

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
INSTITUT RUĐER BOŠKOVIĆ, ZAGREB**

**POSLIJEDIPLOMSKI INTERDISCIPLINARNI SPECIJALISTIČKI STUDIJ
ZAŠTITA PRIRODE I OKOLIŠA**

Zorica Kuveždić

**UTJECAJ GODIŠNJIH DOBA NA UČINKOVITOST BIOLOŠKE OBRAD
OTPADNIH VODA GRADA VINKOVACA**

**Specijalistički rad
OSIJEK, 2016**

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Institut Ruđer Bošković, Zagreb

Specijalistički rad

Poslijediplomski interdisciplinarni specijalistički studij Zaštita prirode i okoliša

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

UTJECAJ GODIŠNJIH DOBA NA UČINKOVITOST BIOLOŠKE OBRADNE OTPADNIH VODA GRADA VINKOVACA

Zorica Kuveždić, dipl. ing.

Rad je izrađen: Vinkovački vodovod i kanalizacija d.o.o. Vinkovci

Mentor: *doc. dr. sc. Mirna Habuda-Stanić*

Kratki sažetak specijalističkog rada:

Cilj ovog rada je utvrditi utjecaj godišnjih doba na učinkovitost biološke obrade otpadne vode grada Vinkovaca analizom rezultata višegodišnjeg praćenja kakvoće ulazne, nepročišćene i izlazne, pročišćene otpadne vode. U cilju dobivanja što pouzdanijih rezultata i utvrđivanja utjecaja promjene godišnjih doba (proljeće, ljeto, jesen, zima) korišteni su mjesečni rezultati fizikalnih i kemijskih analiza te razgradljivost otpadnih voda u vremenskom razdoblju od 2008.-2015.godine. U Eksperimentalnom dijelu opisana je metodologija uzorkovanja otpadne vode na uređaju za pročišćavanje otpadne vode grada Vinkovaca „Jošine“ i određivanja pojedinog pokazatelja kakvoće otpadne vode. Dobiveni rezultati, odnosno njihove prosječne vrijednosti, raspoređeni su u četiri skupine ovisno o godišnjem dobu u kojem su isti dobiveni. Rezultati su pojašnjeni u poglavlju Rasprava s aspekta utjecaja pojedinog godišnjeg doba na učinkovitost pročišćavanja otpadne vode.

Broj stranica: 92

Broj slika: 43

Broj tablica: 33

Broj literaturnih navoda: 28

Broj priloga: 2

Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: otpadna voda, biološka obrada, učinkovitost, biološka razgradljivost, godišnja doba, Vinkovci

Datum obrane: 03.lipnja 2016.

Stručno povjerenstvo za obranu:

1. **doc. dr. sc. Dajana Gašo-Sokač**
2. **doc. dr. sc. Mirna Habuda-Stanić**
3. **izv. prof. dr. sc. Lidija Tadić**

Rad je pohranjen u:

u Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu (Hrvatske bratske zajednice bb), Gradskoj i sveučilišnoj knjižnici u Osijeku (Europske avenije 24) i Sveučilištu Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku (Trg Sv. Trojstva 3).

BASIC DOCUMENTATION CARD

University Josip Juraj Strossmayer Osijek
Institute Ruđer Bošković, Zagreb
Postgraduate interdisciplinary specialist study
Environmental Protection and Nature Conservation

Spec thesis

Scientific Area: Biotechnical Sciences
Scientific Field: Food Technology

EFFECT OF SEASONAL CHANGES ON THE BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT EFFICIENCY IN THE TOWN OF VINKOVCI

Zorica Kuveždić, *B.Sc.*

Thesis performed at Vinkovački vodovod i kanalizacija d.o.o. Vinkovci
Supervisor: Mirna Habuda-Stanić, PhD, Assistant Professor

Abstract

The aim of this study was to determine the influence of the seasonal variation on the efficiency of biological wastewater treatment in the town of Vinkovci by multi-year follow-up analysis of the quality of untreated and purified wastewater. In order to get more reliable results and to determine the effect of seasonal changes (spring, summer, autumn, winter), in this study the monthly results of physical and chemical analysis, as well as biodegradability of wastewater over the period 2008-2015 were used. In the experimental part describes the methodology of sampling wastewater on Wastewater treatment plant Vinkovci "Jošine" and determining individual quality indicators of wastewater. The results, and their average value, divided into four groups depending on the season in which it obtained. The results are explained in the section Discussion on the Impact of each season on the effectiveness of wastewater treatment.

Number of pages: 92
Number of figures: 43
Number of tables: 33
Number of references: 28
Number of contributions: 2
Original in: Croatian

Key words: wastewater, biological treatment, efficiency, biodegradability, seasonal changes, Vinkovci

Date of the thesis defense: June 3, 2016.

Reviewers:

1. Dajana Gašo-Sokač, PhD, Assistant Professor
2. Mirna Habuda-Stanić, PhD, Assistant Professor
3. Lidija Tadić, PhD, Associate Professor

Thesis deposited in:

National and University Library in Zagreb (Hrvatske bratske zajednice 4); City and University Library in Osijek (Europske avenije 24); Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, (Trg Sv. Trojstva 3).

Tema rada prihvaćena je na 7. sjednici Sveučilišnog vijeća za sveučilišne poslijediplomske interdisciplinarne (specijalističke) studije održanoj, dana 29. rujna 2014.

ZAHVALA

Najiskrenije se zahvaljujem mentorici doc. dr. sc. Mirni Habuda-Stanić na beskrajnoj strpljivosti, pomoći, savjetima i aktivnom sudjelovanju u nastajanju ovog rada, od ideje pa sve do završne faze izrade rada.

Veliko hvala suprugu Dariu, djeci Matiji, Ivanu i Marinu te članovima obitelji bez čije stalne podrške i pomoći ovaj rad nikada ne bi bio završen.

Hvala i mom dragom prijatelju i kumu Hrvoju na nesebičnoj pomoći pri izradi rada.

SADRŽAJ:

UVOD	1
OPĆI DIO	4
2.1. ONEČIŠĆENJE VODA	5
2.2. OTPADNE VODE	6
2.2.1. Kućanske otpadne vode i kanalizacijski sustavi	6
2.2.2. Industrijske otpadne vode	8
2.2.3. Oborinske vode	8
2.2.4. Rashladne vode	8
2.3. ZNAČAJKE OTPADNIH VODA	9
2.3.1. Količine otpadnih voda	9
2.3.2. Sastav komunalnih otpadnih voda	10
2.4. POKAZATELJI KAKVOĆE VODE	12
2.4.1. Kisik	13
2.4.2. Hranjive tvari	14
2.4.3. Dušik i njegovi spojevi	14
2.4.4. Fosfor	15
2.5. PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA	17
2.5.1. Stupnjevi pročišćavanja otpadnih voda	17
2.5.1.1. Prethodni ili preliminarni stupanj pročišćavanja otpadnih voda	17
2.5.1.2. Prvi stupanj pročišćavanja otpadnih voda	18
2.5.1.3. Dugi stupanj pročišćavanja otpadnih voda	18
2.5.1.4. Treći stupanj pročišćavanja otpadnih voda	19
2.5.2. Biološki procesi trećeg stupnja pročišćavanja otpadnih voda	19
2.5.3. Kemijski procesi trećeg stupnja pročišćavanja otpadnih voda	20
2.5.4. Fizikalni procesi trećeg stupnja pročišćavanja otpadnih voda	21
2.6. UREĐAJ ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA GRADA VINKOVACA „JOŠINE“	23
2.6.1. Retencijski bazen	24
2.6.2. Ulazna crpna stanica	24
2.6.3. Ulazni Venturijev kanal	25
2.6.4. Objekt rešetki	26
2.6.5. Pjeskolov/mastolov	27
2.6.6. Kontaktni bazen	28
2.6.7. Aeracijski bazeni s puhalima	29
2.6.8. Sekundarni taložnik	30

2.6.9.	Crpna stanica za mulj	31
2.6.10.	Ispust u Venturijev kanal.....	32
2.6.11.	Ugušćivač mulja.....	33
2.6.12.	Objekt dehidracije mulja s odlagalištem mulja	33
2.6.13.	Recipijent pročišćene otpadne vode - rijeka Bosut	35
EKSPERIMENTALNI DIO	36	
3.1. FIZIKALNI POKAZATELJI KAKVOĆE OTPADNIH VODA.....	38	
3.1.1.	pH vrijednost.....	38
3.1.2.	Otopljeni kisik u vodi	39
3.1.3.	Taloživa tvar.....	40
3.1.4.	Volumen istaloženog mulja	40
3.1.5.	Brzina taloženja	40
3.1.6.	Suha tvar.....	41
3.1.7.	Suspendirana tvar	41
3.1.8.	Temperatura	42
3.1.9.	Boja i miris	42
3.2. KEMIJSKI POKAZATELJI KAKVOĆE OTPADNIH VODA	42	
3.2.1.	Kemijska potrošnja kisika (KPKCr)	42
3.2.2.	Biološka potrošnja kisika kroz 5 dana (BPK5).....	44
3.2.3.	Amonijak	45
3.2.4.	Nitrati	45
3.2.5.	Ukupni dušik	45
3.2.6.	Ukupni fosfor.....	46
REZULTATI.....	47	
4.1. PROSJEČNE MJESEČNE VRIJEDNOSTI FIZIKALNIH I KEMIJSKIH PARAMETARA	48	
4.2. PROSJEČNE VRIJEDNOSTI DOTOKA, pH, BPK₅, KPK_{Cr}, AMONIJAKA I UKUPNOG FOSFORA NA UPOV „JOŠINE“	56	
4.3. UTJECAJ PROMJENE GODIŠNJIH DOBA NA KAKVOĆU ULAZNE I IZLAZNE OTPADNE VODE	67	
4.4. UTJECAJ PROMJENE GODIŠNJIH DOBA NA BIOLOŠKU RAZGRADLJIVOST ULAZNE I IZLAZNE OTPADNE VODE	72	
RASPRAVA	74	
5.1.	Fizikalno-kemijski pokazatelji kvalitete otpadne vode	75
5.2.	Osvrt na prosječne vrijednosti fizikalno-kemijskih analiza tijekom pojedinih godišnjih doba.....	79
ZAKLJUČCI	81	
LITERATURA.....	84	

PRILOZI	88
ŽIVOTOPIS	91

UVOD

Ekološki trendovi u svijetu, kao i načela održivog razvitka, bezuvjetno inzistiraju na pročišćavanju otpadnih voda jer su one značajni dio hidrološkog ciklusa pri čemu se teži da se vode nakon uporabe u okoliš, odnosno prirodni recipijent, vraćaju u što manje zagađenom stanju (Henze i sur., 2002; Tušar, 2004; Tušar, 2009).

Grad Vinkovci od davne 1957. godine posjeduju kanalizacijski sustav kojim se prikupljaju otpadne vode, a koje se od 2005. godine prije ispuštanja u rijeku Bosut, biološkom obradom pročišćavaju na novoizgrađenom uređaju za pročišćavanje otpadnih voda. Grad Vinkovci ima oko 38.000 stanovnika, a procjenjuje se da je oko 89% kućanstava priključeno na javni vodoopskrbni i kanalizacijski sustav. Dnevno se u pogonu tvrtke „Vinkovački vodovod i kanalizacija“ d.o.o. pročišćava prosječno 9.650 m³ otpadnih voda koje uglavnom potječu iz kućanstava i javnih tvrtki te, u manjoj mjeri, iz industrije.

Proces pročišćavanja otpadnih voda grada Vinkovaca sastoji se od dvije faze:

- a) mehaničkog i biološkog pročišćavanja koje se odvija uz produženu aeraciju i uklanjanje spojeva dušika i ugljika te
- b) aerobne stabilizacije aktivnog mulja.

Proces obrade otpadne vode završava dehidratacijom i odvozom suvišnog mulja na deponiju (Kuveždić i sur., 2011).

