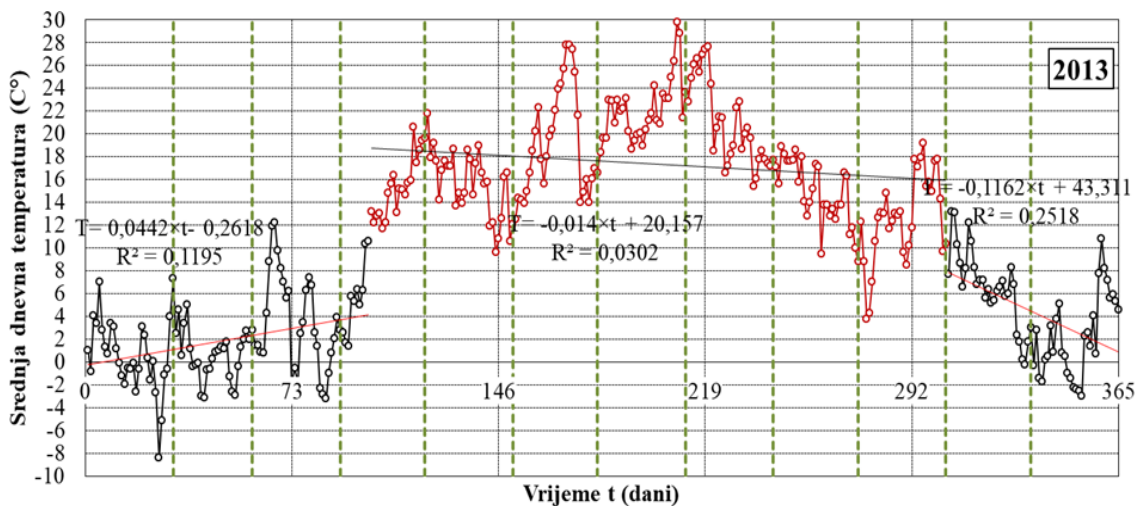
Na slikama 122. do 130. prikazane su vrijednosti za srednju dnevnu temperaturu zraka grada Čakovca za 2013., 2014. i 2015. godinu.



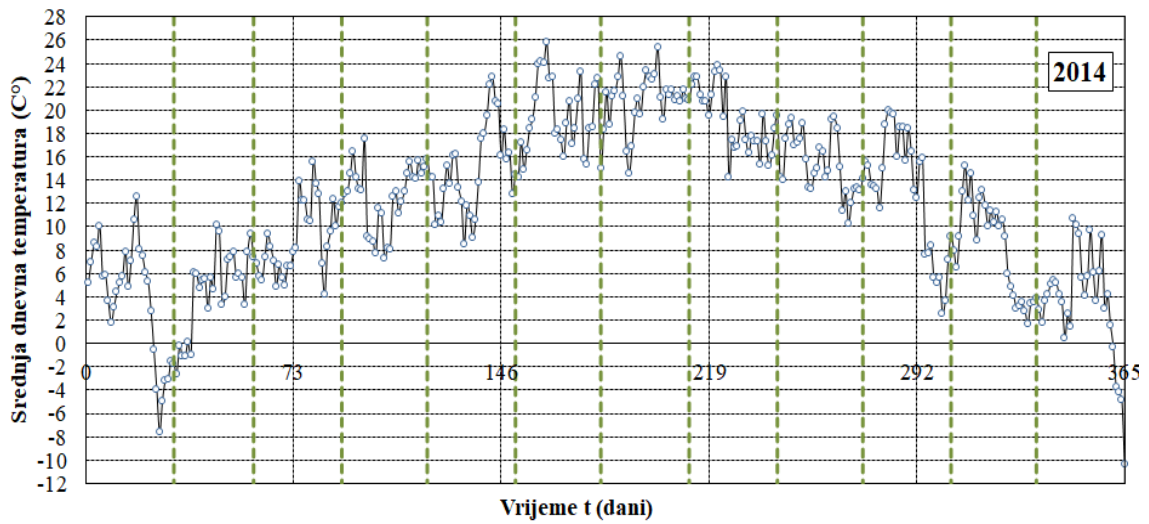
**Slika 122. Srednje dnevne temperature zrakaza grad Čakovec 2013. godine**



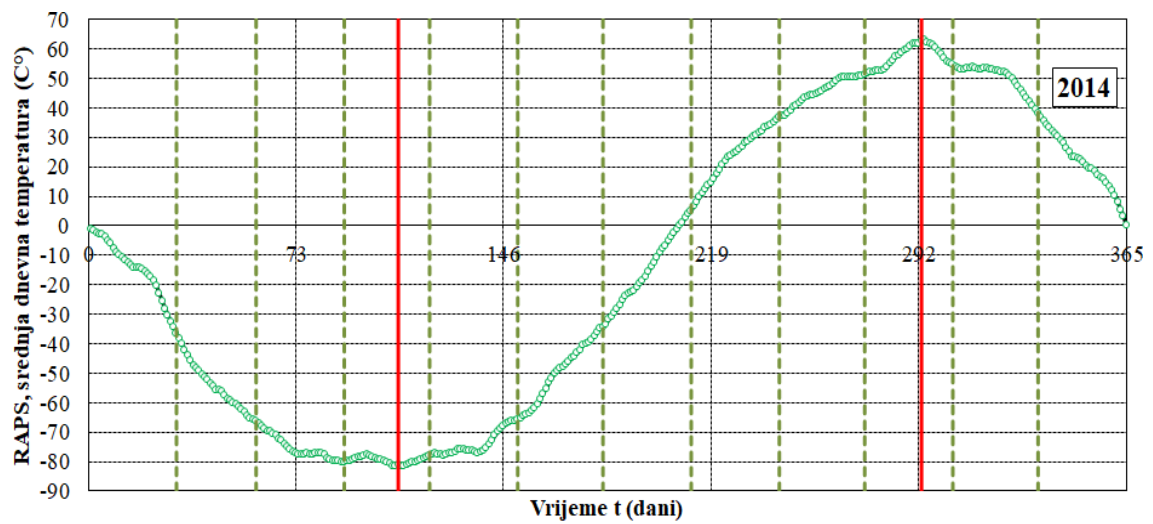
Slika 123. Prikaz provedenog ukupnog RAPS-a za srednje dnevne temperature zraka 2013. godine



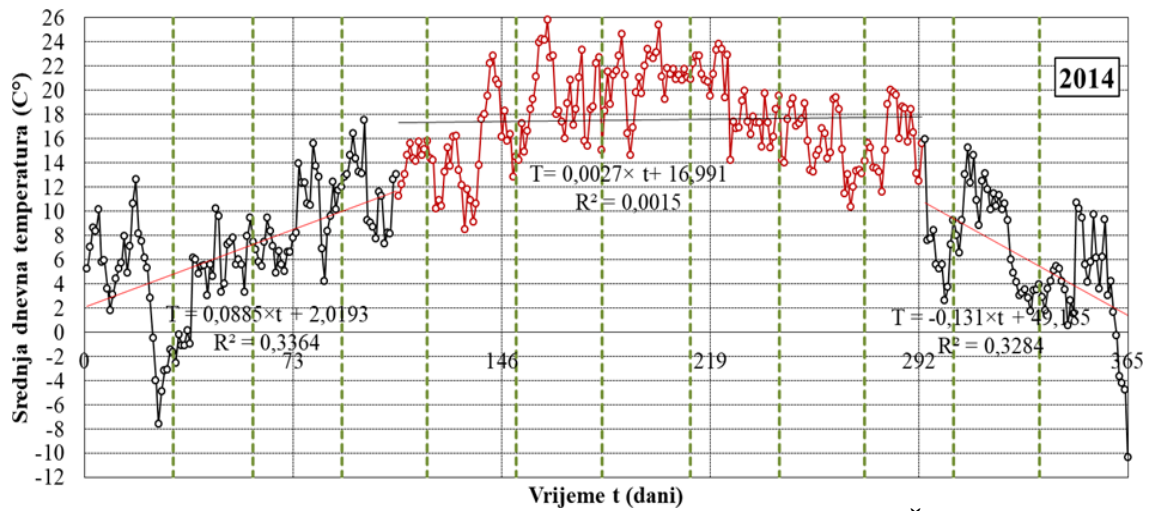
Slika 124. Ukupne srednje dnevne temperature zraka za grad Čakovec 2013. godine



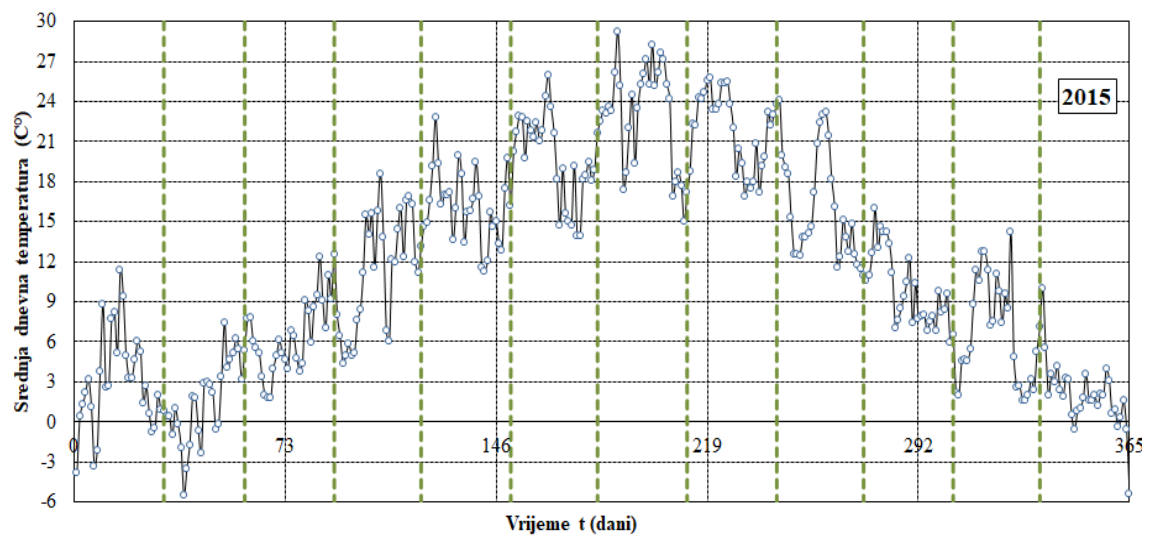
Slika 125. Srednje dnevne temperature zraka za grad Čakovec 2014. godine



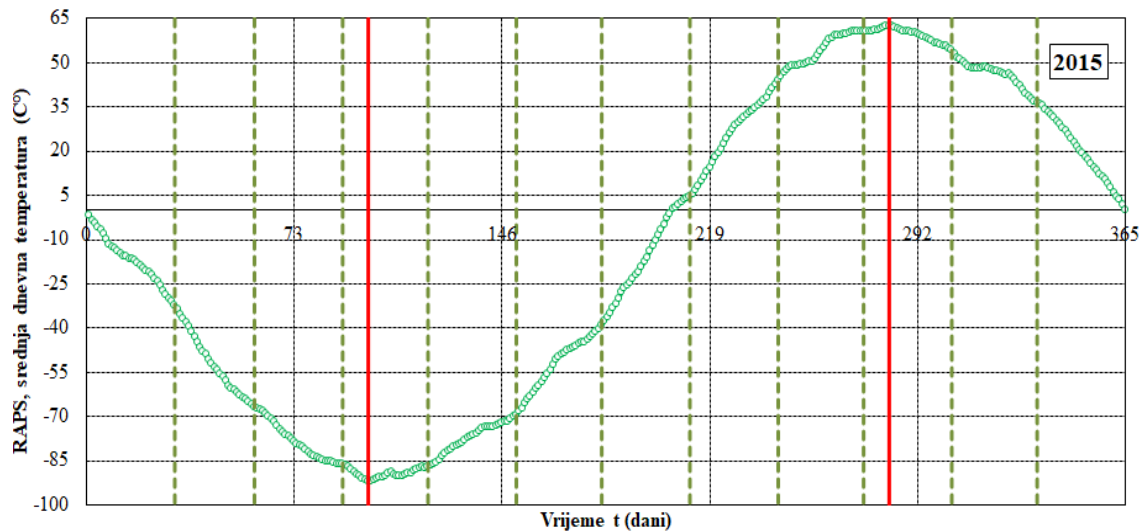
Slika 126. Prikaz provedenog ukupnog RAPS-a za srednje dnevne temperature zraka 2014. godine



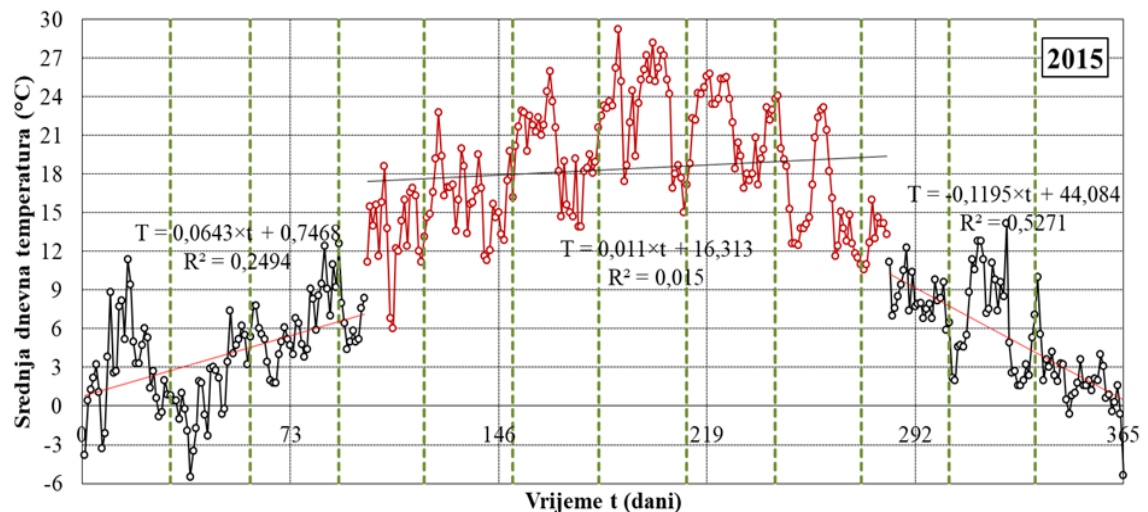
**Slika 127. Ukupne srednje dnevne temperature zraka za grad Čakovec 2014. godine**



**Slika 128. Dnevne srednje temperature zraka za grad Čakovec 2015. godine**



**Slika 129. Prikaz provedenog ukupnog RAPS-a za srednje dnevne temperature zraka 2015. godine**



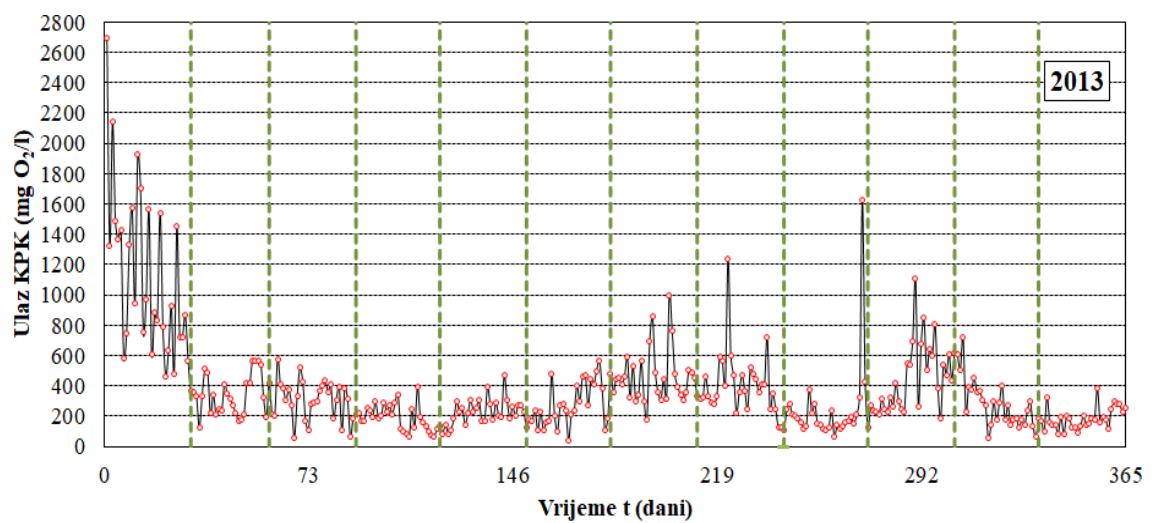
**Slika 130. Ukupne srednje dnevne temperature zraka za grad Čakovec 2015. godine**

Na slikama 122. do 130. vidljivo je da temperature variraju iz godine u godinu te se  $R^2$  kreće od najmanjeg ( $R^2 = 0.0015$ ) na slici 127. sve do najvećeg ( $R^2 = 0.5271$ ) na slici 130. Kada je koeficijent determinacije u intervalu od 0.25 – 0.64 veza između pojedinih parametara je srednje jakosti, a kada je koeficijent determinacije veći od 0.64 predviđa se da će parametri biti u čvrstoj vezi. U ovom slučaju radi se o pokazateljima koji se nalaze u srednjoj jakoj vezi. Ove vrijednosti ukazuju na nepostojanje funkcionalne povezanosti između temperature zraka i vremena, što upućuje na potpuno stohastičku

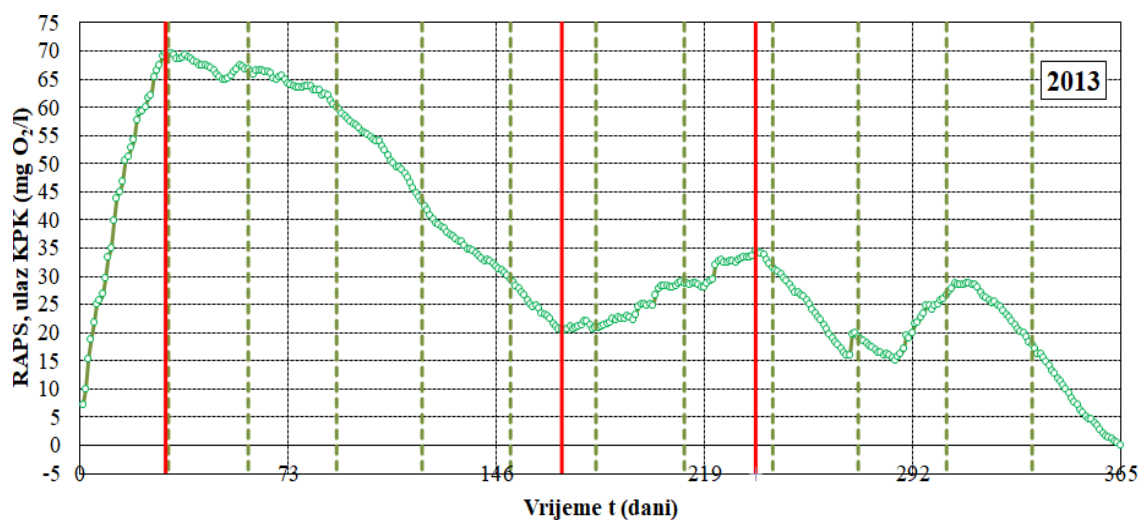


narav (temperature), kao i kod oborina. Ako se analiziraju dobiveni podnizovi srednje dnevne temperature zraka za godinu dana, odnosno za svaku godinu, primjećuje se da je izdvojen središnji dio od travnja do listopada, što ukazuje na lokalnu klimatsku karakteristiku nastalu zbog povećanja temperature.

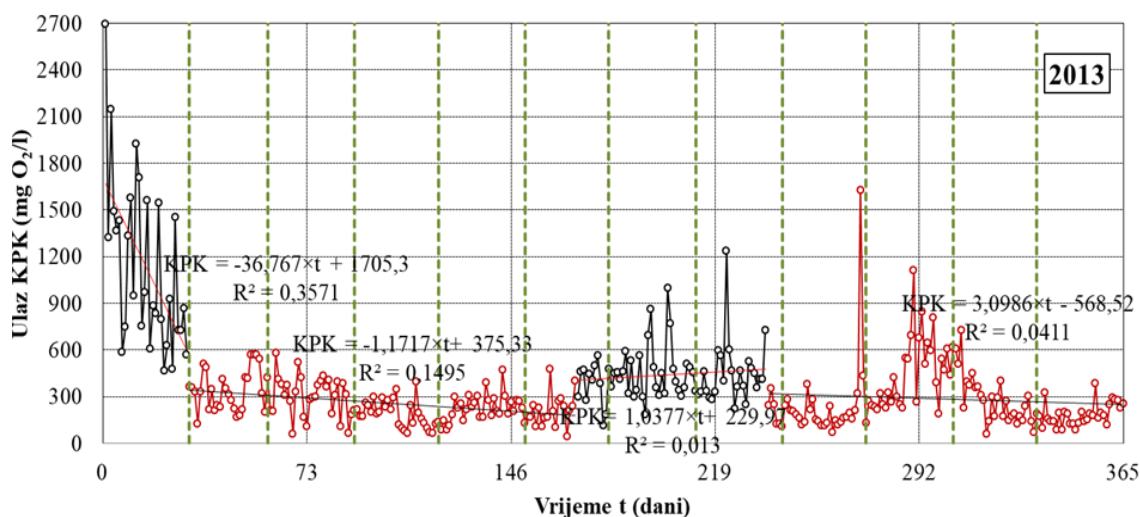
Na slikama 131. do 157. prikazane su ukupne ulazne vrijednosti KPK, BPK5 i suspendiranih tvari za 2013., 2014. te 2015. godinu na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda u gradu Čakovcu.



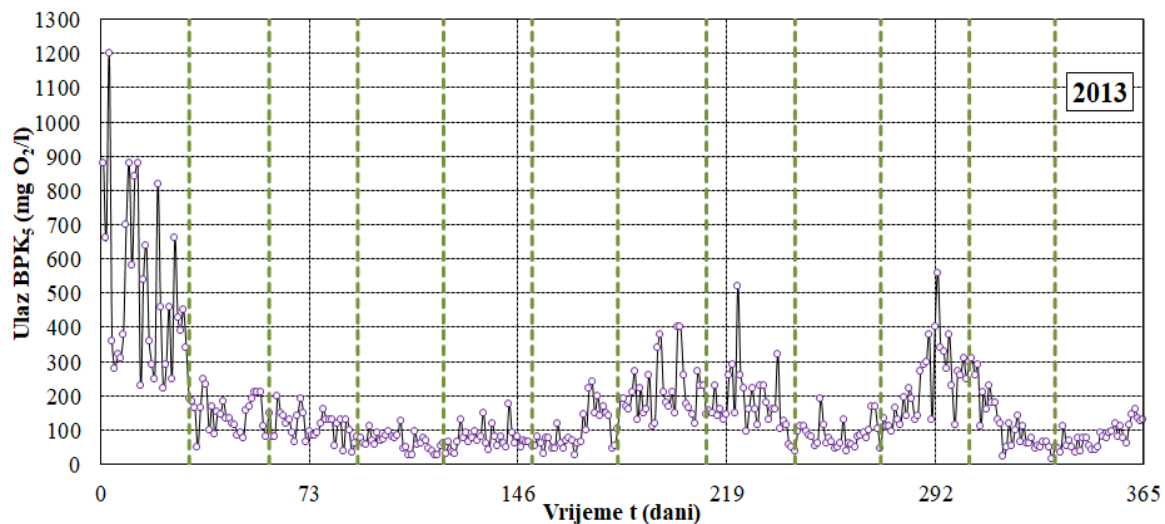
**Slika 131. Ulaz KPK za 2013. godinu**



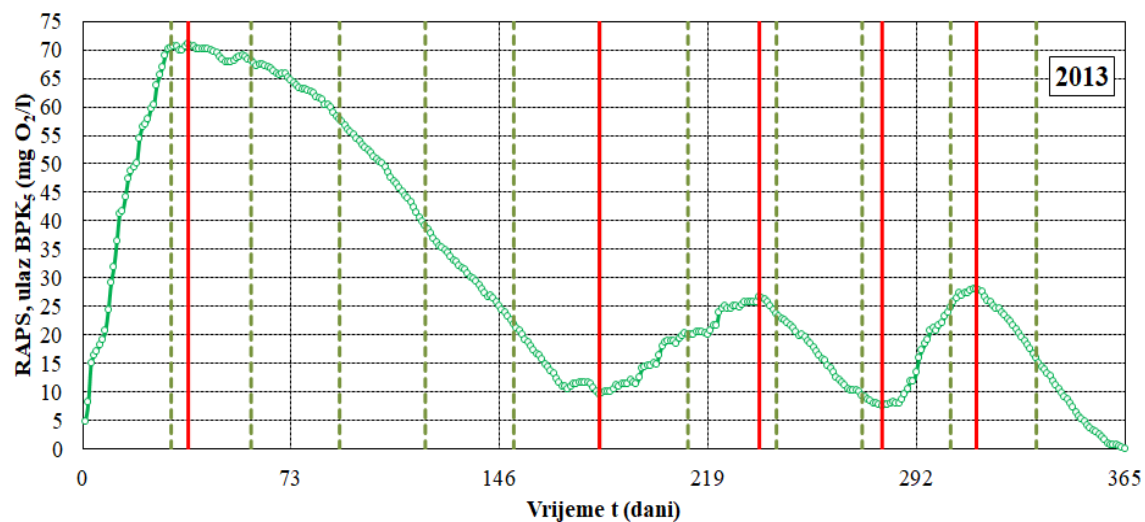
**Slika 132. Prikaz ukupno provedenog RAPS-aza ulazne vrijednosti KPK 2013. godine**



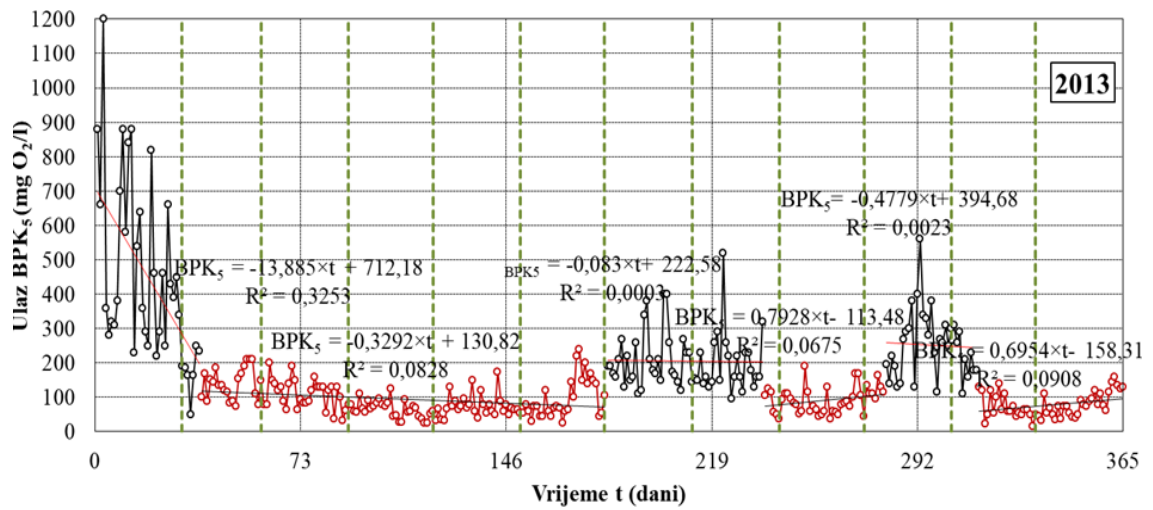
**Slika 133. Prikaz ukupnih ulaznih podnizova KPK za 2013. godinu**



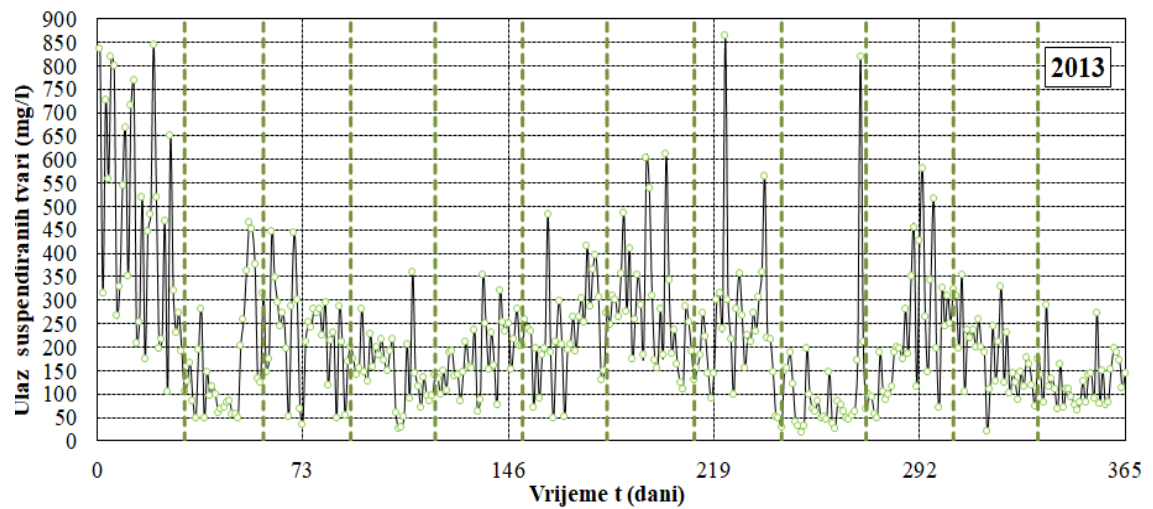
Slika 134. Ulaz BPK<sub>5</sub> za 2013. godinu



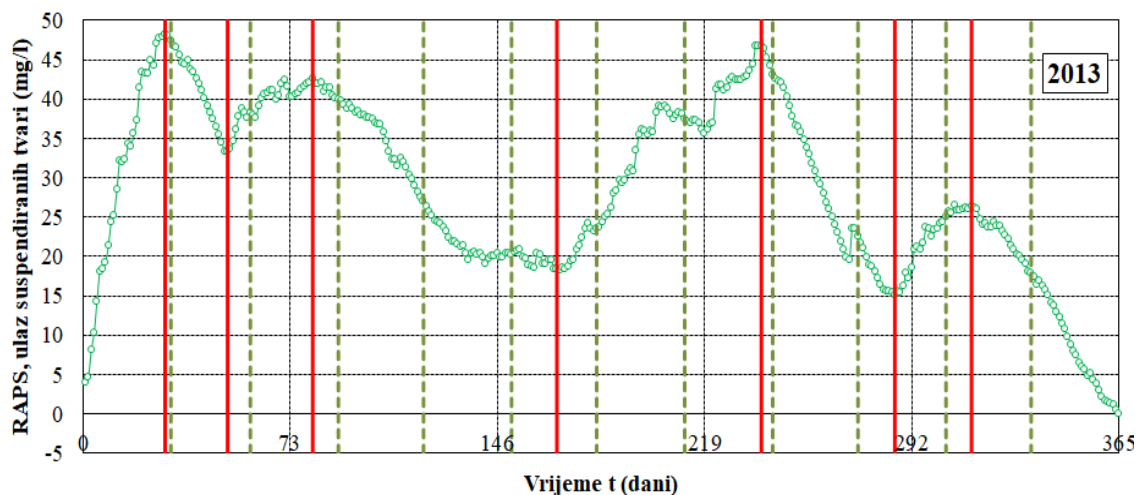
Slika 135. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za ulazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> 2013. godinu



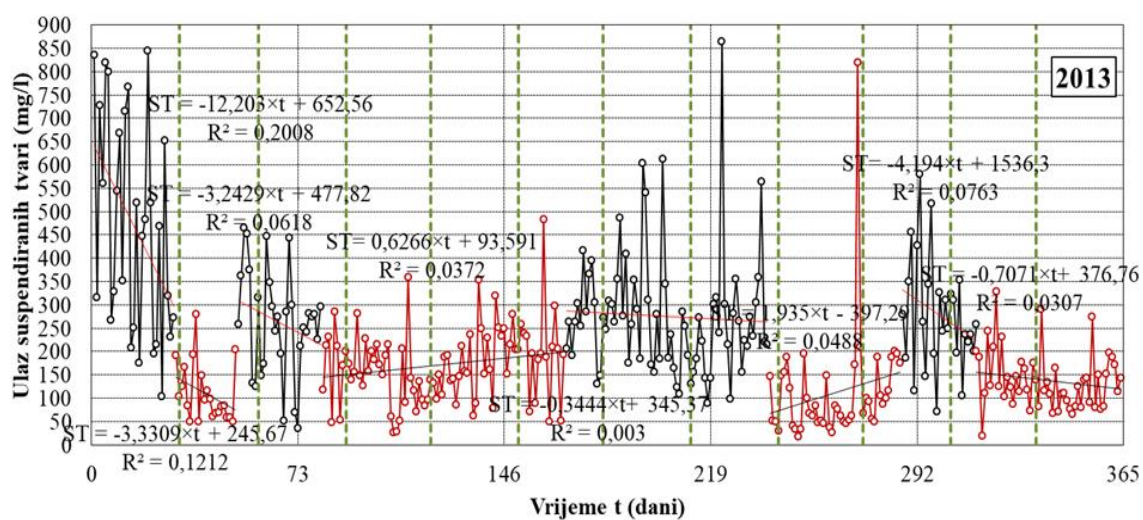
Slika 136. Prikaz ukupnih ulaznih podnizova BPK<sub>5</sub> za 2013. godinu



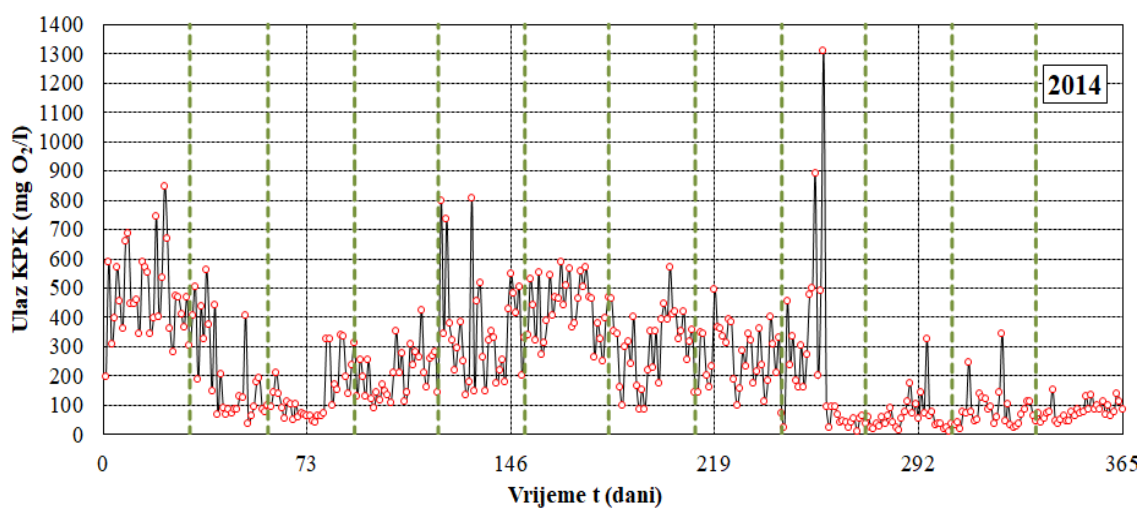
Slika 137. Ulaz suspendiranih tvari za 2013. godinu



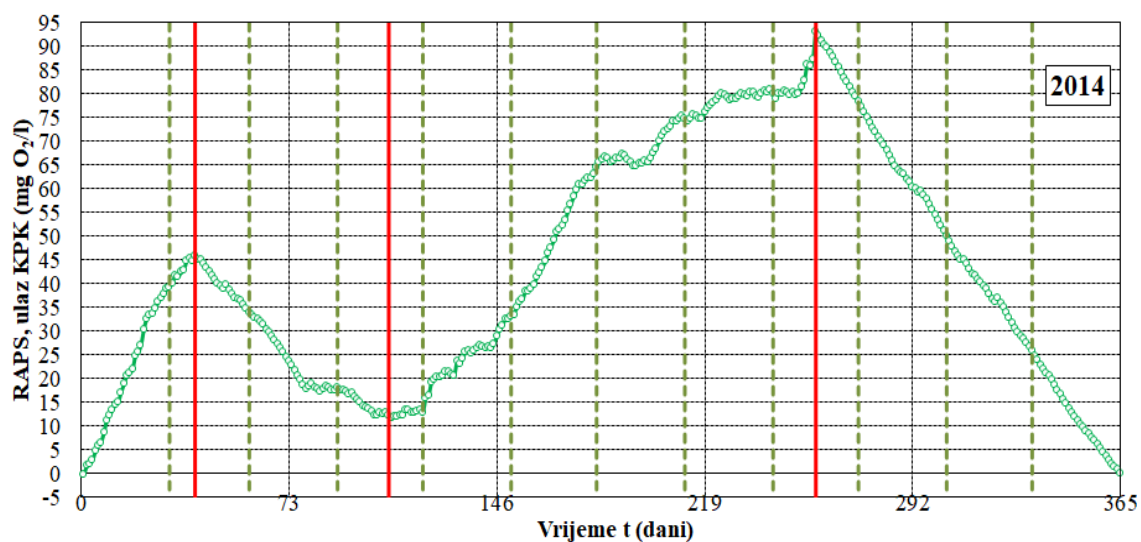
Slika 138. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za ulazne vrijednosti suspendiranih tvari 2013. godinu



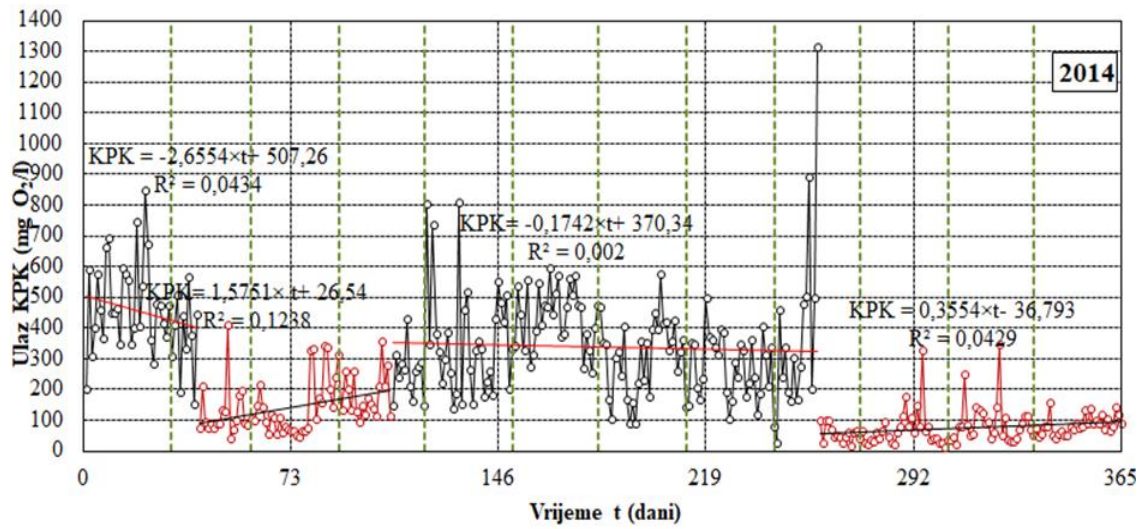
Slika 139. Prikaz ukupnih ulaznih podnizova suspendiranih tvari za 2013. godinu