Biološka obrada otpadne vode odvija se u aeracijskim bazenima djelovanjem mješovite populacije mikroorganizama, a učinkovitost obrade otpadnih voda ovisi o nekoliko ključnih čimbenika i to prije svega o omjeru kisika i ugljičnog dioksida, temperaturi, pH vrijednosti, osmotskom tlaku te vrsti i koncentraciji hranjivih supstrata u otpadnoj vodi (Henze i sur., 2002; Wery i sur., 2008; Tušar, 2009). Može se reći da je uređaj za biološku obradu otpadnih voda konstruirani ekosustav, koji oponaša procese samoobnavljanja i samopročišćavanja vodenih ekosustava u prirodi, a koji je konstantno izložen ekstremnim okolišnim uvjetima (Sperling i Chernicharo, 2005; Kato i sur., 2013; Kauppinen i sur., 2014). Naime, ovisno o godišnjem dobu mješovita populacija mikroorganizama aktivnog mulja, koja razgrađuje najveći dio tvari otpadne vode, posjeduje različitu aktivnost jer je jedan od važnijih čimbenika brzine rasta mikroorganizama temperatura medija, a s obzirom na to da se aerobno biološko pročišćavanje vode odvija na otvorenom prostoru (Sperling i Chernicharo, 2005). Iako je svaka mikrobna populacija aktivnog mulja na uređaju za pročišćavanje otpadne vode zapravo jedinstven ekosustav, poznato je da se optimalne temperature za njihov intenzivan rast kreću oko 37°C. Osim toga temperaturne oscilacije tijekom

godine značajno utječu i na koncentraciju otopljenog kisika u vodi koji je, također jedan od važnijih čimbenika učinkovitosti obrade otpadne vode (Tušar, 2009).

Više znanstvenih studija provedenih tijekom prošlog desetljeća zabilježile su povezanost sezonskih klimatskih uvjeta i učinka pojedinih metoda pročišćavanja otpadnih voda, a naročito značajan utjecaj temperaturnih oscilacija tijekom kalendarske godine uočen je na djelovanje mikrobne populacije koja razgrađuje nečistoće u otpadnim vodama (Jones i Schuler, 2010; Krzeminski i sur., 2012; Kim, 2014; Sari i sur., 2014; Sun i sur., 2014).

Cilj ovog rada bio je istražiti i utvrditi utjecaj godišnjih doba, odnosno temperaturnih oscilacija tijekom godišnjih doba na području istočne Hrvatske, odnosno grada Vinkovaca, na učinkovitost biološkog pročišćavanja otpadne vode grada Vinkovaca, kao i na ukupnu biološku razgradivost otpadnih voda grada Vinkovaca.

OPĆI DIO

2.1. ONEČIŠĆENJE VODA

Onečišćenje voda je izravno ili neizravno unošenje tvari ili topline u vodu izazvano ljudskom djelatnošću koje često ima štetno djelovanje na ljudsko zdravlje te kakvoću vodenih ili kopnenih ekosustava izravno ovisnih o vodenim ekosustavima. Onečišćenje voda može uzrokovati oštećenja materijalne imovine, remeti značajke okoliša, zaštićene prirodne vrijednosti ili utječe na druge pravovaljane oblike korištenja okoliša.

Izvori onečišćenja vodnih resursa su brojni, a najznačajniji su:

- naselja i njihove komunalne ili kućanske otpadne i oborinske vode
- industrijska područja i njihove tehnološke vode, sanitarne otpadne vode i oborinske vode
- stočarska proizvodnja i stočarske farme, odnosno životinjski otpad
- poljoprivredne površine

Onečišćenje komunalnih otpadnih voda uzrokuju:

- veliki predmeti: uzrokuju tzv. estetsko onečišćenje, odnosno promjene estetskih značajki voda,
- pijesak i šljunak: također uzrokuju estetsko onečišćenje vode,
- ulja i masnoće: plivaju na površini vode stvarajući neuglednu sliku vode, odnosno estetsko onečišćenje. Masnoće na površini vode sprečavaju otapanje kisika iz zraka u vodi i na taj način osiromašuju vodu kisikom ugrožavajući život u vodi,
- suspendirane tvari: uzrokuju zamuljenje vode te sprječavaju prodiranje svjetla u vodu i na taj način ograničavaju procese fotosinteze i razvoj algi, kao i antibakterijsko djelovanje svjetla na patogene organizme,
- organske tvari: u vodnim se resursima razgrađuju trošeći kisik iz vode i tako ugrožavaju žive organizme u vodi koji za život trebaju kisik,
- hranjive tvari – dušik i fosfor (N, P): razgrađuju se i troše kisik iz vode. Uz to hranjive tvari procesima fotosinteze uzrokuju bujanje algi i biljaka u vodi i tako uzrokuju eutrofikaciju, odnosno proces pretvaranja vodne cjeline u močvaru,
- patogeni organizmi: uzrokuju oboljenja ljudi i tako ugrožavaju njihovo zdravlje,

- otrovne tvari: djeluju toksično na žive organizme i čovjeka (Margeta, 2006).

2.2. OTPADNE VODE

Otpadne tvari koje se pojavljuju u tekućem obliku nazivaju se otpadnim vodama, a s obzirom na porijeklo, odnosno mjestu nastanka, otpadne vode u naseljima dijelimo na:

- kućanske otpadne vode
- industrijske otpadne vode
- oborinske vode
- rashladne vode.

Sve navedene otpadne vode, pročišćene i nepročišćene, u konačnici završavaju u vodnim sustavima putem takozvanih „točkastih“ ili „raspršenih“ ispusta (Tedeschi, 1997).

2.2.1. Kućanske otpadne vode i kanalizacijski sustavi

Najveće količine otpadnih voda naselja čine kućanske otpadne vode. U naseljima bez industrijskih pogona, kao što je većina malih naselja, uz oborinske vode, to su ujedno i jedine otpadne vode.

Izvori onečišćenja gdje nastaju kućanske otpadne vode su:

- sanitarni uređaji (fekalije, mokraćna, papir),
- pranje i kupanje (voda iz kada, tuševa, strojeva za pranje rublja),
- kuhinja (otpadci hrane i slično).

Upotrijebljene vode iz kućanskih uređaja i izljevnih mjesta otječu prvo kućnom kanalizacijom, a zatim se ispuštaju u komunalnu kanalizacijsku mrežu kojom otječu do uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.

Sustavi odvodnje prema načinu prihvaćanja i odvodnje otpadnih voda mogu biti :

- mješoviti,
- razdjelni
 - potpuno razdjelni
 - nepotpuno razdjelni
- Polurazdjelni sustav odvodnje i
- Kombinirani sustav odvodnje.

Mješoviti sustav odvodnje je sustav kod kojeg se sve skupine otpadnih voda odvede istim (zajedničkim) kanalima ili kolektorima.

Potpuno razdjelni sustav izvodi se s dvije odvojene kanalske mreže od kojih jedna služi za odvodnju oborinskih voda, a druga za kućanske i industrijske otpadne vode.

Nepotpuno razdjelni sustav je namijenjen za odvodnju samo kućanskih i zagađenih industrijskih otpadnih voda. Oborinske i uvjetno čiste industrijske otpadne vode odvede se izravno u prijemnik na najjednostavniji način putem jaraka i otvorenih kanala.

Polurazdjelni sustav odvodnje se također sastoji od odvojenih kanalskih mreža, kao i potpuno razdjelni sustav, ali je razlika u tome što su na oborinskim kanalima izvedeni razdjelni kišni preljevi kojima se voda od pranja ulica i oborina malog intenziteta automatski vode u kanalsku mrežu industrijsko-kućanske odvodnje i pripadnim kolektorom odvede prema uređaju za pročišćavanje .

Kombinirani sustav odvodnje najčešće nastaje kao rezultat širenja gradova kada se u starijem dijelu grada zadrži mješoviti sustav, dok se u novijem dijelu izvodi razdjelni sustav.

Razdjelni sustav kanalizacije ima odgovarajućih prednosti pred mješovitim sustavom glede rada uređaja za pročišćavanje. Dotoci na uređaj su jednolični, i to kako sa stajališta varijacija količina, tako i u pogledu ujednačenijih karakteristika (sastava) otpadnih voda. Izostaju velike varijacije sušno/kišno razdoblje, a koje su prisutne kod mješovitog sustava i iziskuju (i pored primjene kišnih rasterećenja) odgovarajuće dopunske objekte za usklađivanje procesa pročišćavanja u kišnom periodu (dodatne taložnice, retencijske bazene i dr.).

Danas se isključivo preporučuju izgradnja razdjelnog sustava kanalizacije, no u naseljima gdje je kanalizacija već izgrađena, pri projektiranju uređaja treba računati na ulaznu kakvoću vode koja nastaje u mješovitoj kanalizaciji, odnosno na količine i utjecaj oborinskih voda na učinkovitost obrade otpadne vode. To znači da se uređaji za pročišćavanje otpadnih voda moraju planirati i projektirati za dva režima rada: sušni i kišni (Margeta, 2006; Tušar, 2009).

2.2.2. Industrijske otpadne vode

Industrijske otpadne vode u naseljima mogu biti vrlo različite shodno tehnologiji koju industrija koristi u tehnološkom proizvodnom procesu. Razlikujemo dvije vrste otpadnih voda iz industrijskih pogona: sanitarne i tehnološke.

Sanitarne otpadne vode su slične kućanskim otpadnim vodama koje nastaju kao rezultat boravka radnika u proizvodnoj sredini, dok tehnološke otpadne vode se uvjetno mogu priključiti na komunalni kanalizacijski sustav. Priključak je moguć i dozvoljen samo ako je kakvoća otpadnih voda jednaka ili bolja od kakvoće komunalnih otpadnih voda, što se propisuje Pravilnikom o graničnim vrijednostima pokazatelja, opasnih i drugih tvari u otpadnim vodama (NN 80/2013; NN 43/2014; NN 27/2015). Uz to je važno da tehnološke otpadne vode ne preopterećuju uređaj za pročišćavanje otpadnih voda i nemaju štetan utjecaj na biocenu uređaja.

2.2.3. Oborinske vode

Za oborinske vode vrijedi da su iste uvjetno otpadne vode jer njihovo onečišćenje je uglavnom prouzročeno prirodnim onečišćenjem sliva. Međutim, utvrđeno je da i uslijed sve većeg onečišćenja atmosfere i onečišćenja urbanih sredina, a naročito u industrijskim područjima i područjima u blizini prometnica, oborinske vode čine značajne izvore onečišćenja. Onečišćenju oborinskih voda značajno doprinosi i njihov kontakt s poljoprivrednim površinama jer se danas u poljoprivredi pojačano primjenjuju umjetna gnojiva i različite vrste pesticida i herbicida pa se navedeni spojevi mogu tijekom godine, kada su intenzivni poljoprivredni radovi, u oborinskim vodama naći u značajnim količinama (Tedeschi, 1997).

2.2.4. Rashladne vode

Rashladne vode također se ubrajaju u otpadne vode iako njih ne karakteriziraju povećane koncentracije organskih i/ili štetnih tvari. Rashladne vode nastaju u industrijskim ili energetske postrojenjima gdje se voda prije uporabe određenim tehnološkim postupkom pročišćava te se koristi za hlađenje određenog postrojenja, odnosno za odvođenje viška topline, a pri čemu se te vode toplinski onečišćuju. Toplinsko onečišćenje mijenja fizikalno-kemijske karakteristike vode kao što su

gustoća, kinetička viskoznost, površinska napetost, topivost i difuznost kisika što u konačnici utječe i karakteristike vodne cjeline u koju se toplinski onečišćena voda ispušta (Tedeschi, 1997; Margeta, 2006).

2.3. ZNAČAJKE OTPADNIH VODA

2.3.1. Količine otpadnih voda

Količine otpadnih voda značajno variraju tijekom kalendarske godine uslijed različite količine padalina tijekom pojedinog godišnjeg doba. Značajne promjene u količini otpadnih voda tijekom godine bilježe i turistička naselja u kojima se tijekom turističke sezone broj stanovnika, a time i količina nastale opadne vode često udvostruči, što naročito treba imati u vidu pri odabiru i projektiranju uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Uređaji s kratkim vremenom zadržavanja vode hidraulički se dimenzioniraju na vršne protoke, a uređaji sa dugim vremenom zadržavanja (više dana) na srednje dnevne protoke otpadnih voda (lagune).