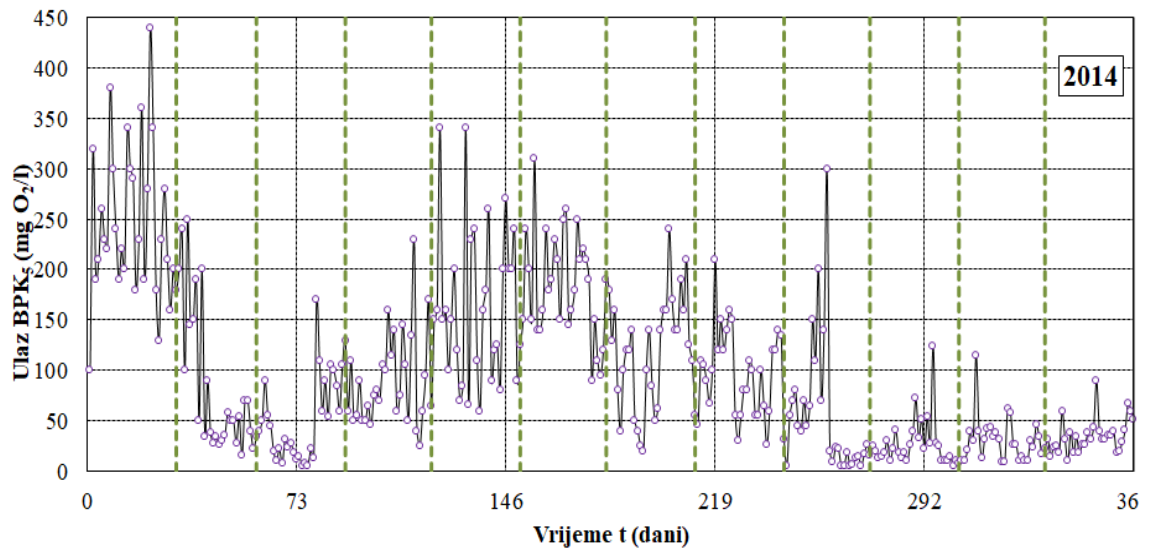
**Slika 140. Ulaz KPK za 2014. godinu**



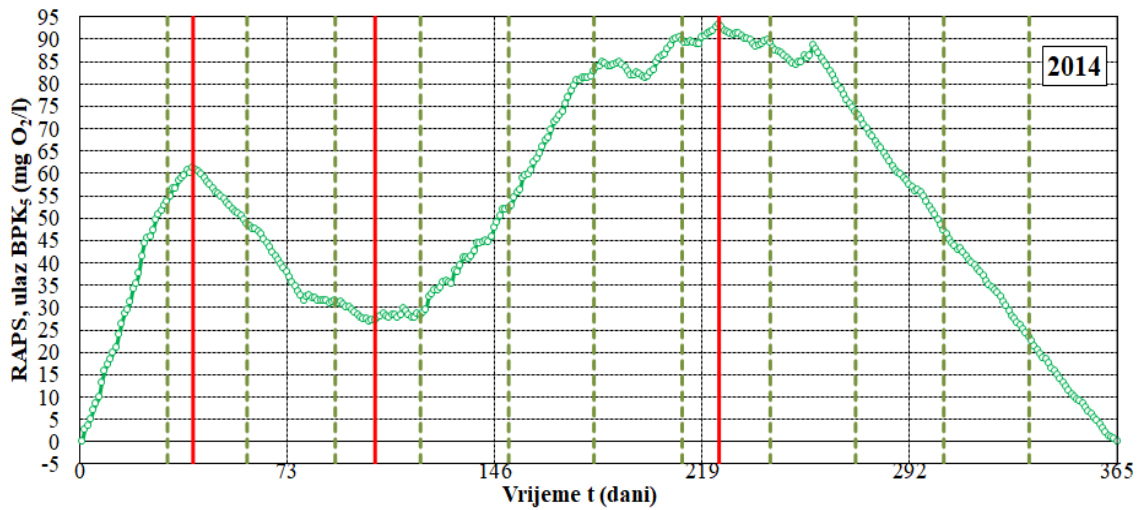
**Slika 141. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za ulazne vrijednosti KPK 2014. godine**



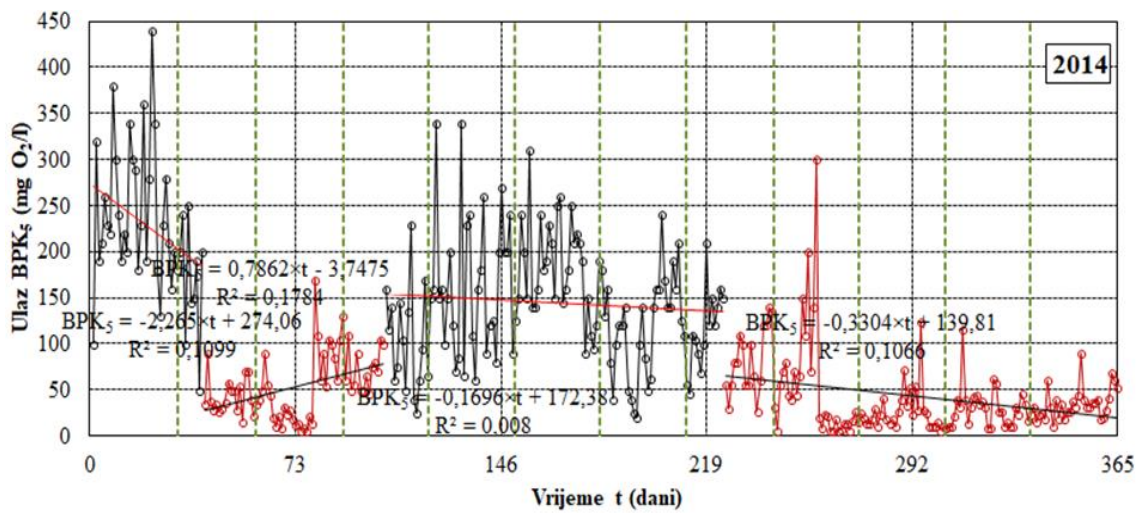
Slika 142. Prikaz ukupnih ulaznih podnizova KPK za 2014. godinu



Slika 143. Ulaz BPK<sub>5</sub> za 2014. godinu

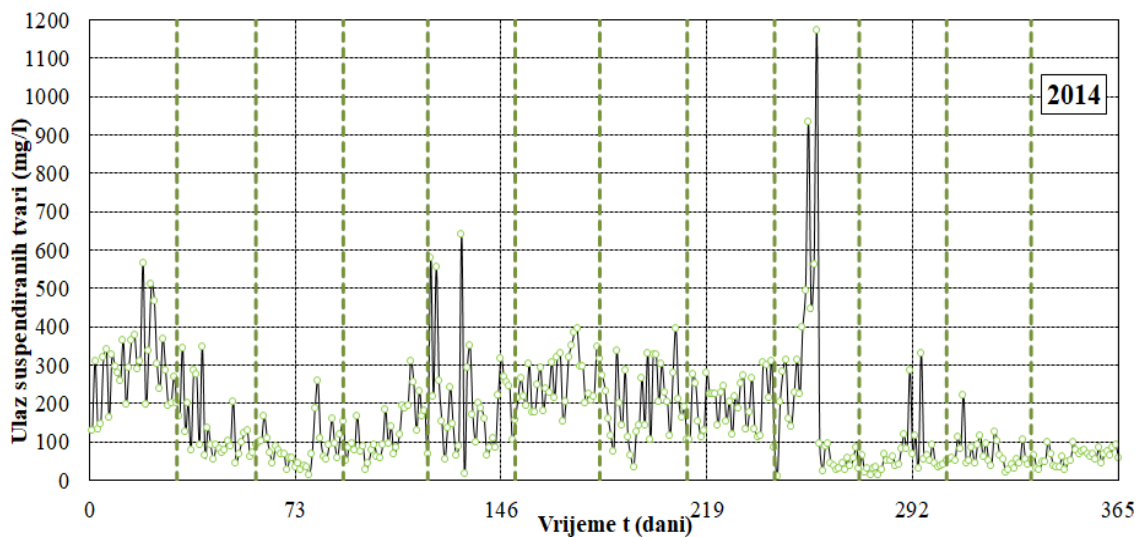


Slika 144. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za ukupne vrijednosti BPK<sub>5</sub> 2014. godine

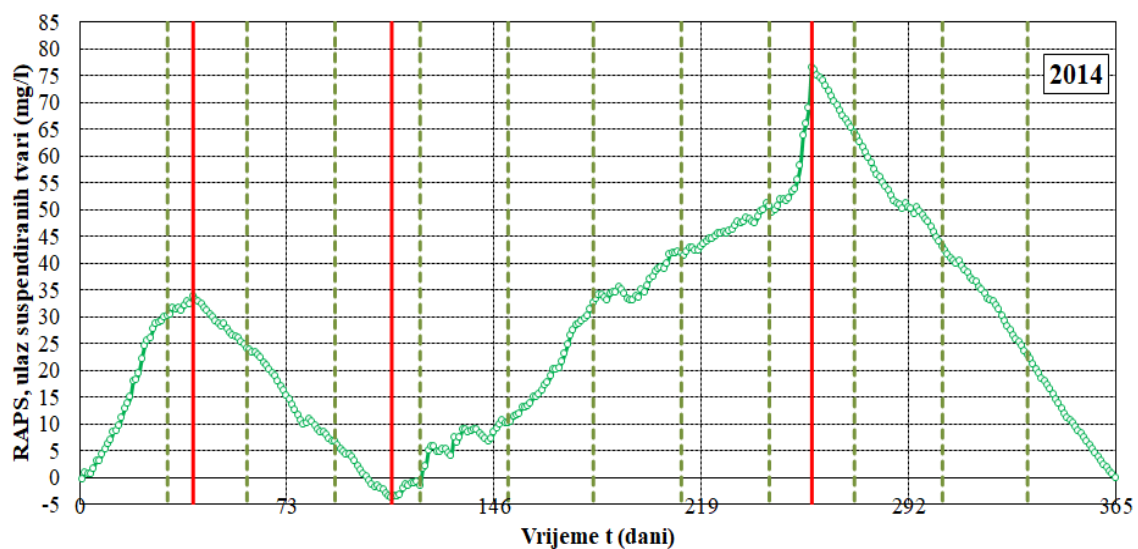


Slika 145. Prikaz ukupnih ulaznih podnizova BPK<sub>5</sub> za 2014. godinu

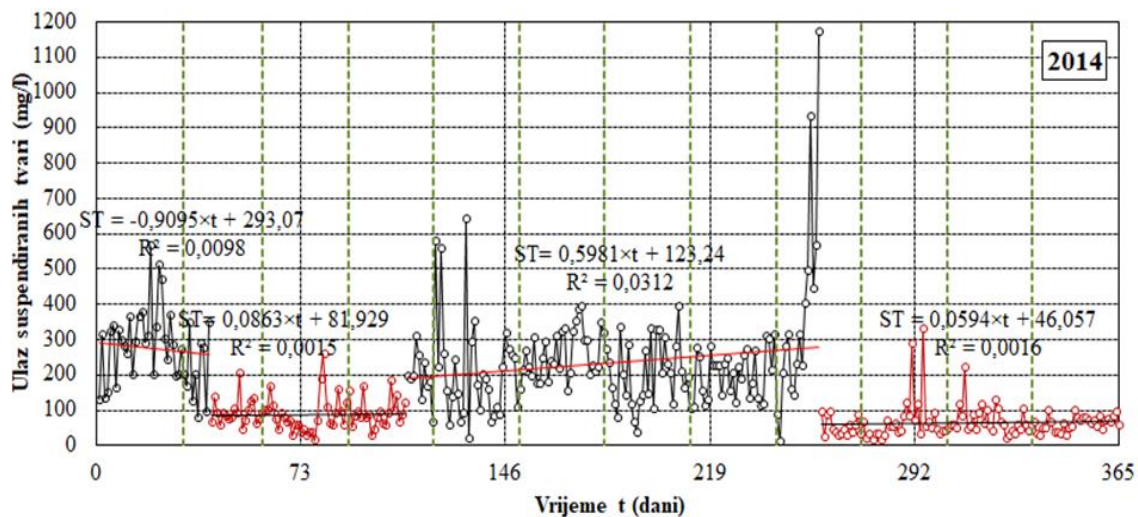




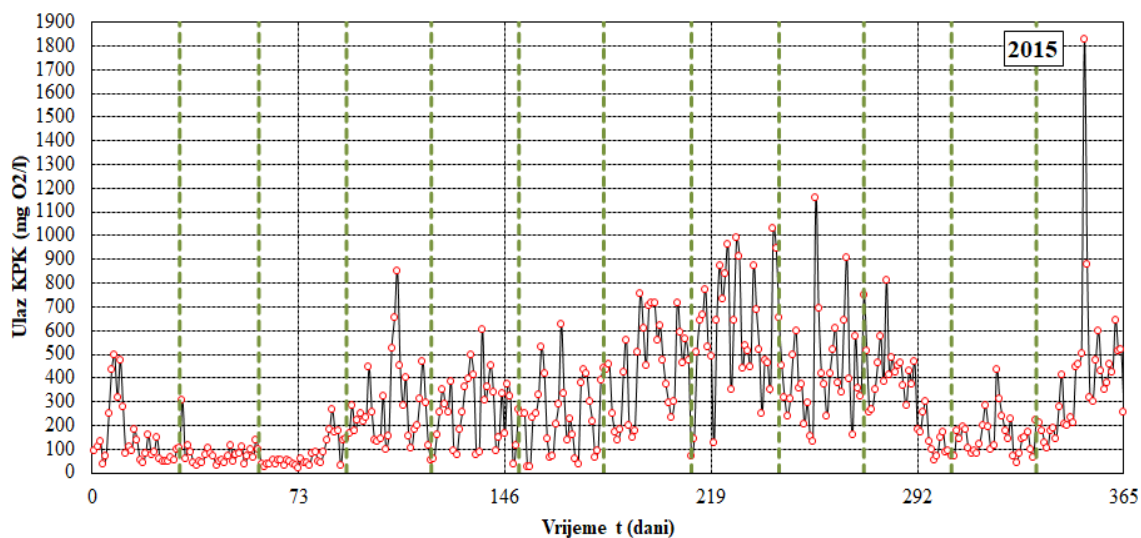
Slika 146. Ulaz suspendiranih tvari za 2014. godinu



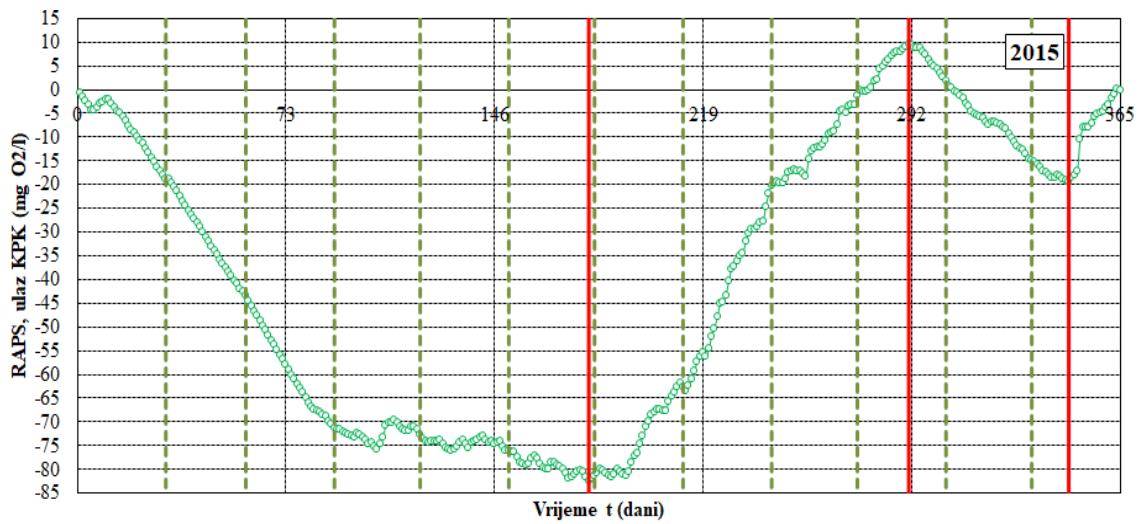
Slika 147. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za ukupne vrijednosti suspendiranih tvari 2014. godine



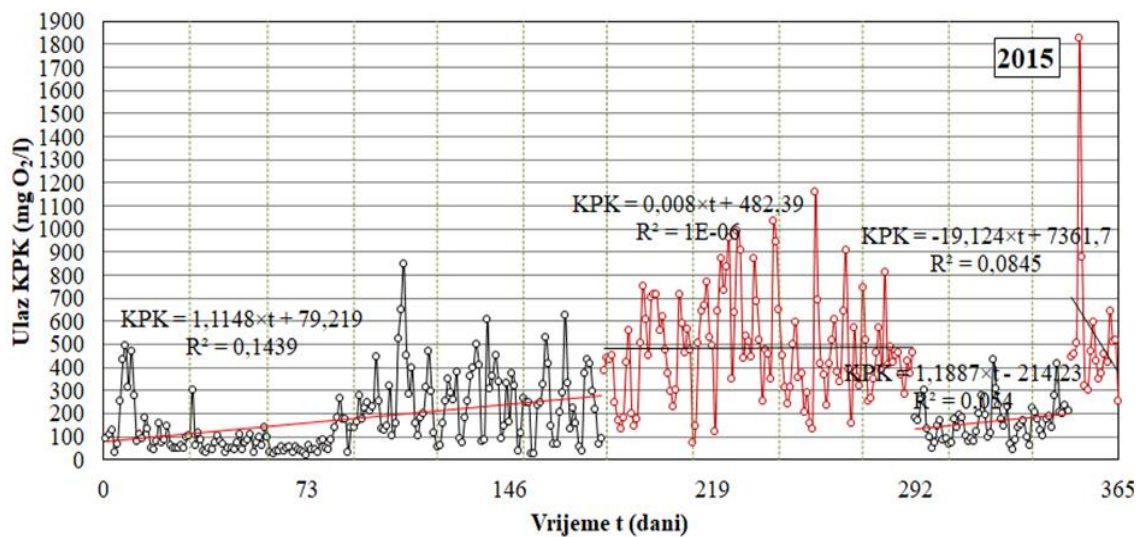
Slika 148. Prikaz ukupnih ulaznih podnizova suspendiranih tvari za 2014. godinu



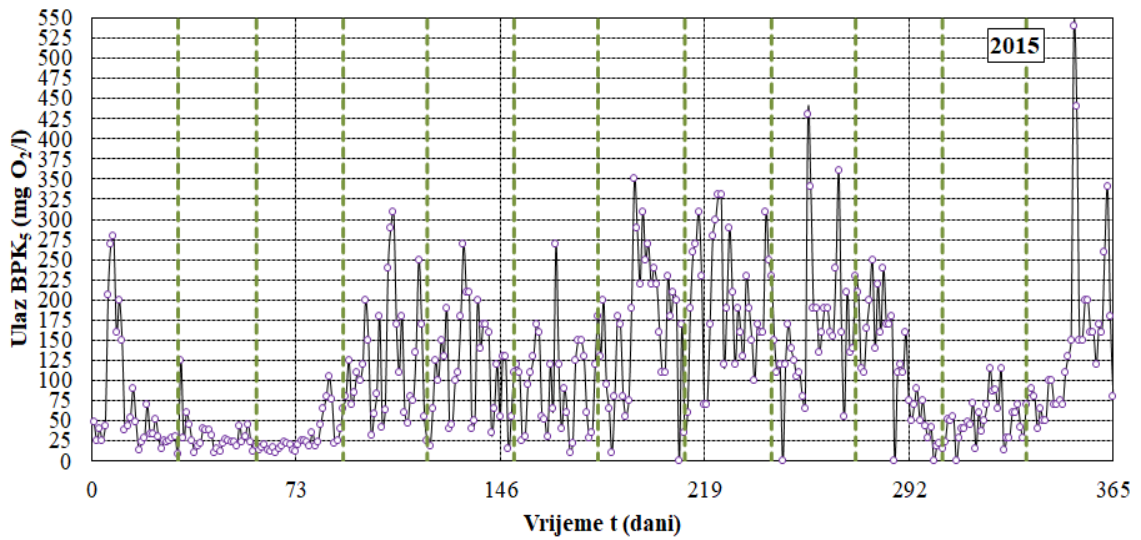
Slika 149. Ulaz KPK za 2015. godinu



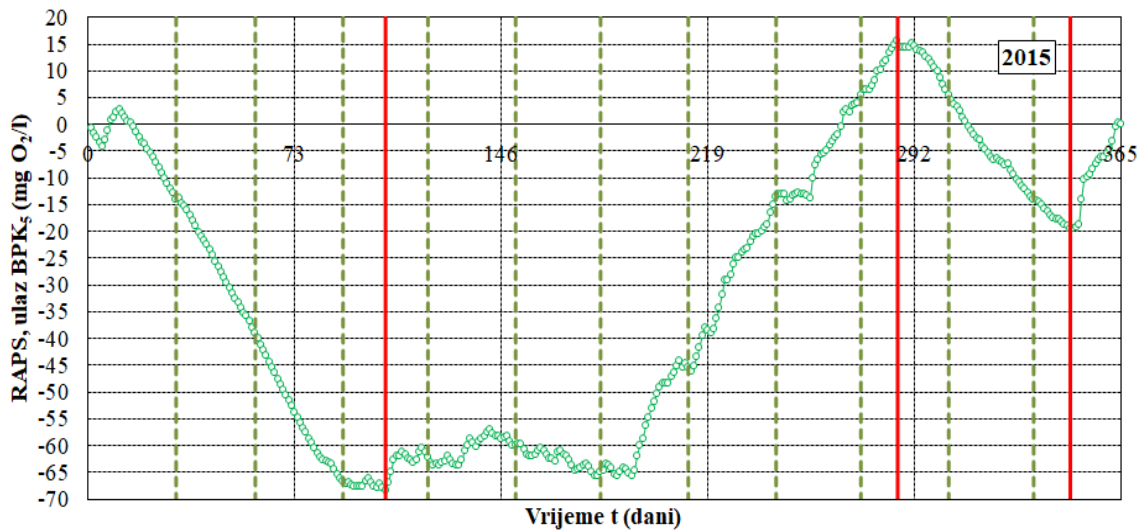
Slika 150. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za ukupne vrijednosti KPK 2015. godine



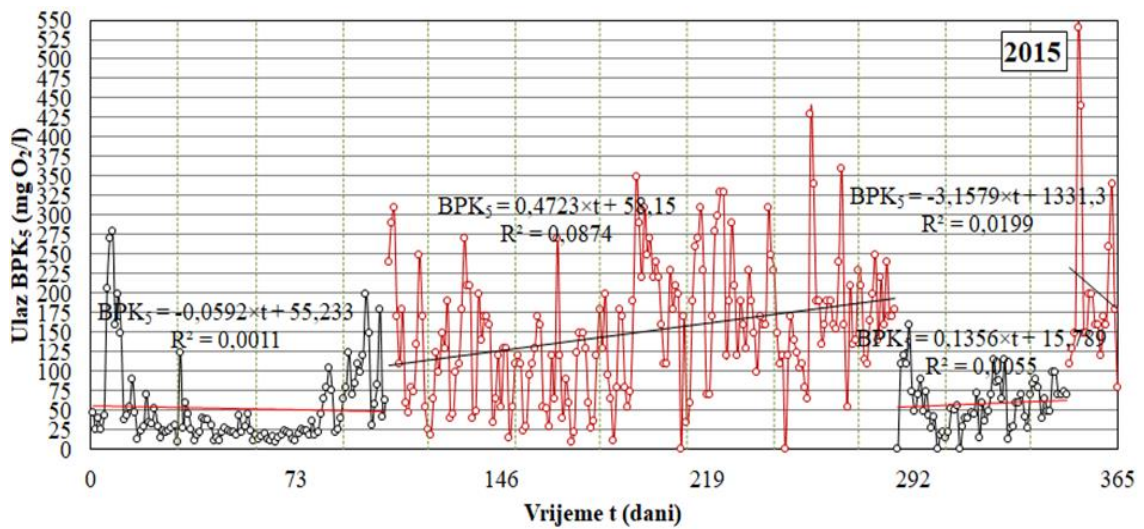
Slika 151. Prikaz ukupnih ulaznih podnizova KPK za 2015. godinu



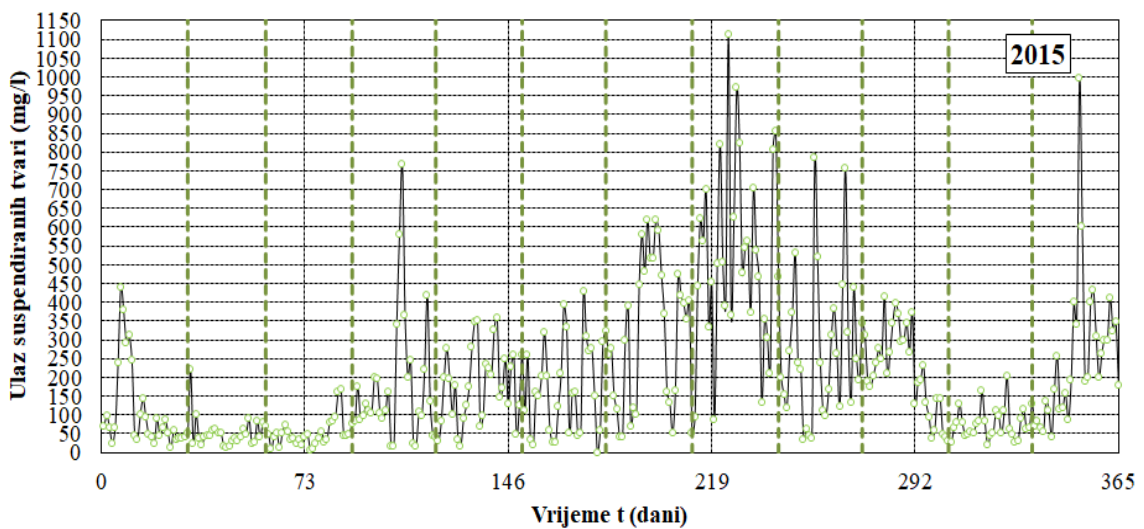
Slika 152. Ulaz BPK<sub>5</sub> za 2015. godinu



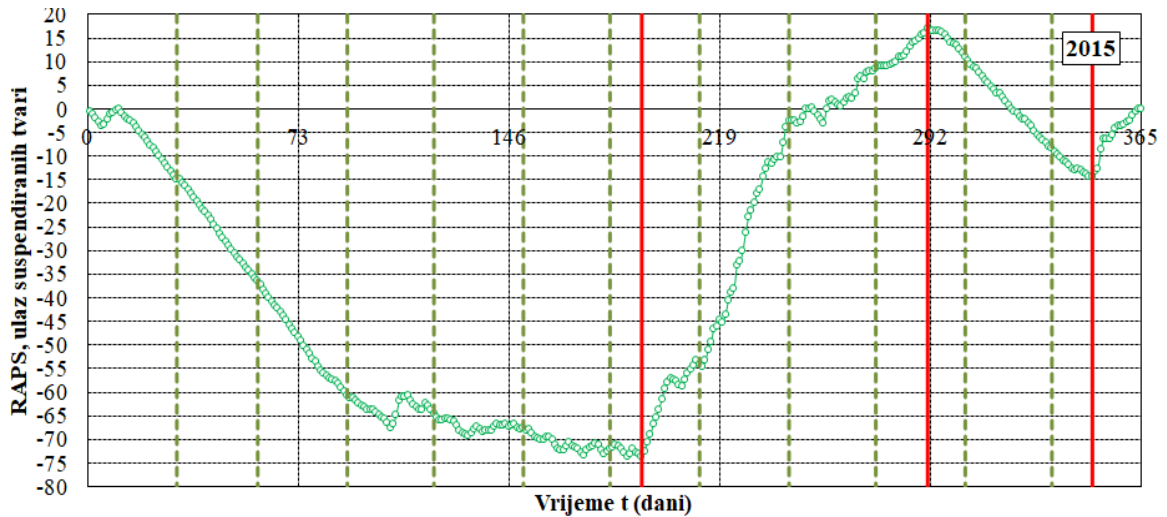
Slika 153. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za ulazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> 2015. godine



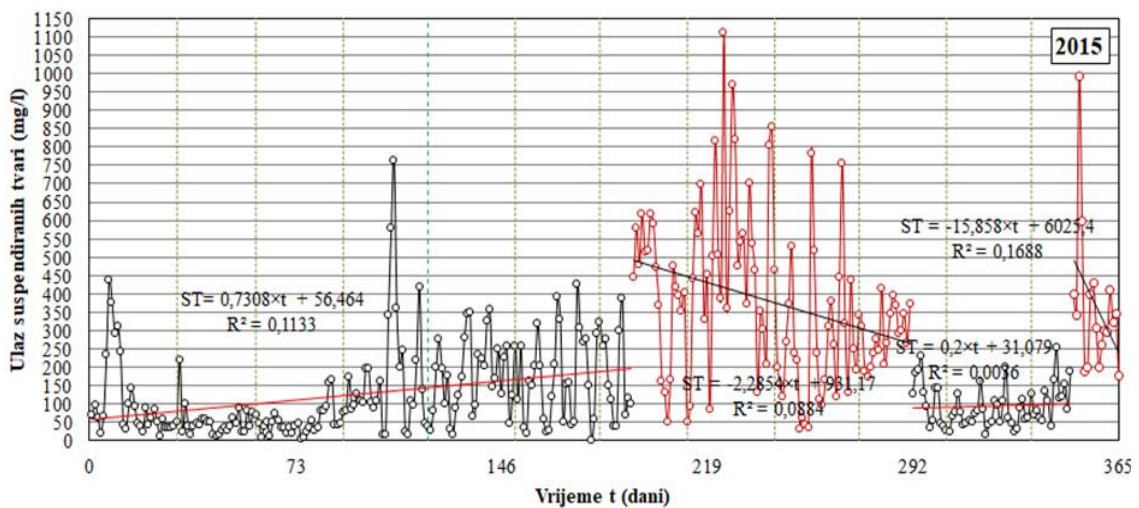
Slika 154. Prikaz ukupnih ulaznih podnizova BPK<sub>5</sub> za 2015. godinu



Slika 155. Ulaz suspendiranih tvari za 2015. godinu



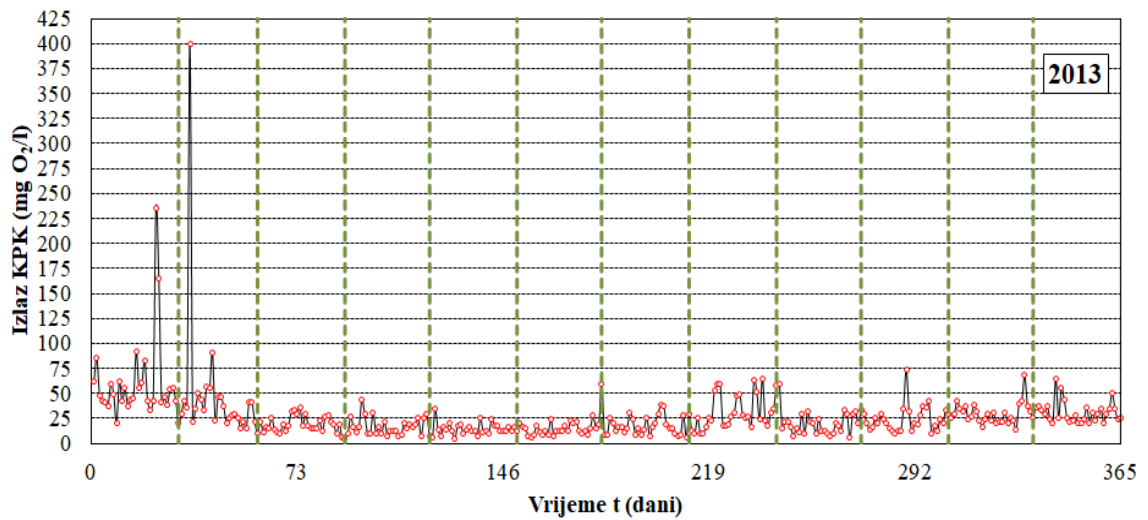
**Slika 156. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za ulazne vrijednosti suspendiranih tvari 2015. godine**



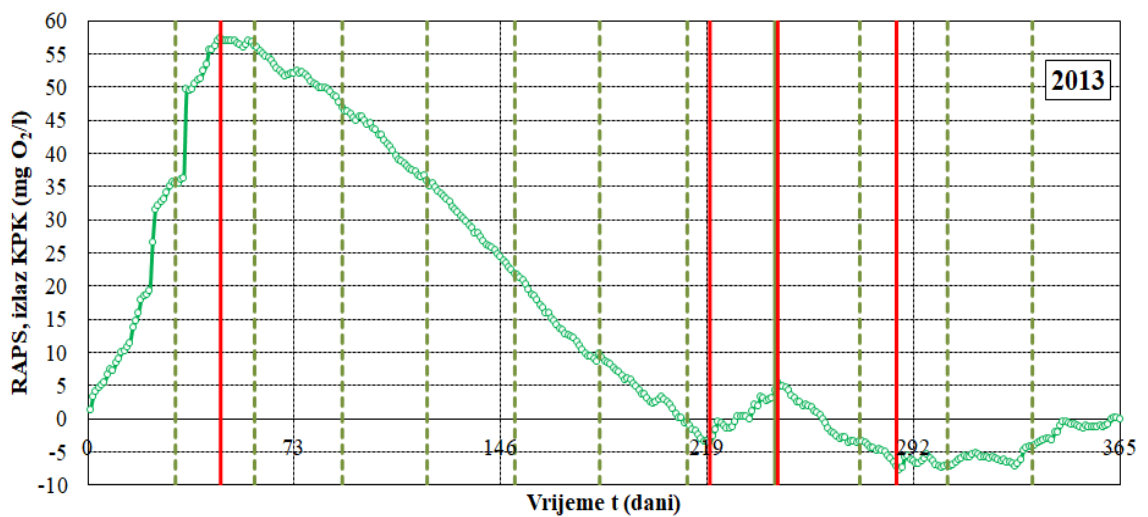
**Slika 157. Prikaz ukupnih ulaznih podnizova suspendiranih tvari za 2015. godinu**

Vrijednosti ulaznih pokazatelja kakvoće otpadne vode za 2013., 2014. i 2015. godinu su iznad vrijednosti MDK, koja iznosi za KPK 125 mg O<sub>2</sub>/l, BPK<sub>5</sub> 25 mg O<sub>2</sub>/l i suspendirane tvare 35 mg/l [36]. Na temelju provedene analize na slikama 113. do 157., može se vidjeti da je najveća izmjerena  $R^2$  0.3571 (slika 133), zatim 0.3253 (slika 136) i 0.2008 (slika 139), dok najmanja izračunata vrijednosti  $R^2$  iznosi 0.0011 (slika 154).

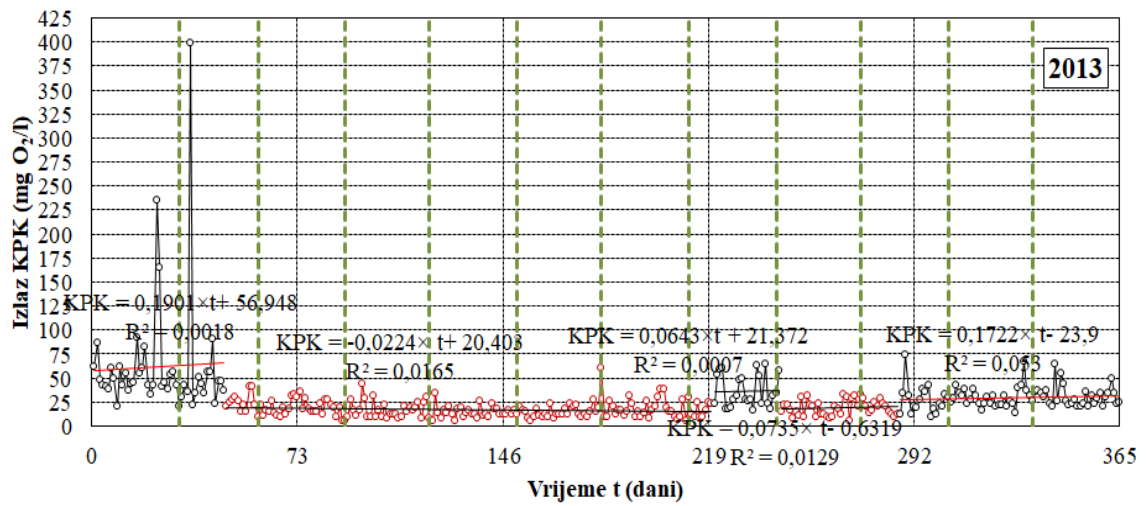
Na slikama 158. do 184. prikazane su ukupne izlazne vrijednosti ulaznih i izlaznih pokazatelja kakvoće otpadne vode (KPK, BPK<sub>5</sub> i suspendirane tvari) za 2013., 2014. i 2015. godinu.