Hidrauličko dimenzioniranje uređaja zahtjeva poznavanje režima dotjecanja otpadnih voda na uređaj u svim razdobljima rada: dnevnim, mjesečnim, sezonskim, kišnim i sušnim (Margeta, 2006).

U slučaju razdjelne kanalizacije, koja je uobičajena kod manjih naselja, jer se oborinska kanalizacija u pravilu i ne gradi, dotok voda na uređaj u kišnom razdoblju može se povećati i do 50 % vrijednosti srednjih dnevnih protoka otpadnih voda.

Kod mješovite kanalizacije količine koje dotječu na uređaj se nastoje ograničiti u cilju racionalizacije izgradnje i troškova pogona uređaja. To znači da se mješovite vode prije uređaja moraju zadržavati, odnosno retencirati, ili prelijevati. Prelijevanje takovih voda predstavlja preljev razrijeđenih otpadnih voda pri čemu može doći i do ispuštanja patogenih mikroorganizama u okoliš. Uslijed navedenog, kod manjih naselja te pri izgradnji novih kanalizacijskih sustava treba planirati razdjelnu kanalizaciju (Margeta, 2006; Tušar, 2009).

2.3.2. Sastav komunalnih otpadnih voda

Sastav komunalnih otpadnih voda ovisi o veličini mjesta te, ukoliko postoji, vrsti industrije koja ispušta svoje otpadne vode u kanalizacijski sustav. Obavezni sastojci komunalnih otpadnih voda su ugljik (prosječni udio 94 %), dušik (prosječni udio 5 %) te fosfor (prosječni udio 1 %). Navedeni sastav upravo i omogućuje biološke procese pročišćavanja otpadne vode jer ukoliko u vodi nema npr. dovoljno dušika, tada iz vode nije moguće izdvajati niti ugljik.

Količine ugljika u otpadnim vodama se mogu izraziti kao:

- BPK₅ – biološka potrošnja kisika
- KPK_{Cr} – kemijska potrošnja kisika
- TOC – ukupni ugljik
- DOC – organski ugljik

U praksi se količina ugljika u otpadnoj vodi najčešće izražava indirektno, kao BPK₅ vrijednost, odnosno kao biološka potrošnja kisika kroz pet dana.

Količinu dušika u otpadnoj vodi se može izraziti kao:

- N_{uk} – ukupni dušik (100 %)
- NH₄-N – amonijum ion (70-80 %)
- NH₃-N – amonijak ion
- NO₃-N – nitratni ion
- NO₂-N – nitritni ion

Dušik se u otpadnoj vodi najčešće nalazi u obliku amonijaka (NH₄), a najveće koncentracije amonijaka zabilježene su u vodama koje se nalaze u cijevima kroz koje otpadna voda dolazi na uređaj za pročišćavanje otpadne vode.

Količina fosfora u otpadnim vodama se može izraziti kao:

- P_{uk} – ukupni fosfor
- PO₄-P – ortofosfati

a u vodu dospijeva putem fekalija (približno 65 %) ili potječe iz detergenata koji se koriste u domaćinstvu (približno 35 %).

Prosječna koncentracija otpadnih tvari za mješovitu kanalizaciju prikazana je u tablici 1 (Tedeschi, 1997; Margeta, 2006). Iz podataka prikazanih u navedenoj tablici je

vidljivo da sastav otpadne vode varira ovisno o količini potrošene vode u domaćinstvima te količini otpada koji se odlaže u otpadne vode.

Dobivanje pouzdanih vrijednosti raspona pojedinih pokazatelja kakvoće otpadnih voda je često teško i nepouzđano zbog čega se mjerodavne veličine za dimenzioniranje uređaja određuju indirektno preko prosječnog opterećenja koje generira ekvivalent stanovnika – prosječni stanovnik (ES), a što naročito vrijedi za manja naselja.

Tablica 1. Prosječna koncentracija otpadnih tvari za mješovitu kanalizaciju (Tedeschi, 1997; Margeta, 2006)

Pokazatelj	Veličina
Količina otpadnih voda, Qm	50-250 l/stan/dan
Ukupne krutine	300-1000 mg/l
Raspršene tvari	35-2000 mg/l
Biološka potrošnja kisika, BPK ₅	10-470 mg/l
Ukupni dušik	1,0-16,5 mg/l
Organski dušik	8-35 mg/l
Amonijakalni dušik, N-NH ₃	12-50 mg/l
Ukupni fosfor	0,9-15 mg/l
Organski fosfor	1-5 mg/l
Anorganski fosfor	4-10 mg/l
Bakterija	
- ukupni koliformi	4,2x10 ⁶ – 5,8x10 ⁷ /100 ml
- fekalni koliformi	2,42x10 ⁶ – 5,04x10 ⁷ /100 ml
Kloridi	30-100 mg/l
Sulfati	20-50 mg/l

Ekvivalent stanovnik (ES) označava vrijednost onečišćenja vode po stanovniku tijekom 24 sata (1 dan, d), a koristi se pri projektiranju komunalne infrastrukture i označava jedinicu opterećenja koja se primjenjuje u izražavanju kapaciteta uređaja za pročišćavanje otpadnih voda ili opterećenja vodotoka. Izražava se kao:

- vrijednost utroška vode = ES_{voda}
- organsko opterećenje – biološka potrošnja kisika (BPK₅) = ES_{BPK}
- kemijska potrošnja kisika (KPK_{Cr}) = ES_{KPK}
- suspendirane čestice = ES_{suspendirane čestice}

- ukupni dušik (N) = $ES_{\text{ukupni N}}$
- ukupni fosfor (P) = $ES_{\text{ukupni P}}$

Pri projektiranju najčešće se koriste procjene Njemačkog udruženja za vode, otpadne vode i otpad (SWA-ATV) prema kojem prosječno zagađenje koje stvara pojedini stanovnik iznosi:

* potrošnja vode: $1 ES_{\text{voda}} = 0,2 \text{ m}^3/\text{d}$

* količina organskih tvari $1 ES_{\text{BPK}} = 60 \text{ g/d}$

* kemijska potrošnja kisika $1 ES_{\text{KPK}} = 120 \text{ g/d}$

* količina suspendiranih čestica $1 ES_{\text{suspendirane čestice}} = 70 \text{ g/d}$

* količinom ukupnog dušika (N) $1 ES_{\text{ukupni N}} = 11 \text{ g/d}$

* količinom ukupnog fosfora (P) $1 ES_{\text{ukupni P}} = 2,5 \text{ g/d}$

Od svih navedenih parametara, u praksi se najčešće se koriste ES_{voda} i ES_{BPK} pri čemu treba imati i na umu da kod pojedinih slučajeva dolazi do značajnih oscilacija u broju populacije koja koristi kanalizacijsku infrastrukturu tijekom kalendarske godine. Zbog toga je važno poznavati vrijednost parametra specifične količine otpadne vode ($q_{k, \text{stan}}$) koji se računa množenjem teorijske potrošnje vode po ES ($0,2 \text{ m}^3/\text{d}$) s određenim koeficijentom umanjavanja ili uvećavanja "k". Koeficijent uvećavanja je $k > 1$ u slučaju kada su na kanalizacijski sustav, a time i na uređaj za pročišćavanje otpadne vode spojeni hoteli, auto-kampovi (procjenjuje se da jedan turist prosječno troši $0,3 \text{ m}^3/\text{d}$, $k=1,5$) ili se, na primjer, radi o turističkom naselju s oscilacijom ukupnog broja stanovnika tijekom godine. Koeficijent umanjavanja je $k < 1$ u slučaju kada dio vode iz vodoopskrbnog sustava ne odlazi u kanalizaciju (npr. zalijevanje vrtova, gubici u vodovodnoj mreži). Ove namjene iznose u prosjeku od 10 % ($k=0,9$) do 15 % ukupne dnevne potrošnje vode, što ovisi o karakteru naselja i održavanju vodoopskrbnih objekata.

2.4. POKAZATELJI KAKVOĆE VODE

Nekoliko je najznačajnijih pokazatelja kakvoće otpadne vode o čijim vrijednostima prije svega ovisi i učinak svakog primijenjenog postupka obrade otpadne vode, a to su koncentracija kisika i koncentracija hranjivih tvari, prije svega dušika i fosfora.

2.4.1. Kisik

Kisik u vodi dolazi putem dvije reakcije i to procesom fotosinteze koju obavljaju autotrofne biljke te procesom otapanja kisika iz atmosfere. Količina otopljenog kisika iz atmosfere ovisi o parcijalnom tlaku i temperaturi. Porastom temperature u vodi smanjuje se količina kisika. Biološki procesi fotosinteze i disanja također utječu na koncentraciju otopljenog kisika u vodi jer se fotosintezom troši ugljični dioksid pri čemu nastaje kisik, dok se noću procesom disanja kisik troši te se smanjuje njegova koncentracija u vodi, a povećava se koncentracija otopljenog CO₂. Osim navedenih procesa, na koncentraciju kisika u vodi utječu procesi truljenja organske tvari.

Nedostatak kisika u vodi može višestruko štetno djelovati na opće stanje vodenog sustava jer anoksični uvjeti pogoduju nakupljanju organskih tvari i razvoju saprofitnih organizama. Dugotrajni nedostatak kisika, odnosno smanjenje koncentracije kisika u vodi ograničava aktivnosti organizama, smanjuje mogućnost iskorištavanja hrane i smanjuje opću otpornost ekosustava prema ostalim nepovoljnim čimbenicima sredine što je naročito uočljivo kod voda stajaćica koje su posebno osjetljive i nedostatak kisika se brzo uočava pomorom riba (Tedeschi, 1997; Sincero i Sincero, 2003; Tušar, 2009).

Postoje godišnje i dnevne varijacije koncentracije kisika u prirodnim vodama. Godišnje oscilacije ovise o parcijalnom tlaku i temperaturi vode u pojedinom periodu godine, dok dnevne varijacije kisika ovise o dijelu dana pa tako u ljetnim mjesecima, za vrijeme procesa disanja, kao i razgradnje organske tvari, pred jutro može doći do nestašice kisika. Određivanje količine kisika u vodi (mgO₂/l) je vrlo važan pokazatelj ekološkog stanja kopnenih voda pomoću kojeg se može odrediti ili procijeniti stupanj oksidacije otpadnih tvari, pogodnost vode za život vodenih organizama te stupanj samopročišćavanja (autopurifikacije). Vodeni organizmi vrlo brzo troše otopljeni kisik, u bližem prostoru, a nove količine kisika vrlo sporo difundiraju prema prostoru deficitarnom u otopljenom kisiku. Koncentraciju kisika u vodi možemo odrediti kao kemijsku potrošnju kisika (KPK_{Cr}) i biokemijsku potrošnju kisika (BPK₅). BPK₅ je biološki potreban kisik, odnosno, količina kisika u mg/l koja se utroši za biokemijske procese tijekom 5 dana (Tedeschi, 1997; Sincero i Sincero, 2003; Tušar, 2009).

Određivanje BPK₅ vrijednosti se provodi tako da se odredi trenutna količina otopljenog kisika i količina otopljenog kisika preostala nakon nekog vremena (najčešće 5 dana držano na 20°C). Dobivena razlika pokazuje količinu kisika potrebnu za odvijanje biokemijskih procesa. Kemijska potrošnja kisika predstavlja

kemijsku reakciju u kojoj je količina utrošenog kisika ekvivalentna količini otopljene organske tvari koja je podložna oksidaciji jakim kemijskim oksidansom. Kemijskom potrošnjom se utvrđuje količina kisika potrebna za oksidaciju tvari prisutnih u vodi. Jedna od najčešće korištenih metoda za određivanje relativne količine otopljene organske tvari u vodi je određivanje potrošnje kisika titracijom s kalijevim permanganatom (KMnO_4) ili određivanje permanganatnog broja. Količina utrošenog KMnO_4 ovisi o količini otopljenih organskih tvari u vodi, kao i kemijskoj strukturi tih tvari. Utvrđivanje utroška KMnO_4 služi kao indikator organskog onečišćenja jer pokazuje količine organskih spojeva u vodi (Tedeschi, 1997; Sincero i Sincero, 2003; Tušar, 2009).

2.4.2. Hranjive tvari

U vodi se nalaze mnogi elementi zastupljeni u malim količinama, zbog čega mogu biti limitirajući faktori u produktivnosti vodenog ekosustava, a najznačajniji među njima su fosfor i dušik koji u vodi moraju biti u ionskom obliku kako bi ih mogli iskoristiti biljni organizmi. Određena količina dušika i fosfora neprestano kruži u vodenom ekosustavu djelovanjem bioloških i fizikalno-kemijskih čimbenika sredine. Dušik i fosfor, kao najvažniji organogeni elementi, neophodni su za razvoj bilja i životinja. Zato je njihova pojava u ekosustavu i poželjna, ali do određene granice jer previsoke koncentracije dušika i fosfora ukazuju na određeno zagađenje vode koje može pogoršati kemijsku kakvoću vode te uzrokovati eutrofikaciju vodenog sustava (Tedeschi, 1997; Sincero i Sincero, 2003; Tušar, 2009).

2.4.3. Dušik i njegovi spojevi

Dušik se u vodama pojavljuje u različitim oblicima i to u obliku nitrata, nitrita, amonijaka i organski vezanog dušika, a zbroj količine nitrata i nitrita čini ukupni oksidirani dušik. Svi navedeni kemijski spojevi u kojima se pojavljuje dušik, kao i elementarni dušik (N_2) u plinovitom stanju, sastavni su dijelovi ciklusa dušika i biokemijskim procesima se mogu prevesti iz jednog oblika u drugi. Dušik i njegovi spojevi u vodi rezultat su aktivnosti bakterija, modrozelenih algi i nekih gljiva, jer se dušik iz atmosfere vrlo slabo otapa u vodi. Najveći dio dušika se u vodi nalazi vezan za bjelančevine, aminokiseline i dr., dok je manji dio vezan anorganski, kao amonijakalni, nitritni i nitratni dušik. Općenito, u prirodnim vodama količine dušičnih

spojeva jako variraju i kreću se od nekoliko desetinki do nekoliko miligrama po litri vode. Dušik se u vodi nalazi u obliku iona amonijaka i nitrata. Nitriti su nepostojani međuproizvod razgradnje bjelančevina kojeg nema u čistim vodama. Nakupljaju se u većim količinama samo u jako zagađenim vodama. Dušik je glavna hranjiva tvar biljkama te ih biljke ugrađuju i pohranjuju u organskom obliku u vegetaciju. Veliki dio tako pohranjenog dušika može se kasnije otpustiti i iskoristiti kada biljke uginu i razgrade se (Tedeschi, 1997; Sincero i Sincero, 2003; Tušar, 2009).

Dušik se u obliku nitrata pojavljuje kao prijelazno stanje u biološkoj razgradnji spojeva koji sadrže organski dušik. Bakterije u aerobnim uvjetima prevode amonijak u nitrite, a u anaerobnim uvjetima nitriti mogu nastati i bakteriološkom redukcijom nitrata. Budući da se lako oksidiraju u nitrate, nitriti se vrlo rijetko pojavljuju u površinskim vodama. Prisutnost povećanih koncentracija nitrata u ispitivanoj vodi ukazuje na djelomičnu razgradnju ili svježije zagađenje vodne cjeline organskim tvarima.

Nitrati (NO_3) su topljivi u vodi i imaju veliku primjenu u poljoprivrednoj proizvodnji gdje se primjenjuju kao hranjiva, a odakle mogu dospjeti u površinske i podzemne vode te doprinijeti eutrofikaciji vodenog sustava. Povećane koncentracije nitrata u vodi mogu uzrokovati trovanje nitratima životinjskih vrsta i pojavu tzv. methemoglobinemije koja nastaje uslijed redukcije željeza u hemoglobinu i smanjenja koncentracije kisika u krvi. Pojava methemoglobinemije naročito je zabilježena među vodozemcima, a može doprinijeti padu biološke raznolikosti ovih vrsta. Nitrati su esencijalne mineralne tvari za fotosintetske autotrofne organizme, a u nekim slučajevima može biti i ograničavajući faktor rasta (Tedeschi, 1997; Sincero i Sincero, 2003; Tušar, 2009).

Denitrifikacija je proces prevođenja nitrata u plinoviti dušik djelovanjem mikroorganizama. Proces se može provoditi pri anaerobnim ili anoksičnim uvjetima a ovisi o koncentraciji ugljika, nitrata ali i o drugim čimbenicima kao što su temperatura, pH vrijednost vodenog okoliša, prisutnost kisika, prisutnost hranjivih sastojaka te alkalitet vodenog okoliša. Biološki proces denitrifikacije je proces suprotan od pohranjivanja dušika u vegetaciju i tlo pri kojem se u potpunosti uklanja anorganski dušik (Tedeschi, 1997; Sincero i Sincero, 2003; Tušar, 2009).

2.4.4. Fosfor

Fosfor (P) je jedan od važnih biogenih elemenata i neophodan je biljkama jer zajedno s dušikom ulazi u sastav biljnih bjelančevina. Fosfor je također važan element za rast i razvoj biljaka. U većini vodenih ekosustava, fosfor je ograničavajući faktor, što znači

da ima izravan utjecaj na rast biljaka i algi u vodenim sustavima i što je veća koncentracija fosfora veća je produkcija biljaka i algi.

Fosfor potječe iz različitih izvora od kojih su mnogi vezani uz ljudske djelatnosti (erozija tla, detergentski, sustavi odvodnje, odvodnja s poljoprivrednih zemljišta i umjetnih travnjaka). Važnost fosfora je u tome što ulazi u sastav biljnih bjelančevina, a u vodama se pojavljuje u obliku soli fosforne kiseline ili vezan u organskim spojevima. Odumiranjem i mineralizacijom bilja, dio fosfora vraća se ponovno u vodu, dio ostaje vezan a tlu, a značajni dio se akumulira u živim organizmima i na taj način isključuje iz ciklusa kruženja fosfora (Tedeschi, 1997; Sincero i Sincero, 2003; Tušar, 2009).

Potrošnja fosfora iz otpadnog mulja nastalog u procesu pročišćavanja otpadne vode u tlu ovisi o fizikalno-kemijskim karakteristikama mulja: veličini čestica (sitnije čestice uslijed ukupno veće površine imaju veću moć apsorpcije), količini mineralnih i organskih koloida i reakciji mulja (kisela tla jače vežu fosfor). U kružnom ciklusu fosfora, veliku ulogu igraju mikroorganizmi, koji omogućuju prijelaz fosfora iz netopivih u topive spojeve i prijelaz organski vezanog fosfora u anorganski oblik. Fosfor se u prirodnim i otpadnim vodama nalazi uglavnom u obliku fosfata, odnosno ortofosfata, kondenziranih fosfata i organski vezanih fosfata. Fosfati su sastavni dio većine gnojiva koja se primjenjuju u intenzivnoj poljoprivrednoj proizvodnji te u kombinaciji s nitratima, predstavljaju najveći izvor raspršenog onečišćenja. Za razliku od nitrata, fosfati (PO_4^{3-}) nisu topivi u vodi i vežu se u tlo. Fosfor se u vodenim ekosustavima obično određuje na dva načina i to u obliku ortofosfata (mg/l) i ukupnog fosfora (mg/l) (Tedeschi, 1997; Sincero i Sincero, 2003; Tušar, 2009).

Ortofosfati su najvažniji anorganski oblik fosfora u površinskim vodama jer se u tom obliku fosfor akumulira u vegetaciji i tlu, biološki ugrađuje u žive organizme ili kemijski veže u okolišu. Ortofosfati su kemijski aktivni otopljeni oblik fosfora, a koncentracija ortofosfata se tijekom dana i ovisno o vodnom sustavu mijenja. Količinu fosfora moguće je izraziti kao koncentraciju ukupnog fosfora u vodenom sustavu jer se pri tome u obzir uzimaju i ortofosfati i fosfor suspendiran u vodi. Na temelju udjela ukupnog fosfora moguće je definiranje kakvoće i trofičkog stanja vodnog sustava (Tedeschi, 1997; Sincero i Sincero, 2003; Tušar, 2009).

2.5. PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

Pročišćavanje otpadnih voda provodi se primjenom pojedinih fizikalnih, kemijskih, fizikalno-kemijskih te bioloških postupaka i procesa kojima se nastoje iz vode ukloniti određene vrste zagađenja voda te upotrijebljenu otpadnu vodu, u prirodni recipijent ispustiti u stanju kakvoće koja će u najmanjoj mjeri izazvati poremećaj istog u fizikalnom, kemijskom ili biološkom smislu. U praksi se pri tome primjenjuju različiti postupci koji se najčešće svrstavaju u pojedine skupine ovisno o stupnju kakvoće, odnosno učinkovitosti, do kojeg se njihovom primjenom može pročistiti otpadna voda.

2.5.1. Stupnjevi pročišćavanja otpadnih voda

Prema stupnju pročišćavanja postupci koji se provode na uređaju za pročišćavanje otpadne vode se dijele na:

- prethodni ili preliminarni stupanj pročišćavanja
- prvi stupanj pročišćavanja
- drugi stupanj pročišćavanja
- treći stupanj pročišćavanja

Stupnjevi pročišćavanja su određeni odgovarajućim normama-zakonima kao što je EU Direktiva o pročišćavanju voda 91/271/EEC.

2.5.1.1. Prethodni ili preliminarni stupanj pročišćavanja otpadnih voda

Prethodni stupanj pročišćavanja otpadnih voda se u praksi naziva još i mehaničko pročišćavanje otpadne vode koji ima za cilj postići dobre estetske značajke vode i izdvojiti iz vode krupne predmete, pijesak, šljunak, masti i ulja.

Prethodni stupanj pročišćavanja otpadnih provodi se na sljedećim uređajima:

- Rešetka: gruba, srednja i fina na kojima se zadržavaju krutine veće od 6 mm
- Pjeskolov: izdvaja čestice pijeska i druge anorganske lako taložive tvari
- Mastolov: izdvaja masnoće i ulja odnosno tvari manje gustoće od vode.

Uz navedene postupke i uređaje, u praksi se u sklopu prethodnog stupnja mogu još provoditi i postupci usitnjavanja i izjednačavanja. Usitnjavanje se provodi u cilju usitnjavanja krupnijih nečistoća koje bi mogle izazvati zastoje u radu crpki i drugih dijelova uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Postupak izjednačavanja provodi u cilju ublažavanja ili izbjegavanja promjena u dinamici pročišćavanja otpadnih voda uzorkovanih primjenom u sastavu otpadne vode koje uzrokuju npr. velike količine oborinskih voda (Tedeschi, 1997).

2.5.1.2. Prvi stupanj pročišćavanja otpadnih voda

Poslije prethodnog stupnja pročišćavanja slijedi prvi stupanj pročišćavanja otpadnih voda koji se provodi u cilju izdvajanje suspendiranih tvari. Izdvajanje suspendiranih tvari postiže se uz pomoć taložnika koji su uglavnom okrugli ili pravokutni bazeni na način da se otpadna voda zadržava u taložnicima tijekom određenog vremena potrebnog za izdvajanje taloživih suspendiranih otpadnih tvari. Prosječno se tijekom primarnog stupnja obrade otpadne vode izdvoji između 50-70 % suspendirane tvari, dok se vrijednost BPK₅ smanji od 25 do 40 %, ovisno o vremenu zadržavanja. Učinkovitost pročišćavanja, odnosno izdvajanje suspendiranih tvari, kao i smanjenje BPK₅, moguće je postići doziranjem kemikalija i to otopina aluminija ili željeza te vapna pri čemu se taloži od 80-90 % suspendirane tvari, dok se početna vrijednost BPK₅ može smanjiti i 70 % (Margeta, 2006).

2.5.1.3. Dugi stupanj pročišćavanja otpadnih voda

Drugi stupanj pročišćavanja otpadne vode često se naziva i biološko pročišćavanje koje ima za cilj smanjenje količine otopljenih i/ili suspendiranih organskih tvari. Komunalne otpadne vode su biološki razgradive vode zbog čega se uglavnom pročišćavaju na biološkim uređajima kao tradicionalnom i najprihvatljivijem postupku pročišćavanja komunalnih otpadnih voda.