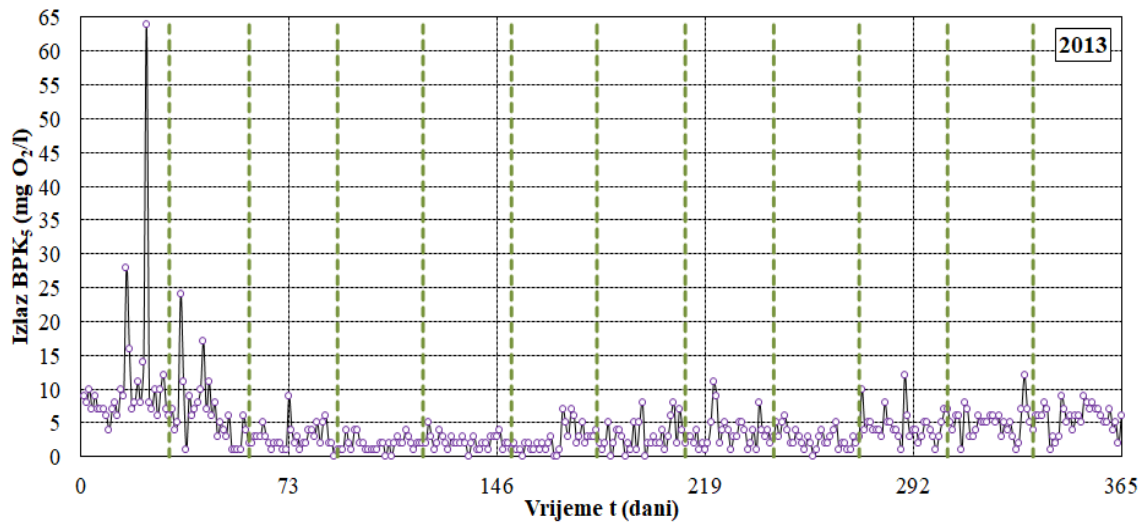
**Slika 158. Izlaz KPK za 2013. godinu**



**Slika 159. Prikaz provedenog ukupnog RAPS-a za izlazne vrijednosti KPK 2013. godine**

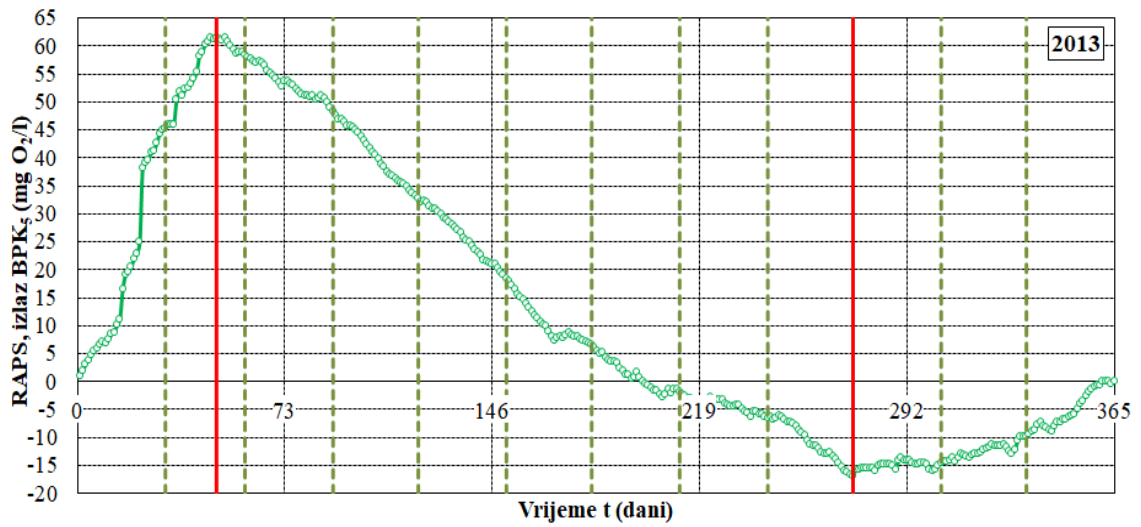


Slika 160. Prikaz ukupnih izlaznih podnizova KPK za 2013. godinu

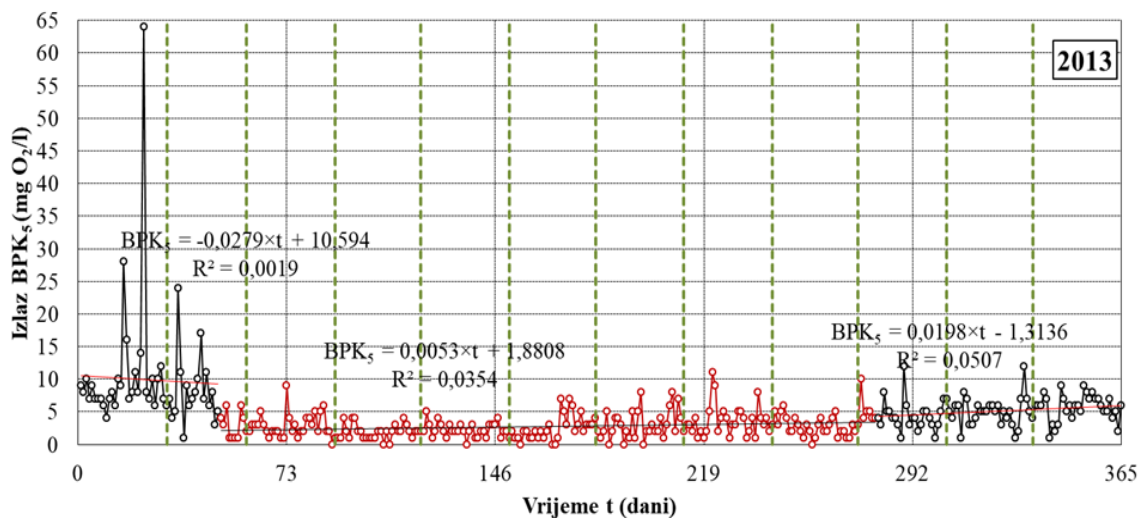


Slika 161. Izlaz BPK₅ za 2013. godinu

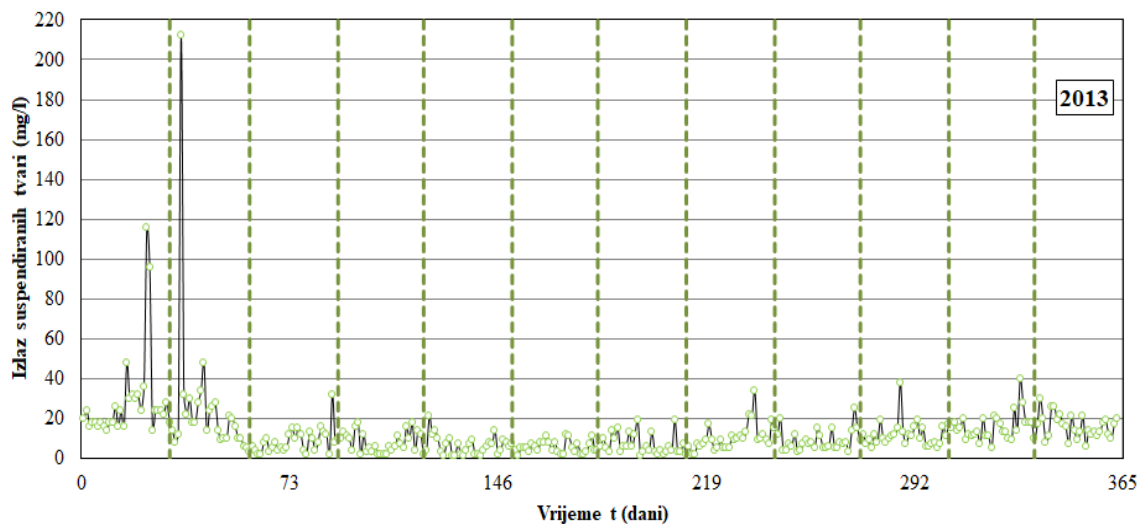




Slika 162. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> 2013. godine

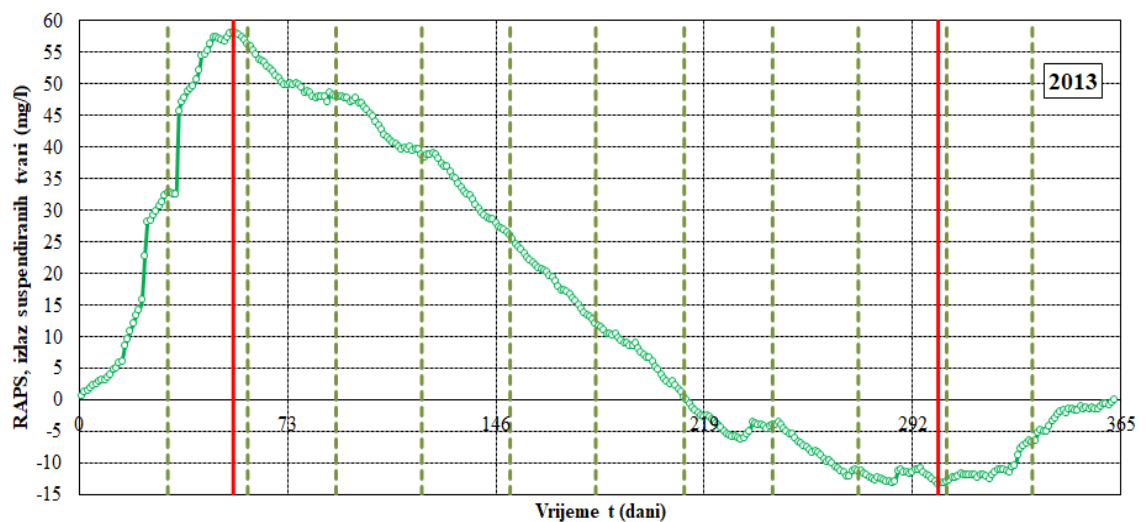


Slika 163. Prikaz ukupnih izlaznih podnizova BPK<sub>5</sub> za 2013. godinu

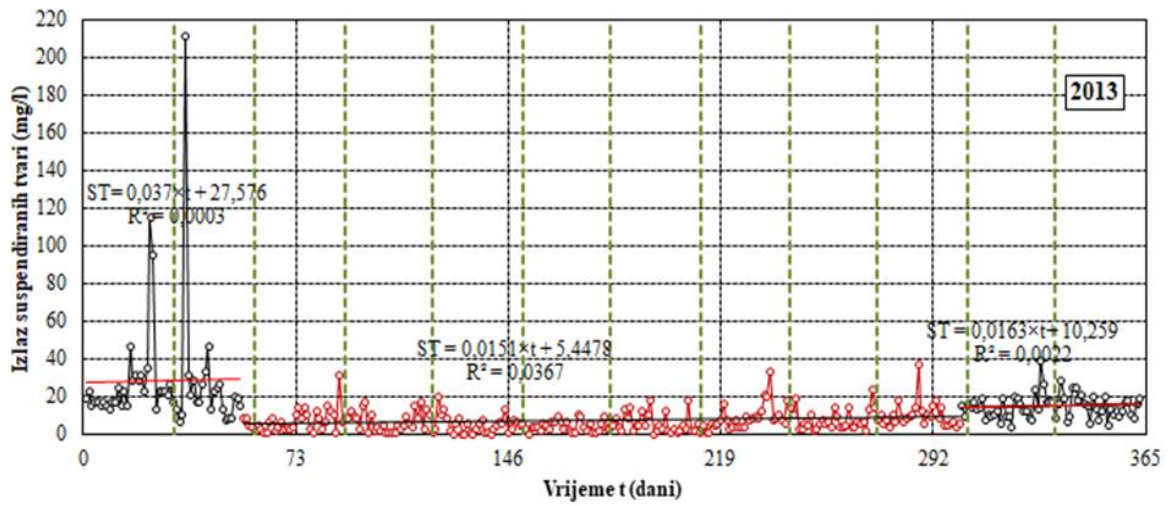


**Slika 164. Izlaz suspendiranih tvari za 2013. godinu**

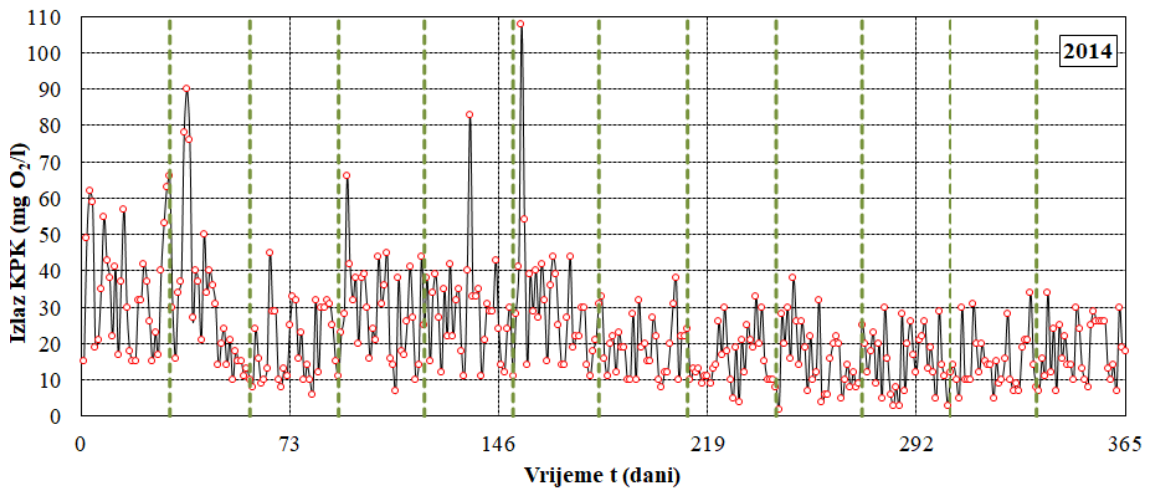
Sa slike 158 gdje je KPK 399 mg O<sub>2</sub>/l, 161 gdje je BPK<sub>5</sub> 64 mg O<sub>2</sub>/l i 164 gdje je ST 212 mg/l vidljivo je da dolazi do skoka vrijednosti KPK, BPK<sub>5</sub> i suspendiranih tvari iznad maksimalno dopuštenih koncentracija (MDK), koja treba iznositi za KPK 125 mg O<sub>2</sub>/l, BPK<sub>5</sub> 25 mg O<sub>2</sub>/l i suspendirane tvari 35 mg/l [36].



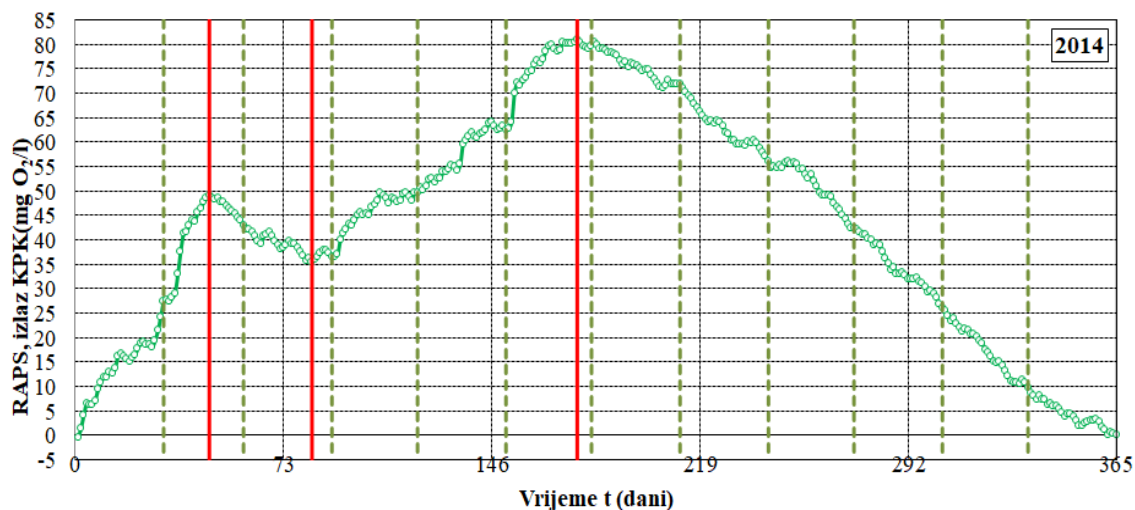
**Slika 165. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti suspendiranih tvari 2013. godine**



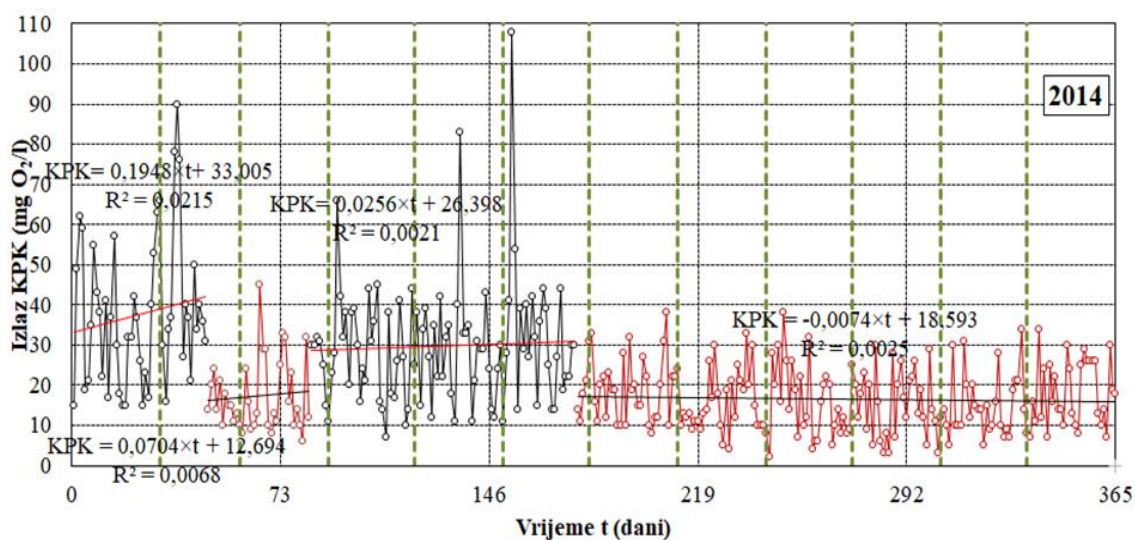
Slika 166. Prikaz ukupnih izlaznih podnizova suspendiranih tvari za 2013. godinu



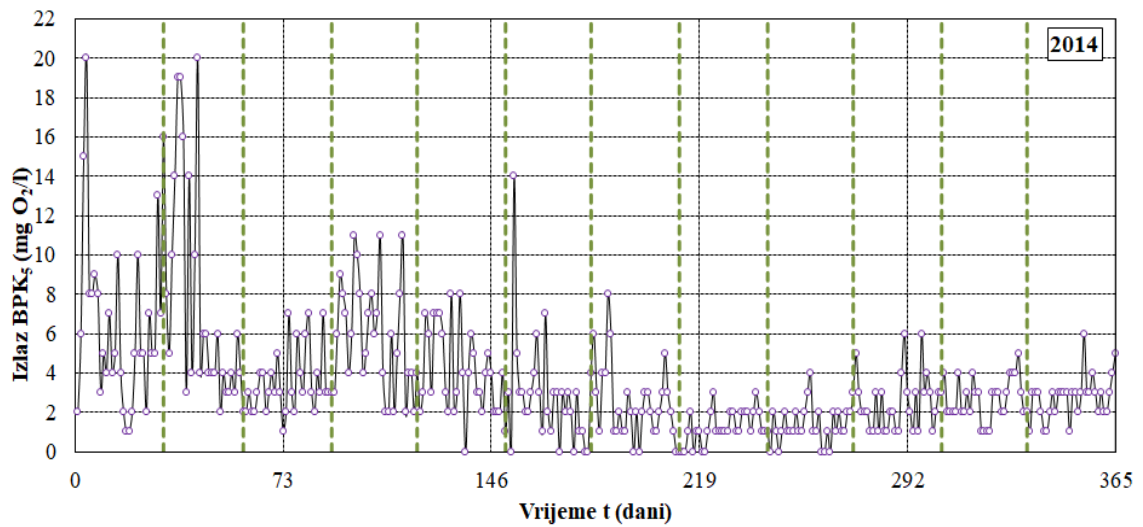
Slika 167. Izlaz KPK za 2014. godinu



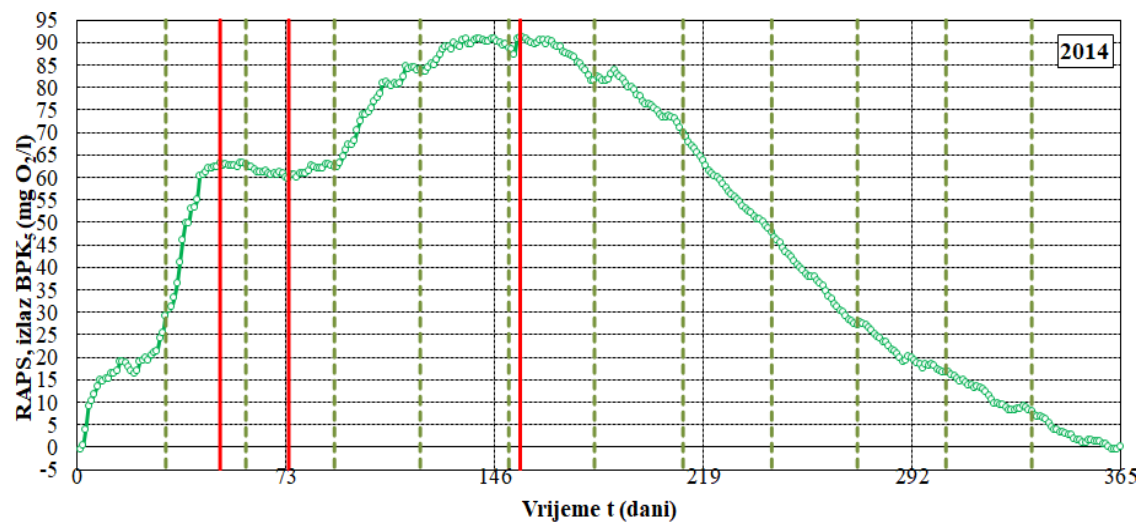
Slika 168. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti KPK 2014. godine