Osnovni proces drugog stupnja pročišćavanja otpadne vode je biološka oksidacija organske tvari prisutne u vodi. Biološka oksidacija se provodi s ciljem prevođenja otopljene organske tvari iz otpadne vode u biomasu mikroorganizama koje je, potom moguće izdvojiti iz vode u naknadnom/sekundarnom taložniku. Pri tome otopljena

organska tvar postaje kruta organska tvar koja je taloživa (Tedeschi, 1997; Tušar, 2009).

Učinkovitost drugog stupnja pročišćavanja otpadne vode se kreće između 70 i 95% u odnosu na BPK₅, 80 i 90 % u odnosu na raspršene tvari i 80 i 98 % u odnosu na koliformne bakterije. U tablici 2 prikazane su značajke drugog stupnja pročišćavanja prema EU Direktivi za pročišćavanje otpadnih voda naselja su (91/271/EEC):

Tablica 2. Maksimalno dozvoljene koncentracije i minimalna razina umanjnja kod drugog stupnja pročišćavanja

Parametar	Koncentracija	Minimalna razina umanjnja
BPK ₅	25 mg/l O ₂	70-90
KPK _{Cr}	125 mg/l O ₂	75
Ukupno suspendirane tvari	35 mg/l	90

2.5.1.4. Treći stupanj pročišćavanja otpadnih voda

Treći stupanj pročišćavanja otpadnih voda provodi se kada je nužan visok stupanj pročišćavanja otpadne vode, odnosno u cilju izdvajanja ili smanjenja količine hranjivih soli dušika i fosfora, odnosno u cilju umanjnja rizika od eutrofikacije voda.

Treći stupanj pročišćavanja otpadnih voda prije svega podrazumijeva izdvajanje dušika i fosfora iz efluenta biološkog uređaja. Postupci trećeg stupnja pročišćavanja otpadnih voda se često i primjenjuju pri pročišćavanju industrijskih otpadnih voda. Pri tome se koriste sljedeći procesi:

- biološki procesi
- kemijski procesi
- fizikalni procesi.

2.5.2. Biološki procesi trećeg stupnja pročišćavanja otpadnih voda

Biološki procesi uklanjanja dušika i fosfora mogu se kombinirati u jedinstvenom postupku. Procesom nitrifikacije (NIT), razgradnje organskih tvari, organski dušik se hidrolizom pretvara u amonijak (NH₃-N) te daljnjom oksidacijom, djelovanjem

bakterija *Nitrosomonas* pretvara u nitrite ($\text{NO}_2\text{-N}$). Nastali nitriti daljnjom oksidacijom bakterijama *Nitrobacter* prelaze u nitrate ($\text{NO}_3\text{-N}$).

Navedeni postupak se odvija u aeracijskom bazenu uz dodatak organske tvari i kisika. Nastali nitrati se biološkim putem razgrađuju u plinoviti amonijak (N_2) koji se oslobađa u atmosferu. Navedeni postupak se naziva denitrifikacija (DEN), a odvija se u anoksičnim bazenima i uz dodatak organskih tvari.

Uz uklanjanje dušika, važan zadatak trećeg stupnja pročišćavanja otpadne vode je i uklanjanje fosfora koji potječe iz polifosfata, uobičajenog sastojka detergenata koji se svakodnevno koriste u domaćinstvima. Biološko uklanjanje fosfora provodi se uvođenjem otpadne vode u anaerobni spremnik gdje mikroorganizmi koriste fosfor kao izvor energije te on izgradnjom novih stanica napušta biomasu u obliku otopljenog fosfora. Uklanjanje fosfora se zatim nastavlja u aerobnom spremniku gdje mikroorganizmi koriste u vodi otopljeni fosfor za izgradnju novih stanica. Višak biomase obogaćen fosforom odvodi se s uređaja na daljnju obradu. Navedenim postupcima moguće je smanjiti koncentraciju ukupnog fosfora na 1-2 mg/l (Tedeschi, 1997).

2.5.3. Kemijski procesi trećeg stupnja pročišćavanja otpadnih voda

Kemijski procesi trećeg stupnja pročišćavanja otpadnih voda podrazumijevaju primjenu sljedećih postupaka: kemijsko obaranje, ionsku izmjenu, oksidaciju i redukciju te dezinfekciju.

Kemijsko obaranje je postupak koji se provodi doziranjem kemijskih sredstava koje se pri doziranju otapaju u vodi i reagiraju s nečistoćama stvarajući teško topive taloge, a koji se potom lako izdvajaju iz vode djelovanjem gravitacije. Navedenim postupkom se u praksi često iz otpadnih voda uklanjaju fluoridi, fosfati, kadmij, bakar, krom, nikal, cink, olovo i željezo. Pri tome se u vodu doziraju reagensi kao što su kalcijev hidroksid, kalcijev sulfat te soli željeza i aluminijska (Tedeschi, 1997; AWWA, 1999).

Ionska izmjena podrazumijeva izmjenu iona između krute i tekuće faze u stehiometrijskom odnosu. Proces može biti reverzibilan ili ireverzibilan, ovisno o vrsti ionske smole, kao i vrsti tvari koja se uklanja iz otpadne vode. U praksi pročišćavanja

otpadnih voda, najčešće se primjenjuju organski sintetički izmjenjivači koji, ovisno o vrsti aktivne skupine, mogu biti kationski ili anionski, odnosno jako kiseli, slabo kiseli, jako bazni ili slabo bazni (Sincero i Sincero, 2003).

Procesi oksidacije i redukcije podrazumijevaju kemijske reakcije u kojima određeni kemijski spoj, ovisno o svojoj ionizacijskoj energiji, prihvaća ili otpušta elektrone. Navedeni procesi tzv. redoks-procesi, u praksi pročišćavanja otpadnih voda se primjenjuju u cilju dezinfekcije vode, smanjenja BPK₅, uklanjaju mirisa i boje te u cilju smanjenja povećanih koncentracija cijanida, željeza i mangana iz vode (Tedeschi, 1997; AWWA, 1999).

Dezinfekcija otpadnih voda se provodi kao završni stupanj obrade otpadne vode u cilju konačnog smanjenja broja mikroorganizama u otpadnoj vodi i to primjenom kemijskih ili fizikalnih postupaka. Od kemijskih postupaka dezinfekcija otpadne vode se najčešće se provodi doziranjem u vodu spojeva na bazi klora te ozona, broma, joda, kiselina ili lužina, dok dezinfekcija fizikalnim postupkom podrazumijeva primjenu UV lampi (Tedeschi, 1997; Sincero i Sincero, 2003). Toplina se također može primijeniti kao postupak dezinfekcije, no rijetko se primjenjuje za dezinfekciju otpadnih voda, ali se učinkovito primjenjuje za dezinfekciju otpadnog mulja nastalog u procesu obrade otpadne vode (Tedeschi, 1997).

2.5.4. Fizikalni procesi trećeg stupnja pročišćavanja otpadnih voda

Fizikalni procesi trećeg stupnja pročišćavanja otpadnih voda provode se u cilju izdvajanja iz vode uzročnika mutnoće, okusa, mirisa, boje, otopljenih tvari i mikroorganizama i to postupcima cijedenja, adsorpcije ili membranskim postupcima. Cijedenje se provodi propuštanjem vode kroz poroznu sredinu tzv. cjediljku koja navedene nepoželjne tvari iz vode izdvaja na temelju mehaničkog, taložnog, adhezijskog, adsorpcijskog te biološkog djelovanja. Uporabom cjediljki uspješno se smanjuje količina koloida koji nisu uklonjeni tijekom prethodnih stupnjeva pročišćavanja otpadne vode, kao i količina raspršenih tvari, mutnoća, količina fosfora, vrijednost BPK₅ i KPK_{Cr} te količina bakterija što smanjuje troškove dezinfekcije pročišćene otpadne vode (Tedeschi, 1997).

Adsorpcija, kao postupak trećeg stupnja pročišćavanja otpadne vode se primjenjuje kada je iz vode potrebno ukloniti tvari koje uzrokuju pojavu neugodnih mirisa, okusa

ili boje te u cilju izdvajanja fenola, detergenata, fosfata, nitrata ili klora nakon postupka dezinfekcije vode. Adsorpcija se najčešće provodi propuštanjem otpadne vode kroz kolonu aktivnog ugljena pri čemu je moguće ukloniti i do 99% navedenih vrsta onečišćenja (Tedeschi, 1997; Sincero i Sincero, 2003; Tušar, 2009).

Membranski postupci u obradi otpadnih voda, usprkos značajnim investicijskim troškovima, su sve češće zastupljeni u praksi, a podrazumijevaju kombiniranu primjenu konvencionalne biološke obrade vode aktivnim muljem i visokoselektivnih polupropusnih materijala kao što su polimeri, polivinilklorid, polipropilen, acetatceluloza, fluorougljici i drugi, a koji na temelju djelovanja tlaka i/ili elektriciteta izdvajaju nepoželjne tvari iz vode. Primjenom membranskih postupaka moguće je otpadnu vodu dovesti do kakvoće vode za piće (Tedeschi, 1997; Tušar, 2009).

2.6. UREĐAJ ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA GRADA VINKOVACA „JOŠINE“

Na kraju kanalizacijskog sustava grada Vinkovaca, na lokaciji Jošine u jugoistočnom dijelu grada, izgrađen je uređaj za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV) „Jošine“. Izgradnjom ovog uređaja drugog stupnja pročišćavanja otpadnih voda, koji je u funkciji od početka 2005.godine, grad Vinkovci se uvrstio u urbane sredine, koje zadovoljavaju visoke ekološke standarde očuvanja okoliša.

Cjelokupna izgradnja pročištača otpadnih voda grada Vinkovaca planirana je kroz dvije faze. U prvoj fazi uređaj je izveden za prihvrat otpadnih voda na temelju opterećenja od 43 000 ES što čini 67% od ukupno predviđenog kapaciteta od 64 000 ES. Druga faza uređaja, na puni kapacitet uređaja, planira se izvesti u skladu s porastom opterećenja.

Projektirani hidraulički dotok na uređaj iznosi

- maksimalno 700 m³/h, odnosno 9000 m³/dan u sušnom periodu
- maksimalno 1300 m³/h u kišnom periodu

uz zadane parametre na ispustu:

- BPK₅ (biološka potrošnja kisika) maksimalno 25 mg/l O₂
- KPK_{Cr} (kemijska potrošnja kisika) maksimalno 125 mg/l O₂



Slika 1. Uređaj za pročišćavanje otpadne vode „Jošine“

Uređaj za pročišćavanje otpadne vode grada Vinkovaca „Jošine“ se sastoji od sljedećih objekata:

- Retencijski bazen
- Ulazna crpna stanica
- Ulazni Venturijev kanal
- Objekt rešetki
- Pjeskolov/mastolov
- Kontaktni bazen
- Aeracijski bazeni s puhalima
- Sekundarni taložnici
- Ugušćivač mulja
- Filtar preša
- Crpna stanica mulja
- Ispusni Venturijev kanal
- Objekt dehidracije mulja s odlagalištem mulja
- Objekt kontrolne zgrade s laboratorijem

2.6.1. Retencijski bazen

Otpadna voda koja dotječe iz mješovitog sustava kanalizacije uvodi se u ulaznu crpnu stanicu, čiji je kapacitet dimenzioniran prema protoku u kišnom periodu godine. U slučaju većeg dotoka otpadne vode od projektiranog, dolazi do prelijevanja vode u retencijski bazen volumena 1600 m³, a vode iz retencijskog bazena upuštaju se u proces pročišćavanja naknadno, nakon što se dotok iz kanalizacijskog sustava normalizira.

2.6.2. Ulazna crpna stanica

U crpnoj stanici instalirane su ukupno četiri pužne crpke i to tri crpke dimenzionirane prema ukupnoj količini dotoka otpadne vode za sušni period, svaka kapaciteta 120 l/s te jedna veća crpka kapaciteta 178 l/s, koja se uključuje u kišnom periodu. Crpke se uključuju automatski ovisno o dotoku i nivou vode u retencijskom bazenu. Četiri crpke omogućuju rad uređaja pri maksimalnom dotoku otpadne vode, uz jednu

rezervnu crpku koja se koristi u slučaju kvara, popravka ili održavanja drugih crpki. Pužne crpke su izrađene od antikorozivnog materijala, s obzirom na fizikalno-kemijska svojstva otpadnih voda, i u kombinaciji s električnim motorom.

Crpke za otpadnu vodu rade kontinuirano, bez kavitacija ili vibracija, u svim mogućim konfiguracijama rada. Konstruirane i izvedene na način da su lake za održavanje i popravak te sigurne za rad.

Na ulaznoj crpnoj stanici otpadna voda podiže se na potrebnu geodetsku visinu kako bi dalje gravitacijskim tečenjem prolazila kroz sve daljnje dijelove uređaja do ispusta u recipijent.



Slika 2. Ulazna crpna stanica UPOV „Jošine“

2.6.3. Ulazni Venturijev kanal

Otpadna voda iz crpne stanice u pogon za obradu otpadne vode ulazi Venturijevim kanalom, na kojem se mjeri protok i ulazna temperatura vode. Na temelju mjerenog protoka i temperature vode dobivaju se podaci o maksimalnoj i minimalnoj temperaturi vode na ulazu u pogon za obradu otpadne vode „Jošine“ te se računa prosječna temperatura, dok se na temelju svakodnevnog praćenja ulazne količine

otpadne vode na uređaj računa maksimalni i minimalni dnevni protok i ukupna mjesečna količina obrađene vode na UPOV „Jošine“ .



Slika 3. Ulazni Venturijev kanal UPOV „Jošine“

2.6.4. Objekt rešetki

Objekt rešetki predstavlja početak procesa pročišćavanja otpadne vode na UPOV-u „Jošine“. U navedenom objektu nalaze se dvije paralelne linije finih rešetki kojima se mehaničkim postupcima provodi preliminarno pročišćavanje otpadnih voda pri čemu se iz vode uklanjaju krute tvari dimenzija većih od 6 mm, odnosno grube primjese, inertni materijal te dio krupnijih biološki razgradljivih nečistoća. Objektom rešetki voda prolazi prosječnom brzinom od 1,2 m/s. Rešetke su načinjene od nehrđajućeg čelika i postavljene pod kutom od 35°. Izdvojene krute tvari se pužnim transporterom prenose u postavljene kontejner kapaciteta 4 m³. Nakon rešetki otpadna voda otječe u pjeskolov/mastolov.



Slika 4. Objekt rešetki UPOV „Jošine“

2.6.5. Pjeskolov/mastolov

Nakon prolaska kroz objekt rešetki, otpadna voda odlazi u dva paralelna aerirana pjeskolova/mastolova gdje masnoće i druge nečistoće kojima je gustoća manja od gustoće vode isplivavaju na površinu otpadne vode i odvede u posebni spremnik za masnoće. Upuhivanjem zraka u dno mastolova dodatno se postiže isplivavanje nečistoća na površinu.

U istom objektu se provodi i izdvajanje pijeska i mineralnih tvari utjecaj gravitacijske sile, a pijesak istaložen na dnu bazena se transportira pomoću crpki za pijesak do klasirnog uređaja gdje se provodi odvajanje čvrste od tekuće komponente. Izdvojeni pijesak odlaže se u poseban kontejner.

Pjeskolov i mastolov su dimenzionirani na količinu vode za kišno razdoblje, odnosno maksimalno opterećenje. Efekt pjeskolova ovisi o njegovim dimenzijama i načinu pogona. Za taloženje čestica mora se zadovoljiti uvjet da vrijeme protjecanja ne bude manje od trajanja taloženja čestica. Na taj način sav pijesak veći od 0,2 mm bude izdvojen, i to do 95% od ukupne količine pijeska. Kod mastolova je bitna brzina podizanja i vrijeme isplivavanja masti, što ovisi o vrsti i karakteristikama ulja/masti prisutnih u vodi. Količina zraka koja se upuhuje u otpadnu vodu iznosi oko $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^3$ otpadne vode.



Slika 5. Pjeskolov i mastolov na UPOV „Jošine“

2.6.6. Kontaktni bazen

Nakon mehaničkog čišćenja, odnosno izdvajanja plivajućih masti i istaloženog pijeska, otpadna voda dalje otječe u kontaktni bazen čija je funkcija homogenizacija otpadne vode u dotoku i povratnog mulja koji se dovodi s linije za povrat mulja. Homogenizacija povratnog mulja i otpadne vode postiže se intenzivnim miješanjem vode pomoću dva mješača koji rade kontinuirano. Dodatna uloga kontaktnog bazena je da se otpadne vode ravnomjerno rasporede na dvije tehnološke linije, odnosno da se u aeracijske bazene doprema jednaka količina vode. Obujam kontaktnog bazena mora biti najmanje 2% volumena aeracijskog spremnika.

Iz kontaktnog bazena otpadna voda se odvodi putem dviju odvojenih linija u aeracijske bazene na biološku obradu.



Slika 6. Kontaktni bazen UPOV „Jošine“

2.6.7. Aeracijski bazeni s puhalima

Najznačajniji dio obrade otpadne vode na UPOV „Jošine“ odvija se u dva paralelna aeracijska bazena gdje se provodi biološka razgradnja otpadne vode. Volumen jednog bazena iznosi 4700 m³, a u njemu se nalaze dva mješača. U ovim bazenima upuhuje se komprimirani zrak (kisik) važan za život i metabolizam mikroorganizama prisutnih u otpadnoj vodi, a time i uklanjanje organske tvari te proces nitrifikacije kojim se amonijakalni dušik prevodi u nitrite i nitrate. Sustav za aeraciju sastoji se od finih membranskih aeratora koji su smješteni na dnu bazena, a pomoću sonde uronjene u vodu kontinuirano se prati koncentracija kisika u vodi. Ovi se spojevi daljnjim procesom denitrifikacije prevode u plinoviti dušik, koji iz pročišćene otpadne vode odlazi u atmosferu.



Slika 7. Aeracijski bazeni s puhalima UPOV „Jošine“

2.6.8. Sekundarni taložnik

Iz aeracijskih bazena otpadna voda i aerirani mulj se odvođe u dva paralelna taložnika kružnog oblika sa sustavom zgrtača. Proces taloženja odvija se u horizontalnom toku unutar taložnika kružnog oblika. U taložniku se provodi odvajanje pročišćene otpadne vode od aeriranog mulja, a za pravilan i kontinuirani rad taložnika od velikog značaja je neprekidan rad zgrtača, budući da se njime osigurava odvođenje aeriranog mulja iz bazena. Taložni mulj se pomoću zgrtača transportira u muljni lijevak, pada na dno taložnika nakon čega se jedan dio mulja odvodi do crpne stanice za povrat mulja, a drugi dio mulja, nazvan „višak mulja“ odlazi u ugušćivač mulja na proces ugušćivanja. Brzina vode na ulazu u taložnicu je oko 30-40 m/s pri čemu se mora osigurati horizontalno strujanje vode, a pročišćena voda iz taložnika izlazi preljevom (3-5 m³/h vode na metar dužine preljeva).



Slika 8. Sekundarni taložnik UPOV „Jošine“

2.6.9. Crpna stanica za mulj

Crpna stanica za mulj podijeljena je u dvije funkcionalne sredine, odnosno komore. U jednu komoru dolazi pročišćena voda iz taložnika, koja se koristi kao tehnološka voda za hidrantsku mrežu, dok veći dio pročišćene vode odlazi u recipijent.

U drugu komoru crpne stanice za mulj dolazi mulj iz muljnog lijevka sekundarnog taložnika. Crpke koje se nalaze u toj komori transportiraju aerirani mulj do kontaktnog bazena i time ga vraćaju ponovno u aeracijski postupak, a višak mulja transportiraju u ugušćivač mulja.



Slika 9. Crpna stanica za mulj UPOV „Jošine“

2.6.10. Ispust u Venturijev kanal

Pročišćena otpadna voda iz taložnika ispusnim Venturijevim kanalom odlazi u rijeku Bosut. U ovom dijelu uređaja uzimaju se uzorci vode za potrebe analiza kojima se utvrđuje kakvoća vode odnosno stupanj pročišćavanja otpadnih voda prije ispusta u recipijent.



Slika 10. Ispust u Venturijev kanal UPOV „Jošine“

2.6.11. Ugušćivač mulja

U ugušćivaču mulja se odvaja nastali otpadni mulj od pročišćene vode te se voda odvodi do ulazne crpne stanice, miješa s ulaznim dotokom i time ponovo uvodi u proces pročišćavanja. Višak mulja se u ugušćivaču mulja homogenizira i ugušćuje sve dok ne postigne udio suhe tvari u mulju od 2 do 3 % suhe tvari.



Slika 11. Ugušćivač mulja UPOV „Jošine“

2.6.12. Objekt dehidracije mulja s odlagalištem mulja

Iz ugušćivača mulj se transportira na prešu gdje se uz dodatak sredstva za ugušćivanje (kationskog polimera) i djelovanje tlaka dehidrira do razine 20-25 % suhe tvari. Ukoliko je potrebno povećati udio suhe tvari postoji mogućnost da se u postupak dehidracije mulja dozira vapno.

Dehidrirani mulj odlaže se na odlagalište mulja unutar kompleksa uređaja, gdje odležava 6 mjeseci, a nakon procesa stabilizacije otpadni mulj se odvozi na sanitarnu deponiju ili se koristiti u poljoprivredi kao organsko gnojivo s obzirom da sadrži i spojeve kao što su organske tvari, dušik, fosfor i kalij te u manjoj mjeri kalcij, sumpor i magnezij.

Analize ukazuju da otpadni mulj, nastao kao krajnji produkt obrade otpadne vode na UPOV-u „Jošine“, ne sadrži toksične tvari te se stoga može bez imalo bojazni zbrinuti na poljoprivrednim površinama.



Slika 12. Objekt dehidracije mulja s odlagalištem mulja UPOV „Jošine“



Slika 13. Sanitarna deponija za otpadni mulj UPOV „Jošine“

2.6.13. Recipijent pročišćene otpadne vode - rijeka Bosut

Pročišćena otpadna voda s uređaja za obradu otpadne vode „Jošine“ se ispušta u recipijent rijeku Bosut. Dužina rijeke Bosut je 132 km, a glavne pritoke rijeke Bosut su Biđ (57,4 km), Spačva (43,2 km) i Studva (24,3 km). Slivna se površina Bosuta proteže kroz tri županije: Vukovarsko-srijemsku, Brodsko-posavsku i Osječko-baranjsku. Tijekom velikih oborina zbog malih padova dna dolazi do usporenja tečenja vode, što nepovoljno djeluje na odvodnju suvišnih površinskih voda s nizinskih poljoprivrednih i ostalih zemljišta (Marušić, 2014.).

Rijeka Bosut je na području grada Vinkovaca gotovo ustajali vodotok i do 2004. godine kada je u rad pušten uređaj za pročišćavanje otpadnih voda „Jošine“ je bila recipijent nepročišćenih komunalnih otpadnih voda te industrijskih otpadnih voda koje su se u to vrijeme također bez pročišćavanja upuštale u vodotok.

EKSPERIMENTALNI DIO

U cilju uspješnog vođenja procesa pročišćavanja otpadne vode, u analitičkom laboratoriju UPOV „Jošine“ svakodnevno se provodi određivanje fizikalno-kemijskih parametara pokazatelja kakvoće ulazne otpadne vode i izlazne pročišćene vode.

Od fizikalnih pokazatelja u analitičkom laboratoriju UPOV „Jošine“ provodi se određivanje sljedećih parametara:

1. pH vrijednost
2. Koncentracija otopljenog kisika (mgO_2/l)
3. Taloživa tvar (ml/l)
4. Volumen istaloženog mulja (ml/l)
5. Brzina taloženja (m/h)
6. Suha tvar (g/l)
7. Suspendirana tvar TSS (mg/l)
8. Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
9. Boja, miris

dok se od kemijskih pokazatelja određuju:

1. Kemijska potrošnja kisika (KPK_{Cr}) – mgO_2/l
2. Biološka potrošnja kisika kroz 5 dana (BPK_5) – mgO_2/l
3. Određivanje amonijaka ($\text{NH}_3\text{-N}$) – ulaz- mg/l
4. Određivanje amonijaka ($\text{NH}_3\text{-N}$) – izlaz- mg/l
5. Određivanje nitrata ($\text{NO}_3\text{-N}$) – izlaz- mg/l
6. Određivanje ukupnog dušika N - ulaz i izlaz- mg/l
7. Određivanje ukupnog fosfora P - ulaz i izlaz- mg/l

Uzorkovanje ulazne otpadne i izlazne pročišćene vode se provodi pomoću uzorkivača koji uzima uzorak vode na ulazu i izlazu svakih 150 m^3 tijekom 24 sata, nakon čega se uzima tzv. kompozitni uzorak i provode gore navedene analize u cilju određivanja fizikalnih i kemijskih pokazatelja, a uzorkivači se prazne i pripremaju za novi dvadeset četverosatni ciklus uzorkovanja.