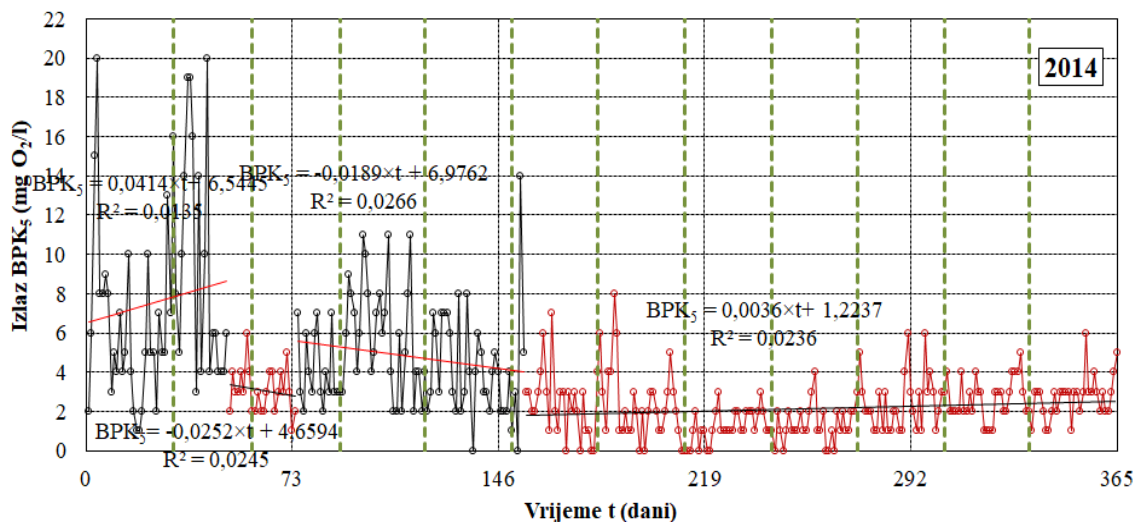
Slika 169. Prikaz ukupnih izlaznih podnizova KPK za 2014. godinu



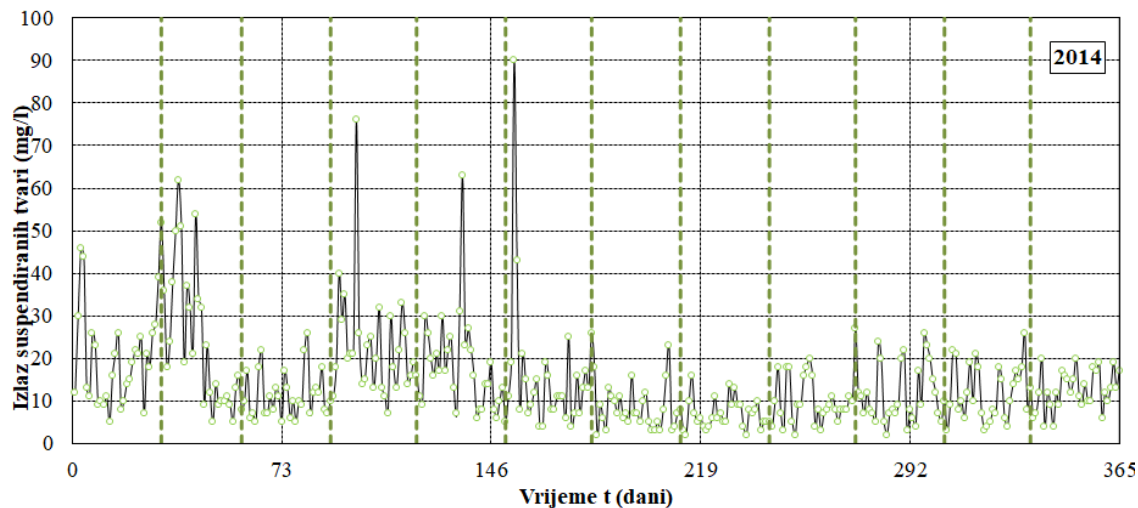
Slika 170. Izlaz BPK<sub>5</sub> za 2014. godinu



Slika 171. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> 2014. godine

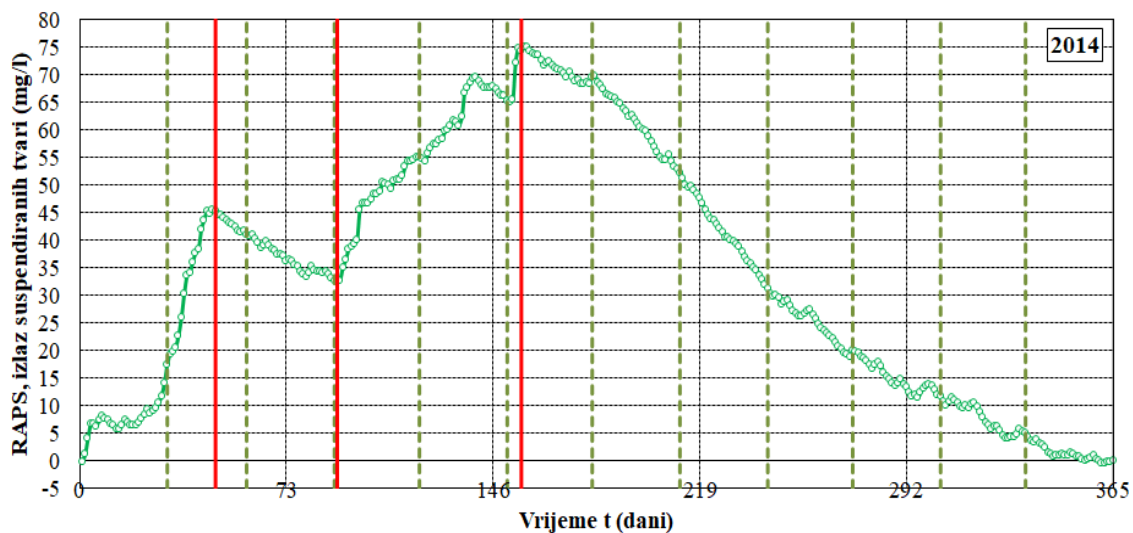


Slika 172. Prikaz ukupnih izlaznih podnizova BPK<sub>5</sub> za 2014. godinu

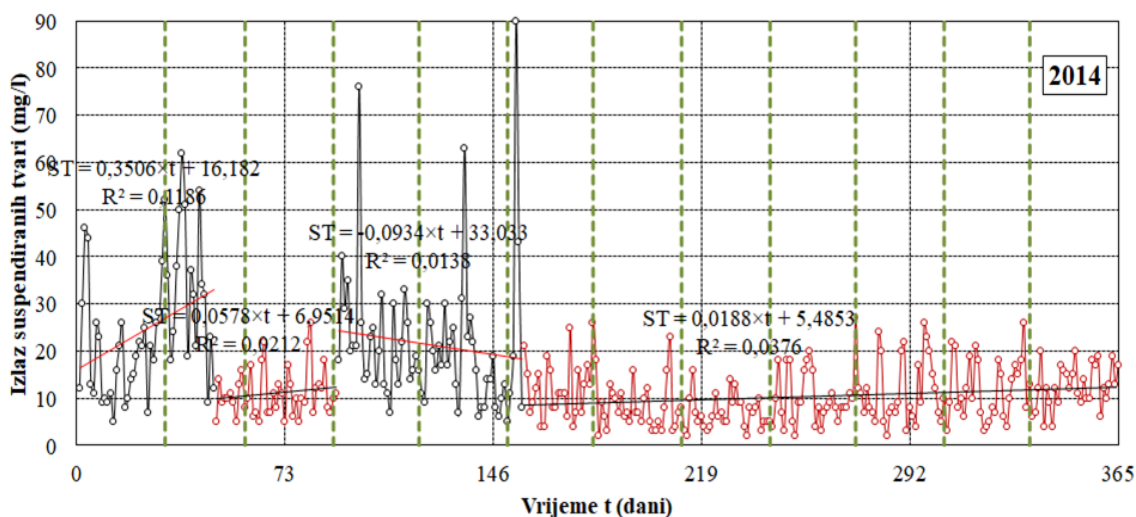


Slika 173. Izlaz suspendiranih tvari za 2014. godinu

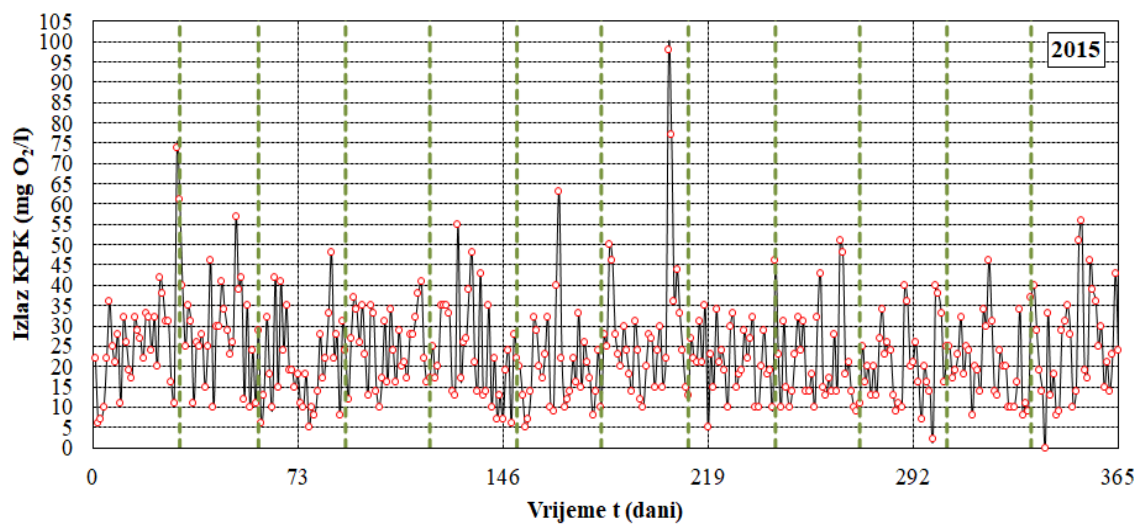
Na slici 173 također je vidljivo da dolazi do izlaznih vrijednosti suspendiranih tvari iznad MDK, dok kod KPK i BPK<sub>5</sub> nema takvih pojava, usprkos njihovom skoku u odnosu na vrijednosti tijekom cijele godine.



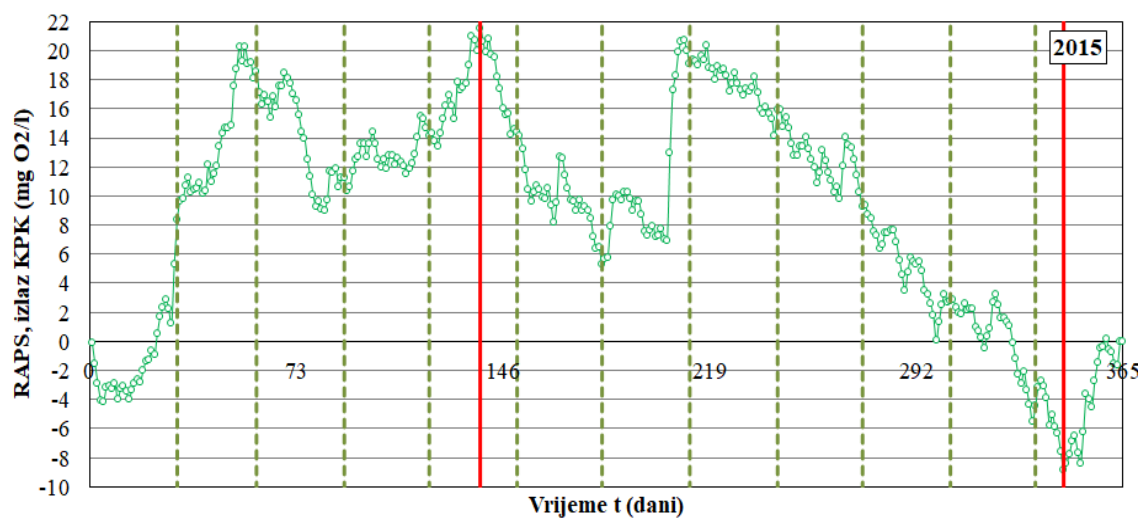
Slika 174. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti suspendiranih tvari 2014. godine



Slika 175. Prikaz ukupnih izlaznih podnizova suspendiranih tvari za 2014. godinu

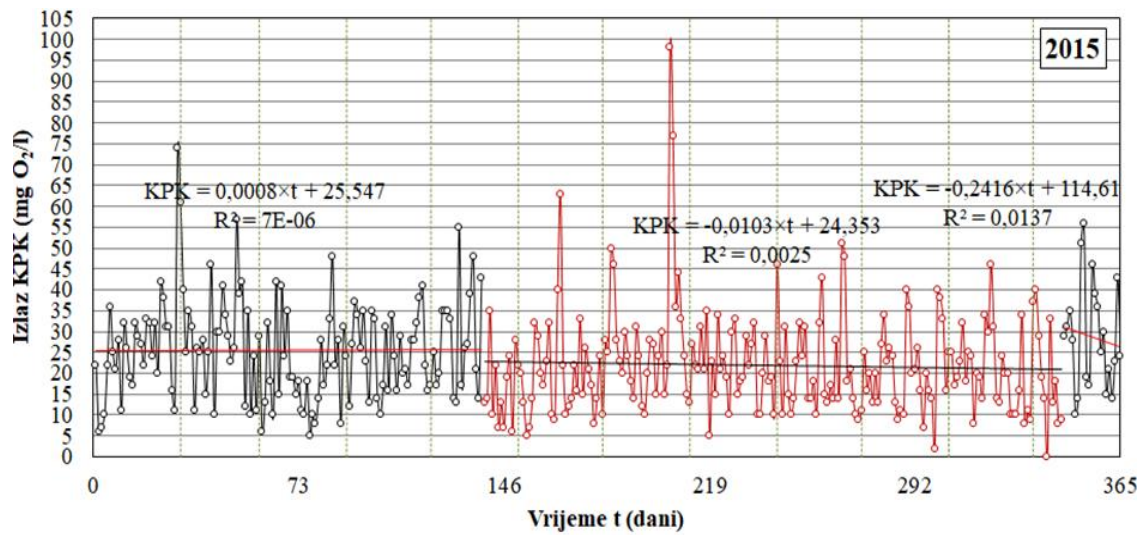


Slika 176. Izlaz KPK za 2015. godinu

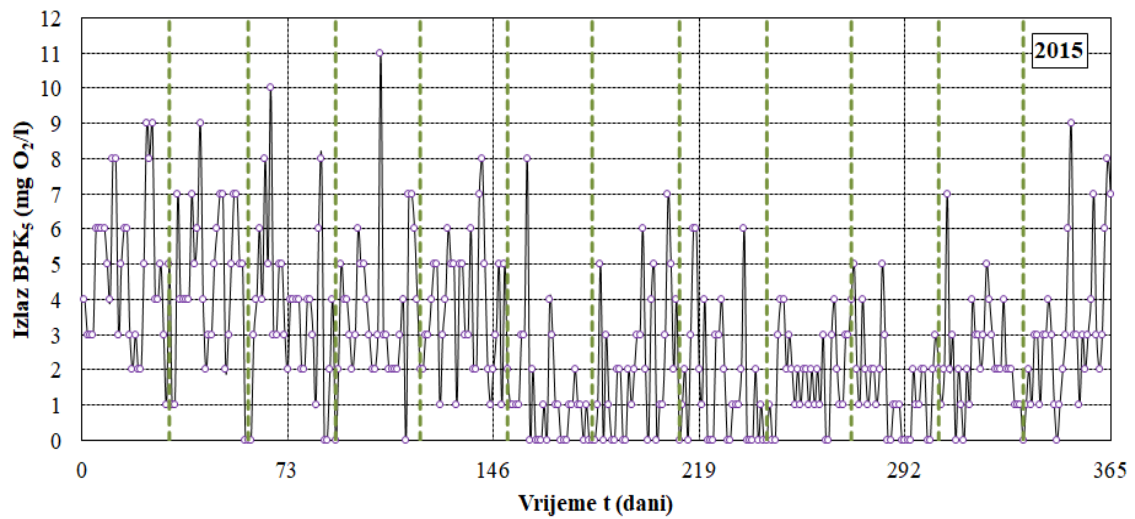


Slika 177. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti KPK 2015. godine

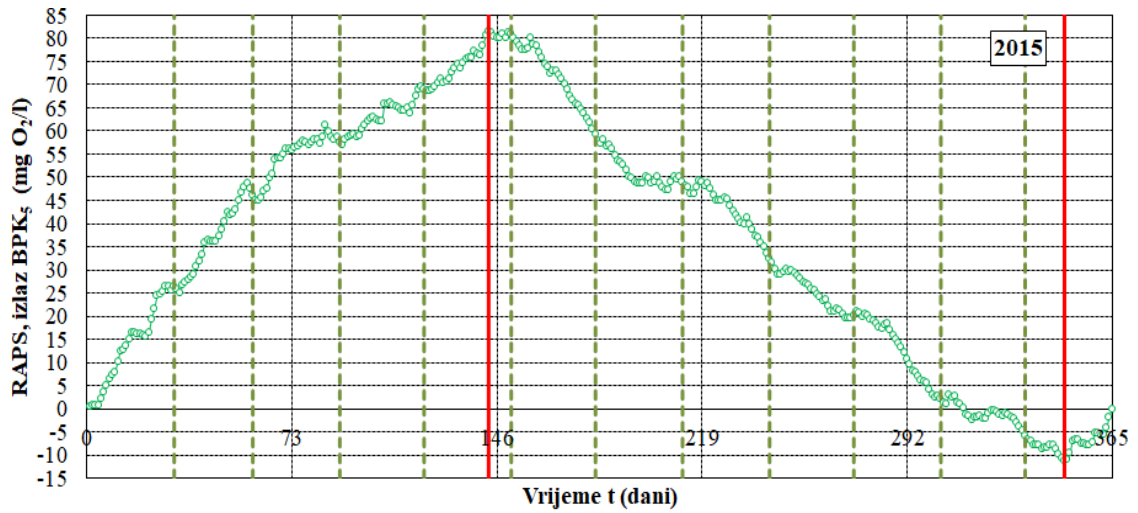




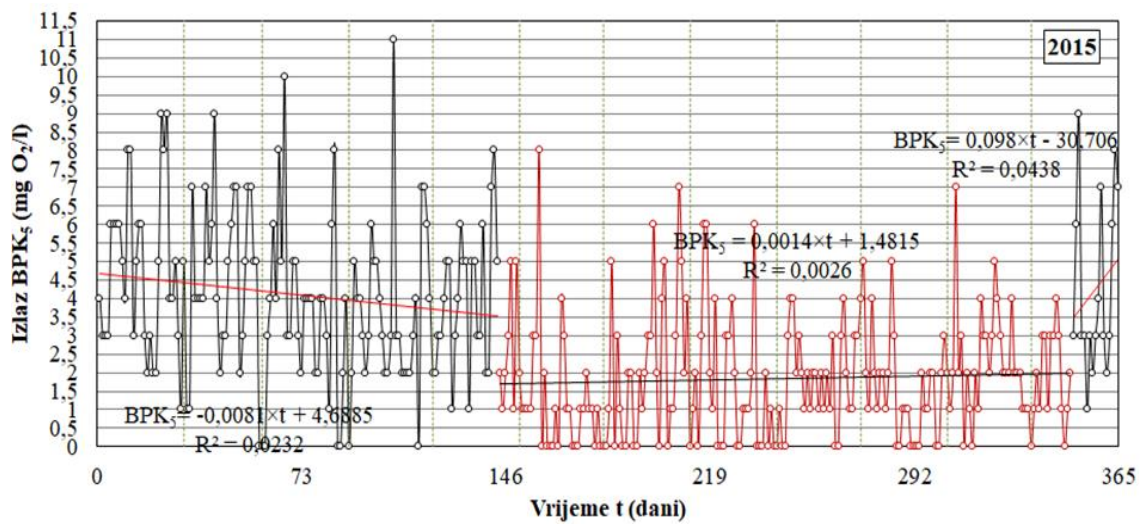
**Slika 178. Prikaz ukupnih izlaznih podnizova KPK za 2015. godinu**



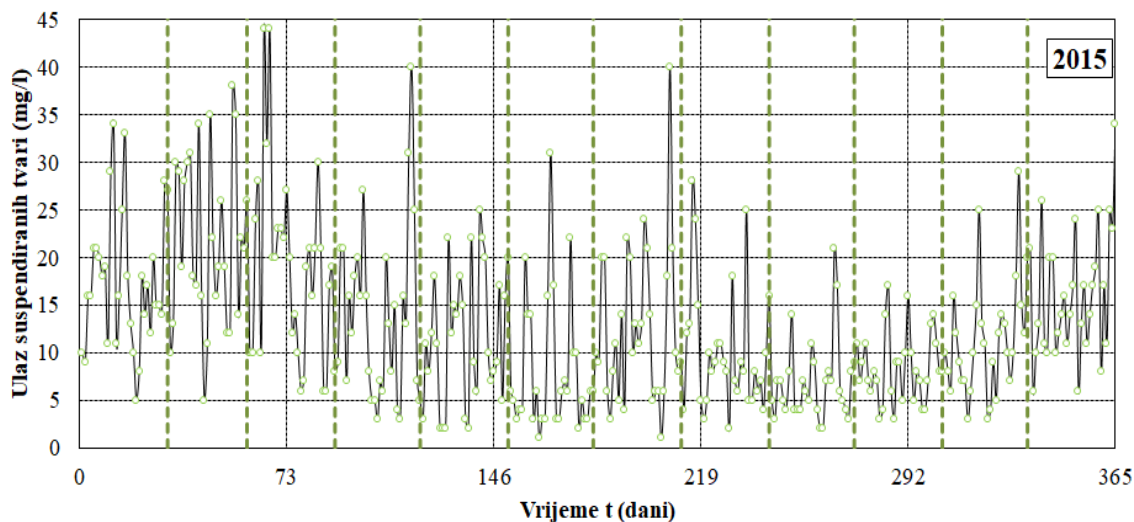
**Slika 179. Izlaz BPK<sub>5</sub> za 2015. godinu**



Slika 180. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> 2015. godine

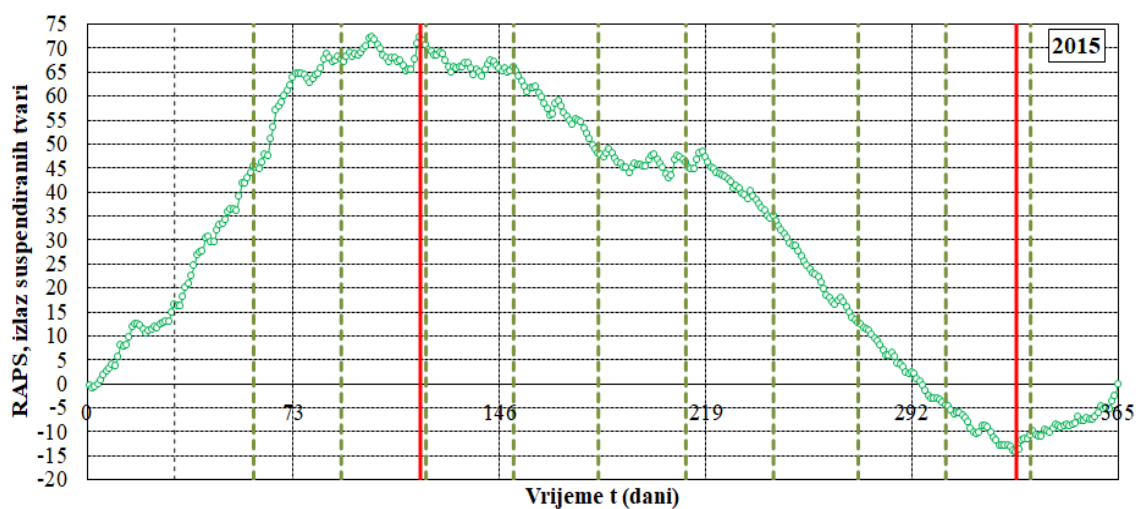


Slika 181. Prikaz ukupnih izlaznih podnizova BPK<sub>5</sub> za 2015. godinu

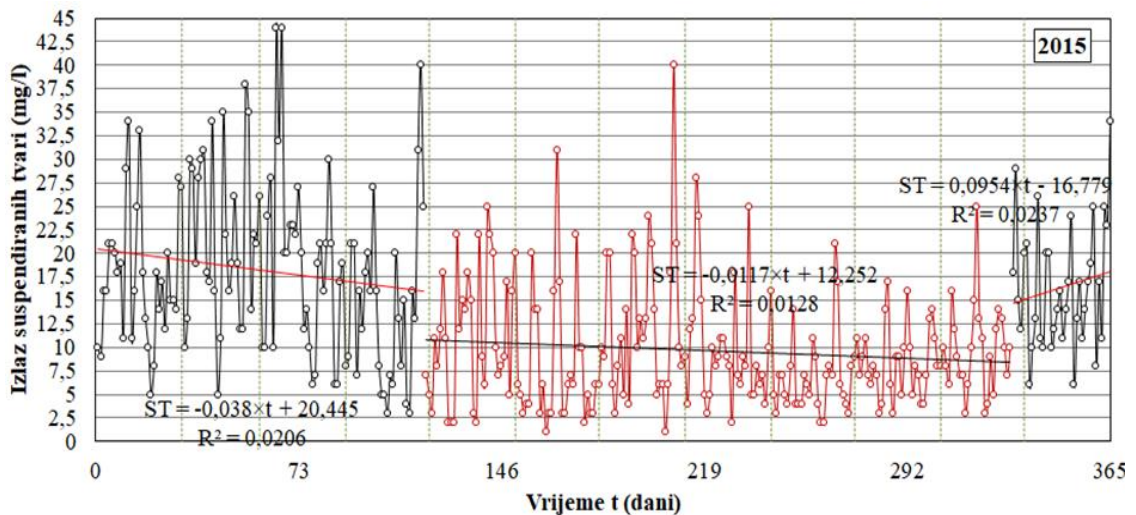


**Slika 182. Izlaz suspendiranih tvari za 2015. godinu**

Isto tako, na slici 182 uočava se skok vrijednosti suspendiranih tvari koje su iznad MDK. Sve dosad zamijećene vrijednosti pokazatelja kakvoće otpadne vode, koje su iznad MDK mogu se primijetiti i bez primjene RAPS-a i one su posljedice poremećaja u radu određenog dijela tehnološke linije uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.



**Slika 183. Prikaz ukupno provedenog RAPS-aza izlazne vrijednosti suspendiranih tvari 2015. godine**



**Slika 184. Prikaz ukupnih izlaznih podnizova suspendiranih tvari za 2015. godinu**

Kod ukupno izlaznih pokazatelja kakvoće otpadne vode za 2013., 2014. i 2015. godinu može se reći da ne dolazi do zapaženih podudaranja s nizovima količine oborina te izlaznih podnizova što zapravo znači da oborine ne utječu na rad uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Također, nema ni značajnijeg linearnog trenda porasta vrijednosti srednjih dnevnih temperatura (dolazi do fluktuacije na određenim mjesecima).

Iz prikaza dobivenih rezultata analize RAPS-a, provedene na ulaznim i izlaznim vremenskim nizovima analiziranih pokazatelja kakvoće otpadnih voda te antropogeni utjecaji na kakvoću otpadne vode (oborine, temperatura, KPK, BPK<sub>5</sub>, suspendirane tvari), za sve godine vidljivo je da ulazni nizovi sadrže izraženije podnizove s obzirom na trendove povećanja odnosno smanjenja vrijednosti. Izlazni podnizovi nisu toliko izraženi s obzirom na ulazne podnizove. Kvadrati koeficijenta linearne korelacije ( $R^2$ ) nisu značajni s obzirom na svoju veličinu, osobito kod ulaznih podnizova, dok su kod izlaznih podnizova u pravilu veći. Kod izlaznih podnizova najveća izračunata vrijednost  $R^2$  je 0.1186 na slici 175. te nakon toga slijedi 0.0507 (slika 163) i 0.0435 (slika 172). Najmanja izračunata vrijednosti  $R^2$  iznosi 0.0007 na slici 160. Budući da su na ostalim podnizovima vrijednosti  $R^2$  još manje, a u velikom broju slučajeva i približno jednake 0, zaključuje se da ne pretpostavljeni i određeni linearni trendovi dobivenih podnizova nemaju opravdanje, kao i definiranje bilo kakvih drugih trendova. Većina vrijednosti izlaznih pokazatelja kakvoće otpadne vode su ispod MDK, dok na slici 164., 173. te

182. vidljivo je da dolazi do skoka izlaznih vrijednosti. Također, vidljivo je da su dobiveni podnizovi izlaznih vrijednosti za cijelu godinu kraći od ulaznih vrijednosti.

U usporedbi broja ulaznih podnizova s izlaznim podnizovima primjećuje se da je manje izlaznih podnizova, što ukazuje na manje fluktuacije, odnosno da izlazni podnizovi ne osciliraju u toj mjeri s obzirom na to da izražavaju izlaznu kakvoću otpadne vode, odnosno pokazatelj rada uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.

Usporedno s dobivenim rezultatima analize RAPS-a za lipanj, srpanj i kolovoz 2013., 2014. i 2015. godine s ukupnim dobivenim analizama RAPS metode za 2013., 2014. i 2015. godinu vidljivo je da RAPS metoda za cjelogodišnji niz daje preciznije rezultate analize ulaznih i izlaznih pokazatelja kakvoće otpadne vode, što olakšava bolje praćenje pokazatelja koji utječu na kakvoću otpadne vode.

## 7. ZAKLJUČAK

Provedenom analizom opravdano je korištenje metode RAPS na duži vremenski periodu trajanju od 12 mjeseci, dok je primjena na kraći vremenski period (u trajanju od tri mjeseca) neopravdana zbog kratkoće niza, odnosno nepostojanja dovoljno dugačkih podnizova. Primjena RAPS metode omogućava kompletniji uvid u nepravilnosti, poremećaje i prekide zadanih vremenskih nizova svakog pokazatelja, pa tako i pokazatelja kakvoće otpadne vode. RAPS daje mogućnost analize onog dijela vremenskog niza koji je problematičan, dok trend cijelog vremenskog niza to ne omogućava. U većini slučajeva trendovi ne ukazuju tj. ne upozoravaju na mogući problem koji se javlja u određenom dijelu vremenskog niza. Navedeno omogućava bržu i točniju analizu, usmjeravanje na stvarni problem kao i bržu reakciju u svrhu njegovog otklanjanja, što je iznimno važno u svakoj grani ljudske djelatnosti, a samim time i u pročišćavanju otpadnih voda. RAPS metoda može značajno pomoći u nadzoru nad radom uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, a također kod projektiranja takvih uređaja, budući da najjednostavniji postupci koji se danas koriste, a to su prikaz podataka i analiza trenda, ne mogu dati takvu sliku problema kao što pruža RAPS metoda.

## 8. LITERATURA

1. Tušar, B. (2004). *Ispuštanje i pročišćavanje otpadne vode*. Zagreb
2. Meteorologija za početnike. *Ciklus kruženja vode u prirodi*. „Dostupno na:“ <https://goran186.wordpress.com/author/goran186/> „Datum pristupa:“ 1.3.2019.
3. HRVATSKE VODE. *Voda*. „Dostupno na:“ <https://www.voda.hr/hr/pitanja-odgovori> „Datum pristupa:“ 9.5.2019.
4. Tušar, B. (2009). *Pročišćavanje otpadnih voda*. Zagreb
5. Tošić, I. (2018). Seminarski rad. *Analiza rada uređaja za pročišćavanje otpadnih voda Čakovec*. Zagreb
6. HANINFO. *Kisele kiše*. „Dostupno na:“ <http://haninfo.rs/2017/10/31/haninfo-kisele-kise/> „Datum pristupa:“ 4.3.2019.
7. Jannahnews. *Crvena kiša*. „Dostupno na:“ <http://lokalnevestitpknews.altervista.org/2016/02/branicevski-okrug-veceras-crvena-kisa/> „Datum pristupa:“ 4.3.2019.
8. Tedeschi, S. (1997). *Zaštita voda*. 1. Izdanje Zagreb; HDGI
9. Gusak, H. (2016.) *Završni rad – Kemijska kakvoća otpadnih voda Brodsko-posavske županije*. Požega
10. Širac, S. *Interna skripta – Pročišćavanje otpadnih voda*. Zagreb
11. Ptiček Siročić, A. (2016) *Interna skripta – Upravljanje kakvoćom vode*. Varaždin
12. Acquainterma inženjering doo. *Mutnoća vode*. „Dostupno na:“ <http://www.aquainterma.rs/sr/podesavanje-parametara-vode/mutnoca-vode/> „Datum pristupa:“ 10.5.2019.
13. EKO-PULS d.o.o. *Kamenac u cijevima*. „Dostupno na:“ <http://www.eko-puls.hr/Servis.aspx> „Datum pristupa:“ 10.5.2019.

14. DYNAMIX AGITATORS. *Waste Water Mixers*. „Dostupno na:“  
<https://www.dynamixinc.com/industries/waste-water-industry> „Datum pristupa:“  
 27.4.2019
15. Aquarden TECHNOLOGES. *Coagulation & flocculation*. „Dostupno na:“  
<https://aquarden.com/technologies/coagulation-flocculation/> „Datum pristupa:“  
 3.5.2019.
16. Hrvatska enciklopedija. *Oksidacija i redukcija*. „Dostupno na:“  
<http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=44939> „Datum pristupa:“: 6.4.2019.
17. MicrobeWiki. *Nitrosomonas*. „Dostupno na:“  
<https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Nitrosomonas> „Datum pristupa:“ 13.5.2019.
18. Mindiamart. *Nitrobacter*. „Dostupno na:“  
<https://www.indiamart.com/proddetail/nitrobacter-bacteria-3472897862.html> „Datum pristupa:“ 13.5.2019
19. Uklanjanje hranjiva u uređajima za biološko pročišćavanje otpadnih voda. *Uklanjanje fosfora i dušika*. „Dostupno na:“  
<https://www.pmf.unizg.hr/images/50017753/BPOV5.pdf> „Datum pristupa:“ 7.4.2019.
20. Rao, A.R., Hamed, K.H., Huey-Long Chen. *Nonstationarities in Hydrologic and Environmental Time Series*. „Dostupno na:“  
<https://www.springer.com/gp/book/9781402012976> „Datum pristupa:“: 7.4.2019.
21. Bonacci, O. (2010). *Analiza nizova srednje godišnje temperature zraka u Hrvatskoj*. Građevinar
22. Machiwal, D., Jha M.K. *Hydrologic Time Series Analysis*.
23. Marlyn L. Shelton (1998) *SEASONAL HYDROCLIMATE CHANGE IN THE SACRAMENTO RIVER BASIN CALIFORNIA*, Physical Geography, 19:3, 239-255]
24. Qiying You, Hao Jiang, Yan Liu, Zhao Liu and Zilong Guan, *Probability Analysis and Control of River Runoff–sediment Characteristics based on Pair-Copula Functions: The Case of the Weihe River and Jinghe River*, Water 2019, 11(3), 510



25. Bonacci, O., Pekárová, P., Miklánek, P. (2009). Analiza dugih vremenskih nizova protoka i temperatura vode Dunava kod Bratislave (Slovačka). *Hrvatske vode*. 68, 103-112
26. 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
27. Lojen, S., Trkov, A., Ščančar, J., Vázquez-Navarro, J. A., Cukrov, N. (2009). Continuous 60-year stable isotopic and earth-alkali element records in a modern laminated tufa (Jaruga, river Krka, Croatia): Implications for climate reconstruction. *Chemical Geology*. 258, 242-250
28. Bonacci, O.; Andrić, I. (2008). Sinking karst rivers hydrology - case of the Lika and Gacka (Croatia). *Acta Carsologica*. 37(2-3), 185-196
29. Tadić, L. (2012). *Criteria for Evaluation of Agricultural Land Suitability for Irrigation in Osijek County Croatia*. Problems, Perspectives and Challenges of Agricultural Water Management. Rijeka: Interchopen
30. Muhar, A. (2017). *Rektorova nagrada – Doprinos analizi rada uređaja za pročišćavanje otpadnih voda s obzirom na pojedine pokazatelje kakvoće otpadne vode i na utjecaj oborina primjenom metode RAPS*. Zagreb
31. Ptiček Siročić, A.; Đurin, B.; Glumac, N.; Nađ, L. *Analiza odstupanja vrijednosti pokazatelja kakvoće otpadne vode pomoću RAPS metode // Proceedings 7th International Scientific and Professional Conference Water for all*. Osijek, 2018. 251-262]
32. Đurin, B.; Ptiček Siročić, A.; Muhar, A. *Analiza povezanosti pokazatelja kakvoće otpadne vode s temperaturom i oborinama pomoću RAPS metode*. *Hrvatske vode*. 25 (2017) , 102; 247-252
33. Fujs, N. (2015.) *Diplomski rad – Ispitivanje fizikalno – kemijskih parametara kvalitete voda*. Varaždin
34. Državni hidrometeorološki zavod Hrvatske (DHMZ). *Količina oborina od 2013. do 2015. godine, meteorološke postaje Čakovec*. Čakovec

35. Državni hidrometeorološki zavod Hrvatske (DHMZ). *Srednje dnevne temperature od 2013. do 2015. godine, meteorološke postaje Čakovec*. Čakovec