Slika 14. Uzorkivač otpadne vode na UPOV „Jošine“

3.1. FIZIKALNI POKAZATELJI KAKVOĆE OTPADNIH VODA

3.1.1. pH vrijednost

pH vrijednost vode ovisi o kemijskim, fizikalnim i/ili biološkim reakcijama koje se odvijaju u vodi, a navedeni parametar potrebno odrediti u što kraćem roku nakon uzorkovanja vode, a najkasnije 24 sata nakon uzimanja uzorka. Mjerenje se provodi pomoću elektrode koja se uroni u uzorak i nakon zvučnog signala se na zaslonu uređaja očitaju prikazane vrijednosti za pH i temperaturu jer vrijednost pH značajno ovisi o temperaturi.

Mjerenje pH vrijednosti provedeno je primjenom ISO 10523:1994 (E) metode. Za određivanje aktivnosti vodikovog iona potenciometrijskim mjerenjem korišten je laboratorijski mjerač pH vrijednosti HACH Sension 156. Prije početka mjerenja izrađena je kalibracijska krivulja kroz tri točke korištenjem standardnih vodenih puferских otopina (HACH Buffer Solution) koje su imale pH vrijednost 4,01; 7,00 i 10,00.



Slika 15. pH metar HACH Sension 156

3.1.2. Otopljeni kisik u vodi

Koncentracija otopljenog kisika određena je metodom primjenjivom za mjerenje otopljenog kisika u prirodnim, otpadnim i slanim vodama. Mjerenje je provedeno na način da se elektroda uronila u uzorak i nakon nekog vremena je na zaslonu uređaja očitana vrijednost koncentracije otopljenog kisika. Rezultat je izražen u mgO_2/l .



Slika 16. Sonda za mjerenje koncentracije kisika WTW Oxi 3301

3.1.3. Taloživa tvar

Određivanje taložive tvari je provedeno na način da se u Imhoffovom stošcu ulilo 1000 ml uzorka otpadne vode te je nakon dva sata na graduiranom dijelu stošca očitana vrijednost taložive tvari u ml/l otpadne vode.

3.1.4. Volumen istaloženog mulja

Mjerenje volumena istaloženog mulja je provedeno u menzurama od 1000 ml na način da se u menzuru ulilo 1000 ml otpadne vode te pustilo da se mulj taloži kroz 30 min nakon čega je očitana vrijednost istaloženog mulja u ml/l.

3.1.5. Brzina taloženja

Mjerenje brzine taloženja provedeno je na način da se u menzuru od 1000 ml ulilo 500 ml uzorka mulja i 500 ml uzorka izlazne otpadne vode. Nakon toga se kroz 5 minuta očitavao volumen istaloženog mulja svake minute. Svaka očitana vrijednost je oduzeta od prethodne na sljedeći način:

Tablica 3. Izračun brzine taloženja mulja u aeracijskim bazenima (m/h)

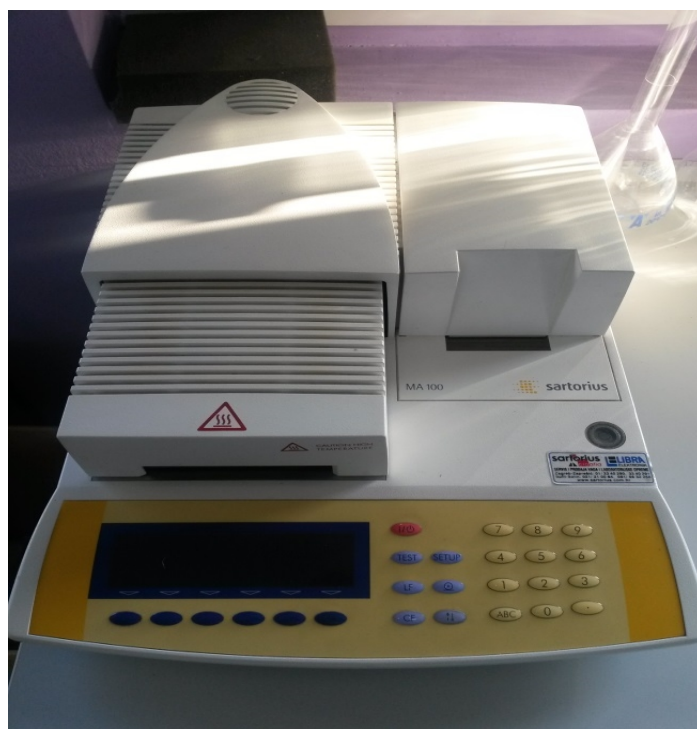
Minuta	Volumen	Razlika volumena
1	X1	1000-X1=Y1
2	X2	X2-X1=Y2
3	X3	X3-X2=Y3
4	X4	X4-X3=Y4
5	X5	X5-X4=Y5

Nakon toga se od svih vrijednosti (Y1 do Y5) uzmu dvije najveće vrijednosti, a potom se iste zbroje. Na osnovu dobivenog rezultata je izračunata brzina taloženja pomoću sljedećeg matematičkog izraza:

$$\frac{\max \text{vrijednost} \times 36}{1000} = \frac{x}{2} \times \frac{60}{100} = \text{brzina taloženja (m/h)}$$

3.1.6. Suha tvar

Suha tvar je mjerena u uređaju tzv. analizatoru vlage na način da se u prethodno tarirani aluminijski lončić ulilo minimalno 5 g uzorka mulja te se nakon zvučnog signala očitala izmjerena vrijednost suhe tvari u % ili u g/l.



Slika 17. Analizator vlage - Sartorius

3.1.7. Suspendirana tvar

Suspendirana tvar je određena metodom koja se primjenjuje za određivanje raspršenih krutina u otpadnoj vodi na način da je 500 ml uzorka profiltrirano preko prethodno izvaganog filtra od staklenih vlaknaca, korištenjem vakumskog ili tlačnog uređaja za filtraciju (Buchnerov lijevak). Nakon filtriranja, filtar je sušen na 105°C, 2 sata i potom hlađen u eksikatoru 2 sata, a potom izvagan. Raspršene krutine zaostale na filtru određene su kao razlika u masi filtra poslije i prije filtriranja uzorka vode.

$$\text{suspendirana tvar} = \frac{(A - B)}{V} \text{ (mg/l)}$$

gdje je:

A - masa filtra nakon filtriranja u mg

B - masa filtra prije filtracije u mg

V - volumen uzorka

3.1.8. Temperatura

Temperatura je jedan od najznačajnijih parametara koji utječu na učinkovitost uređaja za pročišćavanje otpadnih voda jer utječe na koncentraciju otopljenog kisika i acidobaznu ravnotežu sustava.

Temperatura je mjerena na način da se sonda termometra uronila u vodu te se prikazana vrijednost na zaslonu uređaja očitala nakon što se vrijednost ustalila. Mjerenje temperature provedeno je na HACH mjernom instrumentu Sension 156, a rezultati izraženi u °C.

3.1.9. Boja i miris

Intenzitet boje vode ovisi o pH vrijednosti uzorka i nepovratno se povećava povišenjem pH vrijednosti vode. Iz navedenog razloga, pri bilježenju vrijednosti boje neophodno je navesti i pH vrijednost vode.

Miris vode određen je organoleptički pri sobnoj temperaturi od 25°C i pri povišenoj temperaturi od 40°C. Intenzitet mirisa raste s porastom temperature te se pri povišenoj temperaturi miris lakše utvrđuje. Miris je izražen opisno, prema nekom sličnom ili poznatom materijalu, a intenzitet mirisa se boduje. Miris je određen neposredno po uzimanju uzorka, a najkasnije u roku od dva sata.

3.2. KEMIJSKI POKAZATELJI KAKVOĆE OTPADNIH VODA

3.2.1. Kemijska potrošnja kisika (KPK_{Cr})

Kemijska potrošnja kisika (KPK_{Cr}) je parametar kojim se određuje masena koncentracija kisika potrebna da se pod određenim uvjetima oksidiraju otopljene i suspendirane tvari u otpadnoj vodi. Metoda se temelji na spektrofotometrijskom mjerenju koncentracije kisika pomoću tzv. kivete test reagensa (smjesa sulfite

kiseline, živina sulfata i kromova trioksida) na način da je 2 ml uzorka (izlaz, ulaz) stavljeno u kivetu, začepljeno i dobro promućkano. Nakon toga kivete su stavljene u tzv. DRB (digital reactor block) na temperaturu od 150°C kroz 2 sata, a potom su kivete ohlađene. Nakon postizanja sobne temperature u spektrofotometru je mjerena adsorbancija, odnosno određena koncentracija kisika. KPK_{Cr} je određen metodom HRN ISO 6060:2003 i HRN ISO 15705:2003 a dobiveni rezultati izraženi u mgO_2/l .



Slika 18. Spektrofotometar HACH DR 4000



Slika 19. Digital Reactor Block HACH

3.2.2. Biološka potrošnja kisika kroz 5 dana (BPK₅)

Biokemijska potrošnja kisika je parametar kojim se određuje masena koncentracija otopljenog kisika potrebna da se pod određenim uvjetima biološki oksidiraju organske i/ili anorganske tvari u vodi. pH vrijednost analiziranih uzoraka otpadne vode treba biti između 6 i 8, a smetnje pri određivanju BPK₅ mogu uzrokovati tvari koje su toksične za mikroorganizme, kao što su baktericidi, toksični metali i slobodni klor. Mjerenje BPK₅ je provedeno pomoću uređaja OxiTop® - vakuumske boce s digitalnim čepom u inkubatoru na temperaturi od 20°C tijekom 5 dana. Princip određivanja BPK₅ se temelji na mjerenju razlike tlaka nastalog u boci s uzorkom vode uslijed aktivnosti mikroorganizama, odnosno njihovoj oksidaciji i razgradnji organske tvari uz trošenje prisutnog kisika otopljenog u vodi kroz vremensko razdoblje od 5 dana pri konstantnoj temperaturi. Pomoću izmjerene razlike tlakova u boci elektronskim senzorom te volumena analizirane otpadne vode, računa se BPK₅ vrijednosti.



Slika 20. WTW OxiTop® IS 6

3.2.3. Amonijak

Koncentracija amonijaka je određena zasebno u ulaznom, nepročišćenom i u izlaznom, pročišćenom uzorku otpadne vode.

Ulazni uzorak

U dvije epruvete s reagensom je pipetirano 0,1 ml deionizirane vode (slijepa proba) i 0,1 ml uzorka te je u obje dodan salicilatni reagens i amonijev cijanuratni reagens, a potom je nakon 20 minuta koncentracija amonijaka očitana na spektrofotometru HACH DR 4000 u mg/l.

Izlazni uzorak

Mjerenje je provedeno pomoću spektrofotometrijske metode ISO 7150-1:1984 na način da je u jednu čašicu pipetirano 25 ml deionizirane vode (slijepa proba), a u drugu čašicu 25 ml uzorka te je u obje čašice dodano po 3 kapi mineralnog stabilizatora. U što kraćem vremenu dodane su i 3 kapi polivinilnog alkohola uz neprestano miješanje u obje čašice te 1 ml Nesslerovog reagensa. Potom je smjesa ponovno promiješana i nakon jedne minute je koncentracija amonijaka očitana na spektrofotometru HACH DR 4000 u mg/l.