36. Narodne Novine (2013). *Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda*. br. 80, Zagreb.

## 9. POPIS SLIKA

Slika 1. Ciklus kruženja vode u prirodi [2].....	1
Slika 2. Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda Čakovec [5] .....	2
Slika 3. Utjecaj kiselih kiša [6] .....	6
Slika 4. Crvena kiša [7].....	6
Slika 5. Dijelovi tehnološke linije otpadne vode [4].....	9
Slika 6. Dijelovi tehnološke linije obrade mulja [4] .....	9
Slika 7. Raspršene tvari u vodi [11].....	12
Slika 8. Vrijednosti mutnoće vode u NTU jedinicama [12] .....	13
Slika 9. Obojenje vode [11].....	13
Slika 10. Utjecaj tvrdoće vode na kupaonsku miješalicu [13].....	15
Slika 11. Mikrosita [11] .....	20
Slika 12. Protok i opterećenje organskom tvari prije i poslije izravnivanja [4].....	21
Slika 13. Miješanje [14] .....	22
Slika 14. Shematski prikaz zrnaste čestice [4] .....	23
Slika 15. Stvaranje kompleksnih čestica pri tlačnoj flotaciji [4].....	24
Slika 16. Ciklus cijedenja [4].....	25
Slika 17. Uređaj za neutralizaciju [3].....	27
Slika 18. Neutralizacija na filtarskom sloju vapnenca [3] .....	28
Slika 19. Koagulacija [15].....	28
Slika 20. Flokulacija [15] .....	29
Slika 21. Shematski prikaz uređaja za dezinfekciju vode ozonom [4] .....	30
Slika 22. Mehanizam odvijanja izmjene iona [4] .....	31
Slika 23. Reverzna osmoza [4].....	32
Slika 24. Proces filtriranja kroz membranu [4] .....	32
Slika 25. Shematski prikaz elektrodijalize [4] .....	33
Slika 26. Shematski prikaz postupka s aktivnim muljem [11].....	34
Slika 27. Prokapnik [11] .....	35
Slika 28. Laguna [11] .....	35
Slika 29. Shematski prikaz anaerobne razgradnje [4].....	36
Slika 30. Nitrosomonas [17].....	37
Slika 31. Nitrobacter [18] .....	38
Slika 32. Uklanjanje fosfora [19] .....	39
Slika 33. Kombinirano uklanjanje fosfora i dušika [19].....	40
Slika 34. Automatski uzorkivač [33].....	44
Slika 35. Posude u koje se spremaju uzorci [33].....	44
Slika 36. KPK reaktor [33].....	45
Slika 37. Ohlađeni uzorci spremni za očitavanje KPK vrijednosti [33].....	46
Slika 38. Oxitop uređaj [33] .....	46
Slika 39. Priprema uzorka za ispitivanje BPK <sub>5</sub> [33] .....	47
Slika 40. Profiltrirani uzorci suspendirane tvari [33].....	49
Slika 41. Ukupne dnevne količine oborina za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2013. godine .....	50

Slika 42. Prikaz provedenog RAPS-a za ukupne dnevne količine oborina za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2013. godine .....	51
Slika 43. Prikaz dobivenih podnizova za ukupne dnevne količine oborina za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2013. godine .....	51
Slika 44. Ukupne dnevne količine oborina za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2014. godine .....	52
Slika 45. Prikaz provedenog RAPS-a za ukupne dnevne količine oborina za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2014. godine .....	52
Slika 46. Prikaz dobivenih podnizova za ukupne dnevne količine oborina za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2014. godine .....	53
Slika 47. Ukupne dnevne količine oborina za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2015. godine .....	53
Slika 48. Prikaz provedenog RAPS-a za ukupne dnevne količine oborina za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2015. godine .....	54
Slika 49. Prikaz dobivenih podnizova za ukupne dnevne količine oborina za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2015. godine .....	54
Slika 50. Srednja dnevna temperatura za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2013. godine .....	55
Slika 51. Prikaz provedenog RAPS-a srednje dnevne temperature za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2013. godine .....	55
Slika 52. Prikaz dobivenih podnizova srednje dnevne temperature za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2013. godine .....	56
Slika 53. Srednja dnevna temperatura za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2014. godine .....	56
Slika 54. Prikaz provedenog RAPS-a srednje dnevne temperature za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2014. godine .....	57
Slika 55. Prikaz dobivenih podnizova srednje dnevne temperature za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2014. godine .....	57
Slika 56. Srednja dnevna temperatura za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2015. godine .....	58
Slika 57. Prikaz provedenog RAPS-a srednje dnevne temperature za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2015. godine .....	58
Slika 58. Prikaz dobivenih podnizova srednje dnevne temperature za grad Čakovec; lipanj, srpanj i kolovoz 2015. godine .....	59
Slika 59. Ulazne vrijednosti KPK za 2013. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz .....	60
Slika 60. Prikaz provedenog RAPS-a za ulazne vrijednostiKPK 2013. godine; lipanj, srpanj i kolovoz .....	60
Slika 61. Prikaz dobivenih podnizova za ulazne vrijednostiKPK 2013. godine; lipanj, srpanj i kolovoz .....	61
Slika 62. Ulazne vrijednosti za BPK <sub>5</sub> 2013. godine; lipanj, srpanj i kolovoz.....	61
Slika 63. Prikaz provedenog RAPS-a za ulazne vrijednosti BPK <sub>5</sub> 2013. godine; lipanj, srpanj i kolovoz .....	62
Slika 64. Prikaz dobivenih podnizova za ulazne vrijednosti BPK <sub>5</sub> 2013. godine; lipanj, srpanj i kolovoz .....	62
Slika 65. Ulazne vrijednosti suspendiranih tvari za 2013. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz .....	63

<b>Slika 66. Prikaz provedenog RAPS-a za ulazne vrijednosti suspendiranih tvari 2013. godine; lipanj, srpanj i kolovoz.....</b>	<b>63</b>
<b>Slika 67. Prikaz dobivenih podnizova za ulazne vrijednosti suspendiranih tvari 2013. godine; lipanj, srpanj i kolovoz.....</b>	<b>64</b>
<b>Slika 68. Ulazne vrijednosti KPK za 2014. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz.....</b>	<b>64</b>
<b>Slika 69. Prikaz provedenog RAPS-a za ulazne vrijednosti KPK 2014. godine; lipanj, srpanj i kolovoz.....</b>	<b>65</b>
<b>Slika 70. Prikaz dobivenih podnizova za ulazne vrijednosti KPK 2014. godine; lipanj, srpanj i kolovoz.....</b>	<b>65</b>
<b>Slika 71. Ulazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> za 2014.godine; lipanj, srpanj i kolovoz.....</b>	<b>66</b>
<b>Slika 72. Prikaz provedenog RAPS-a za ulazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> 2014. godine; lipanj, srpanj i kolovoz.....</b>	<b>66</b>
<b>Slika 73. Prikaz dobivenih podnizova za ulazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> 2014. godine; lipanj, srpanj i kolovoz.....</b>	<b>67</b>
<b>Slika 74. Ulazne vrijednosti suspendiranih tvari za 2014. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz.....</b>	<b>67</b>
<b>Slika 75. Prikaz provedenog RAPS-a za ulazne vrijednosti suspendiranih tvari 2014. godine; lipanj, srpanj i kolovoz.....</b>	<b>68</b>
<b>Slika 76. Prikaz dobivenih podnizova za ulazne vrijednosti suspendiranih tvari 2014. godine; lipanj, srpanj i kolovoz.....</b>	<b>68</b>
<b>Slika 77. Ulazne vrijednosti KPK za 2015. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz.....</b>	<b>69</b>
<b>Slika 78. Prikaz provedenog RAPS-a za ulazne vrijednosti KPK 2015. godine; lipanj, srpanj i kolovoz.....</b>	<b>69</b>
<b>Slika 79. Prikaz dobivenih podnizova za ulazne vrijednosti KPK 2015. godine; lipanj, srpanj i kolovoz.....</b>	<b>70</b>
<b>Slika 80. Ulazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> za 2015. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz.....</b>	<b>70</b>
<b>Slika 81. Prikaz provedenog RAPS-a za ulazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> 2015. godine; lipanj, srpanj i kolovoz.....</b>	<b>71</b>
<b>Slika 82. Prikaz dobivenih podnizova za ulazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> 2015. godine; lipanj, srpanj i kolovoz.....</b>	<b>71</b>
<b>Slika 83. Ulazne vrijednosti suspendiranih tvari za 2015. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz.....</b>	<b>72</b>
<b>Slika 84. Prikaz provedenog RAPS-a za ulazne vrijednosti suspendiranih tvari 2015. godine; lipanj, srpanj i kolovoz.....</b>	<b>72</b>
<b>Slika 85. Prikaz dobivenih podnizova za ulazne vrijednosti suspendiranih tvari 2015. godine; lipanj, srpanj i kolovoz.....</b>	<b>73</b>
<b>Slika 86. Izlazne vrijednosti KPK za 2013. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz.....</b>	<b>74</b>
<b>Slika 87. Prikaz provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti KPK 2013. godine; lipanj, srpanj i kolovoz.....</b>	<b>74</b>
<b>Slika 88. Prikaz dobivenih izlaznih podnizova za KPK2013. godine; lipanj, srpanj i kolovoz.....</b>	<b>75</b>
<b>Slika 89. Izlazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> za 2013. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz.....</b>	<b>75</b>
<b>Slika 90. Prikaz provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> 2013. godine; lipanj, srpanj i kolovoz.....</b>	<b>76</b>
<b>Slika 91. Prikaz dobivenih izlaznih podnizova za BPK<sub>5</sub> 2013. godine; lipanj, srpanj i kolovoz.....</b>	<b>76</b>

<b>Slika 92. Izlazne vrijednosti suspendiranih tvari za 2013. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz</b>	77
<b>Slika 93. Prikaz provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti suspendiranih tvari 2013. godine; lipanj, srpanj i kolovoz</b>	77
<b>Slika 94. Prikaz dobivenih izlaznih podnizova za suspendirane tvari 2013. godine; lipanj, srpanj i kolovoz</b>	78
<b>Slika 95. Izlazne vrijednosti KPK za 2014. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz</b>	78
<b>Slika 96. Prikaz provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti KPK 2014. godine; lipanj, srpanj i kolovoz</b>	79
<b>Slika 97. Prikaz dobivenih izlaznih podnizova za KPK 2014. godine; lipanj, srpanj i kolovoz</b>	79
<b>Slika 98. Izlazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> za 2014. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz</b>	80
<b>Slika 99. Prikaz provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> 2014. godine; lipanj, srpanj i kolovoz</b>	80
<b>Slika 100. Prikaz dobivenih izlaznih podnizova za BPK<sub>5</sub> 2014. godine; lipanj, srpanj i kolovoz</b>	81
<b>Slika 101. Izlazne vrijednosti suspendiranih tvari za 2014. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz</b>	81
<b>Slika 102. Prikaz provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti suspendiranih tvari 2014. godine; lipanj, srpanj i kolovoz</b>	82
<b>Slika 103. Prikaz dobivenih izlaznih podnizova za suspendirane tvari 2014. godine; lipanj, srpanj i kolovoz</b>	82
<b>Slika 104. Izlazne vrijednosti KPK za 2015. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz</b>	83
<b>Slika 105. Prikaz provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti KPK 2015. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz</b>	83
<b>Slika 106. Prikaz dobivenih podnizova za izlazne vrijednosti KPK 2015. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz</b>	84
<b>Slika 107. Izlazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> za 2015. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz</b>	84
<b>Slika 108. Prikaz provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> 2015. godinu; lipanj, srpanj, kolovoz</b>	85
<b>Slika 109. Prikaz dobivenih izlaznih podnizova za BPK<sub>5</sub> 2015. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz</b>	85
<b>Slika 110. Izlazne vrijednosti suspendiranih tvari za 215. godinu; lipanj, srpanj i kolovoz</b>	86
<b>Slika 111. Prikaz provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti suspendiranih tvari 2015. godine; lipanj, srpanj i kolovoz</b>	86
<b>Slika 112. Prikaz dobivenih izlaznih podnizova za suspendirane tvari 2015. godine; lipanj, srpanj i kolovoz</b>	87
<b>Slika 113. Dnevna oborina za grad Čakovec 2013. godine</b>	88
<b>Slika 114. Prikaz provedenog ukupnog RAPS-a za dnevne oborine 2013. godine</b>	88
<b>Slika 115. Ukupna dnevna oborina za grad Čakovec 2013. godine</b>	89
<b>Slika 116. Dnevna oborina za grad Čakovec 2014. godine</b>	89
<b>Slika 117. Prikaz provedenog ukupnog RAPS-a za dnevne oborine 2014. godine</b>	90
<b>Slika 118. Ukupna dnevna oborina za grad Čakovec 2014. godine</b>	90
<b>Slika 119. Dnevna oborina za grad Čakovec 2015. godine</b>	91
<b>Slika 120. Prikaz provedenog ukupnog RAPS-a za dnevne oborine 2015. godine</b>	91

Slika 121. Ukupna dnevna oborina za grad Čakovec 2015. godine .....	92
Slika 122. Srednje dnevne temperature zrakaza grad Čakovec 2013. godine .....	92
Slika 123. Prikaz provedenog ukupnog RAPS-a za srednje dnevne temperature zraka 2013. godine .....	93
Slika 124. Ukupne srednje dnevne temperature zraka za grad Čakovec 2013. godine .....	93
Slika 125. Srednje dnevne temperature zraka za grad Čakovec 2014. godine .....	94
Slika 126. Prikaz provedenog ukupnog RAPS-a za srednje dnevne temperature zraka 2014. godine .....	94
Slika 127. Ukupne srednje dnevne temperature zraka za grad Čakovec 2014. godine .....	95
Slika 128. Dnevne srednje temperature zraka za grad Čakovec 2015. godine .....	95
Slika 129. Prikaz provedenog ukupnog RAPS-a za srednje dnevne temperature zraka 2015. godine .....	96
Slika 130. Ukupne srednje dnevne temperature zraka za grad Čakovec 2015. godine .....	96
Slika 131. Ulaz KPK za 2013. godinu .....	97
Slika 132. Prikaz ukupno provedenog RAPS-aza ulazne vrijednosti KPK 2013. godine ...	98
Slika 133. Prikaz ukupnih ulaznih podnizova KPK za 2013. godinu .....	98
Slika 134. Ulaz BPK <sub>5</sub> za 2013. godinu .....	99
Slika 135. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za ulazne vrijednosti BPK <sub>5</sub> 2013. godinu.	99
Slika 136. Prikaz ukupnih ulaznih podnizova BPK <sub>5</sub> za 2013. godinu .....	100
Slika 137. Ulaz suspendiranih tvari za 2013. godinu .....	100
Slika 138. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za ulazne vrijednosti suspendiranih tvari 2013. godinu .....	101
Slika 139. Prikaz ukupnih ulaznih podnizova suspendiranih tvari za 2013. godinu .....	101
Slika 140. Ulaz KPK za 2014. godinu .....	102
Slika 141. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za ulazne vrijednosti KPK 2014. godine	102
Slika 142. Prikaz ukupnih ulaznih podnizova KPK za 2014. godinu .....	103
Slika 143. Ulaz BPK <sub>5</sub> za 2014. godinu .....	103
Slika 144. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za ukupne vrijednosti BPK <sub>5</sub> 2014. godine .....	104
Slika 145. Prikaz ukupnih ulaznih podnizova BPK <sub>5</sub> za 2014. godinu .....	104
Slika 146. Ulaz suspendiranih tvari za 2014. godinu .....	105
Slika 147. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za ukupne vrijednosti suspendiranih tvari 2014. godine .....	105
Slika 148. Prikaz ukupnih ulaznih podnizova suspendiranih tvari za 2014. godinu .....	106
Slika 149. Ulaz KPK za 2015. godinu .....	106
Slika 150. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za ukupne vrijednosti KPK 2015. godine .....	107
Slika 151. Prikaz ukupnih ulaznih podnizova KPK za 2015. godinu .....	107
Slika 152. Ulaz BPK <sub>5</sub> za 2015. godinu .....	108
Slika 153. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za ulazne vrijednosti BPK <sub>5</sub> 2015. godine	108
Slika 154. Prikaz ukupnih ulaznih podnizova BPK <sub>5</sub> za 2015. godinu .....	109
Slika 155. Ulaz suspendiranih tvari za 2015. godinu .....	109
Slika 156. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za ulazne vrijednosti suspendiranih tvari 2015. godine .....	110
Slika 157. Prikaz ukupnih ulaznih podnizova suspendiranih tvari za 2015. godinu .....	110

<b>Slika 158. Izlaz KPK za 2013. godinu.....</b>	<b>111</b>
<b>Slika 159. Prikaz provedenog ukupnog RAPS-a za izlazne vrijednosti KPK 2013. godine</b> .....	<b>111</b>
<b>Slika 160. Prikaz ukupnih izlaznih podnizova KPK za 2013. godinu .....</b>	<b>112</b>
<b>Slika 161. Izlaz BPK<sub>5</sub> za 2013. godinu.....</b>	<b>112</b>
<b>Slika 162. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> 2013. godine</b> .....	<b>113</b>
<b>Slika 163. Prikaz ukupnih izlaznih podnizova BPK<sub>5</sub> za 2013. godinu.....</b>	<b>113</b>
<b>Slika 164. Izlaz suspendiranih tvari za 2013. godinu .....</b>	<b>114</b>
<b>Slika 165. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti suspendiranih tvari</b> <b>2013. godine .....</b>	<b>114</b>
<b>Slika 166. Prikaz ukupnih izlaznih podnizova suspendiranih tvari za 2013. godinu.....</b>	<b>115</b>
<b>Slika 167. Izlaz KPK za 2014. godinu.....</b>	<b>115</b>
<b>Slika 168. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti KPK 2014. godine</b> .....	<b>116</b>
<b>Slika 169. Prikaz ukupnih izlaznih podnizova KPK za 2014. godinu .....</b>	<b>116</b>
<b>Slika 170. Izlaz BPK<sub>5</sub> za 2014. godinu.....</b>	<b>117</b>
<b>Slika 171. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> 2014. godine</b> .....	<b>117</b>
<b>Slika 172. Prikaz ukupnih izlaznih podnizova BPK<sub>5</sub> za 2014. godinu.....</b>	<b>118</b>
<b>Slika 173. Izlaz suspendiranih tvari za 2014. godinu .....</b>	<b>118</b>
<b>Slika 174. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti suspendiranih tvari</b> <b>2014. godine .....</b>	<b>119</b>
<b>Slika 175. Prikaz ukupnih izlaznih podnizova suspendiranih tvari za 2014. godinu.....</b>	<b>119</b>
<b>Slika 176. Izlaz KPK za 2015. godinu.....</b>	<b>120</b>
<b>Slika 177. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti KPK 2015. godine</b>	<b>120</b>
<b>Slika 178. Prikaz ukupnih izlaznih podnizova KPK za 2015. godinu .....</b>	<b>121</b>
<b>Slika 179. Izlaz BPK<sub>5</sub> za 2015. godinu.....</b>	<b>121</b>
<b>Slika 180. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti BPK<sub>5</sub> 2015. godine</b> .....	<b>122</b>
<b>Slika 181. Prikaz ukupnih izlaznih podnizova BPK<sub>5</sub> za 2015. godinu.....</b>	<b>122</b>
<b>Slika 182. Izlaz suspendiranih tvari za 2015. godinu .....</b>	<b>123</b>
<b>Slika 183. Prikaz ukupno provedenog RAPS-a za izlazne vrijednosti suspendiranih tvari</b> <b>2015. godine .....</b>	<b>123</b>
<b>Slika 184. Prikaz ukupnih izlaznih podnizova suspendiranih tvari za 2015. godinu.....</b>	<b>124</b>



## 10. POPIS TABLICA

<b>Tablica 1. Čimbenici koji utječu na biološke procese nitrifikacije i denitrifikacije</b>	<b>38</b>
<b>Tablica 2. Faktori za izračun vrijednosti koncentracije utrošenog kisika nakon 5 dana u mg/l u odnosu na volumen uzorka .....</b>	<b>48</b>