3.2.4. Nitrati

Koncentracija nitrata je određena u izlaznom uzorku spektrofotometrijskim metodama HRN ISO 7890-1:1998 i HRN ISO 7890-3:1998 pri čemu se u čašu od 100 ml ulilo 50 ml uzorka te dodalo 1 ml kloridne kiseline i promiješalo. U jednu kvarcnu kivetu je uliven uzorak, u drugu kivetu deionizirana voda kao slijepa proba. Nakon reakcije koncentracija nitrata je očitana na spektrofotometru HACH DR 4000 u mg/l.

3.2.5. Ukupni dušik

Određivanje koncentracije ukupnog dušika koji u vodi dolazi u obliku amonijaka, nitrata ili nitrita, ima uz određivanje udjela klorida i bakterioloških analiza, veliki sanitarni značaj, jer ovi spojevi nastaju raspadom organskih tvari. Do raspada organskih tvari dolazi djelovanjem bakterija ili kemijskim reakcijama.

Ukupna količina dušika dobiva se zbrajanjem udjela svih njegovih spojeva (ukupni amonijačni, nitratni i nitritni dušik), pri čemu vrijedi:

$$1 \text{ mg/l NH}_4^+ = 0,944 \text{ mg/l NH}_3 = 0,777 \text{ mg N / l}$$

$$1 \text{ mg/l NO}_2^- = 0,826 \text{ mg/l N}_2\text{O}_3 = 0,304 \text{ mg N / l}$$

$$1 \text{ mg/l NO}_3^- = 0,871 \text{ mg/l N}_2\text{O}_5 = 0,226 \text{ mg N /l}$$

Mjerenje koncentracije ukupnog dušika provedeno je sukladno normi HRN ISO 5663:2001 na sljedeći način: u dvije kivete (uzorak i slijepa proba) je dodan jastučić persulfatnog reagensa. Zatim je u jednu dodano 2 ml uzorka, a u drugu 2 ml deionizirane vode te promiješano 30 sekundi. Kivete su stavljene u tzv. digitalni blok reaktor (DRB - digital reactor block) na 105°C kroz 30 min, a nakon toga ohlađene i nakon dodanih jastučića reagensa A (natrijev metabisulfat) i reagensa B (kromotropna kiselina) te miješanja određeno koncentracija je očitana spektrofotometru HACH DR 4000 u mg/l.

3.2.6. Ukupni fosfor

Koncentracija ukupnog fosfora određena u uzrocima na ulazu i izlazu iz uređaja, odnosno u nepročišćenju i pročišćenju otpadnoj vodi sukladno metodi ISO 6878:2004 I EN ISO 6878:2004 na način da je u dvije kivete stavljeno 5 ml uzorka i 5 ml deionizirane vode. U svaku je potom stavljen po jedan jastučić reagensa (kalijev persulfat) nakon čega su kivete stavljene u digitalni blok reaktor (DRB) na 150°C kroz 30 min. Nakon hlađenja dodano je 2 ml natrijeva hidroksida i 0,5 ml molibdenova vanadija te nakon reakcije spektrofotometrijski je očitana koncentracija ukupnog fosfora u mgP/l.

REZULTATI

4.1. PROSJEČNE MJESEČNE VRIJEDNOSTI FIZIKALNIH I KEMIJSKIH PARAMETARA

U tablicama 4 - 11 prikazane su prosječne mjesečni vrijednosti fizikalnih i kemijskih parametara ulazne otpadne i izlazne pročišćene otpadne vode tijekom osmogodišnjeg razdoblja, odnosno od 2008. – 2015. godine, na UPOV „Jošine“ u Vinkovcima.

Tablica 4. Prosječne vrijednosti fizikalnih i kemijskih pokazatelja tijekom 2008. godine

2008.		siječanj	veljača	ožujak	travanj	svibanj	lipanj	srpanj	kolovoz	rujan	listopad	studen	prosinac
pH ulaz		7,5	7,6	7,6	7,5	7,5	7,5	7,6	7,6	7,6	7,6	7,5	7,4
pH izlaz		7,3	7,4	7,3	7,3	7,3	7,4	7,4	7,3	7,3	7,3	7,2	7,2
temp. ulaz	°C	11,9	12,2	12,9	14,6	16,9	19,6	20,6	20,9	19,1	17,6	15,2	13,4
temp. izlaz	°C	11,5	11,7	12,1	13,9	16,1	18,4	19,3	20	18	16,8	14,5	12,5
BPK ₅ ulaz	mg/l O ₂	100	82,3	132	115	179	130,6	101	175,1	244	254	266,6	216,3
BPK ₅ izlaz	mg/l O ₂	3,1	2,8	2,5	2,5	2,9	5,9	4,5	3	4,8	2,7	3,6	2,9
KPK _{Cr} ulaz	mg/l O ₂	168,5	273,6	391,3	327,8	395,8	266	467,6	675,3	681,5	904,1	784,1	664,4
KPK _{Cr} izlaz	mg/l O ₂	37	33,6	26,1	28,2	30	36,8	33,2	27,8	23,8	11,4	20,9	16,1
NH ₃ -N ulaz	mg/l	9,6	12,8	13,5	15,4	19,3	18,1	18,2	22,3	16,8	19,5	21,3	19,4
NH ₃ -N izlaz	mg/l	0,9	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Uk. P ulaz	mg/l	6,9	7,2	5,35	3,5	3,55	3,6	3,7	11,6	4,8	6,9	6,8	6,7
Uk. P izlaz	mg/l	1,70	1,72	1,31	1,60	1,65	1,70	1,40	1,56	1,50	2,00	1,95	0,30
Dotok	m ³	483402	349373	404607	348827	279222	281152	258365	201104	253633	257282	249345	313203
Srednji	m ³	15594	12047	13052	11628	9007	9372	8334	6935	8454	8299	8312	10103
Max.	m ³	20411	15050	21932	16626	10933	18730	14782	13381	21864	18940	15729	13795
Min.	m ³	11489	10491	10946	9787	7821	7732	6476	5791	5847	7193	6780	8411
uk. N ulaz	mg/l	15,3	20,5	21,5	24,6	31	29	29,1	35,7	26,9	31,3	34	31
NO ₃ -N izlaz	mg/l	1,2	1,2	1,1	1,4	1,8	1,4	1,4	1,7	2	2,3	2,2	2,9

Tablica 5. Prosječne vrijednosti fizikalnih i kemijskih pokazatelja tijekom 2009. godine

2009.		siječanj	veljača	ožujak	travanj	svibanj	lipanj	srpanj	kolovoz	rujan	listopad	studenj	prosinac
pH ulaz		7,6	7,6	7,6	7,5	8	8,2	7,8	7,7	7,7	7,8	7,6	7,6
pH izlaz		7,2	7,2	7,1	7,1	7,8	7,6	7,6	7,3	7,2	7,2	7,3	7,2
temp. ulaz	°C	11,4	11,6	12,5	15	19,5	19,4	20,5	21,3	21	18,4	16	13,5
temp. izlaz	°C	10,6	10,8	11,7	14,2	18,9	18,5	19,7	20,5	20	17,3	15	12,8
BPK ₅ ulaz	mg/l O ₂	243,6	224,7	230,2	217,7	216	249,3	238,9	286	435,3	277,2	203,6	166,5
BPK ₅ izlaz	mg/l O ₂	3,9	6,3	4,1	3,3	3,9	4,9	4,3	5,2	4,6	3,7	3,1	3,6
KPK _{Cr} ulaz	mg/l O ₂	563,8	397,3	491,1	517,6	854,1	600,6	769,1	714,8	780,7	557,1	383,1	257,4
KPK _{Cr} izlaz	mg/l O ₂	13,6	8,1	11	8,9	10,1	11	10,6	10,5	8,2	10,7	12	12,1
NH ₃ -N ulaz	mg/l	17,9	21	14,7	14,3	18,9	15,2	18,8	18	24,2	20,7	18,5	20,9
NH ₃ -N izlaz	mg/l	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5
Uk. P ulaz	mg/l	5,6	4,1	4,2	4,2	4,3	3,9	4,2	5,4	6,35	7,3	3,7	3,3
Uk. P izlaz	mg/l	0,50	0,10	0,10	0,10	0,90	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,90
Dotok	m ³	327042	347710	382980	293980	295353	289503	252099	272657	213916	246960	276027	364232
Srednji	m ³	10550	12418	12354	9799	9528	9650	8132	8792	7131	7966	9201	11749
Max.	m ³	18079	13732	19000	13253	15923	15265	13693	16878	8329	16262	13849	21670
Min.	m ³	8514	11055	9504	8758	8138	7741	7006	6442	5900	6080	7182	7395
uk. N ulaz	mg/l	28,7	33,6	23,5	22,9	30,2	24,2	30,1	28,8	38,7	33,1	29,6	33,5
NO ₃ -N izlaz	mg/l	2,5	1,9	0,3	1,3	1,4	1,6	1,2	1,6	2,5	2,4	2,5	2,4

Tablica 6. Prosječne vrijednosti fizikalnih i kemijskih pokazatelja tijekom 2010. godine

2010.		siječanj	veljača	ožujak	travanj	svibanj	lipanj	srpanj	kolovoz	rujan	listopad	studenj	prosinac
pH ulaz		7,6	7,8	7,8	7,8	7,9	8,7	7,9	7,9	7,7	7,6	7,6	7,5
pH izlaz		7,2	7,4	7,5	7,5	7,6	8,5	7,4	7,4	7,4	7,2	7,3	7,2
temp. ulaz	°C	12,8	11,6	12,9	14,5	16,1	16,5	18,3	19,1	18,1	16,1	15	12,9
temp. izlaz	°C	11,9	10,6	11,8	13,7	15,2	15,8	17,5	18,2	17,4	15,2	14,2	12
BPK ₅ ulaz	mg/l O ₂	95,7	96,9	64,4	140,7	81,5	52,5	85,7	72,2	173,3	87,4	104	67
BPK ₅ izlaz	mg/l O ₂	3	2	2,8	2,8	3	3,1	3,9	4,6	4	3,8	6,8	4,5
KPK _{Cr} ulaz	mg/l O ₂	164,8	154,9	100,4	251,6	194,5	97	169,8	219,4	306,6	164,6	187	94,6
KPK _{Cr} izlaz	mg/l O ₂	8,3	6,5	6,5	7,7	8	9,4	9,3	8,8	6,2	7,4	6,4	3,7
NH ₃ -N ulaz	mg/l	14,4	9,2	7,5	16,9	10	7,6	8,4	8,4	13,7	9,9	8,3	7,2
NH ₃ -N izlaz	mg/l	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,8	1,2	1,2
Uk. P ulaz	mg/l	4,2	10,4	4,1	9,8	4,5	4	1,3	3,6	4,3	5	5,4	2,6
Uk. P izlaz	mg/l	0,80	0,80	1,61	2,44	1,33	0,10	0,10	1,30	1,60	1,90	1,80	1,00
Dotok	m ³	481547	429594	553049	428659	458736	613057	533582	461744	424221	434374	456916	623282
Srednji	m ³	15534	15343	17840	14289	14796	20435	17212	14895	14141	14012	15231	20106
Max.	m ³	21087	21974	21556	17571	21813	23415	21976	21621	21420	20402	19782	23428
Min.	m ³	12196	11190	11626	11307	11118	16960	13302	11890	10796	10644	11549	17791
uk. N ulaz	mg/l	23,1	14,8	12	27,1	16	12,1	13,5	13,4	19,6	15,8	13,2	11,5
NO ₃ -N izlaz	mg/l	3	2,6	3	2	1,7	2,5	2,2	2,5	3,7	1,6	1,5	1,4

Tablica 7. Prosječne vrijednosti fizikalnih i kemijskih pokazatelja tijekom 2011. godine

2011.		siječanj	veljača	ožujak	travanj	svibanj	lipanj	srpanj	kolovoz	rujan	listopad	studen	prosinac
pH ulaz		7,4	7,6	7,4	7,5	7,5	7,5	7,6	7,6	7,5	7,6	7,5	7,5
pH izlaz		7,1	7,1	7,1	7,2	7,2	7,2	7,1	7,1	7,2	7,1	7,1	6,8
temp. ulaz	°C	11,9	11,2	12,4	14	15,9	17,9	19,6	19,6	19,4	17,1	15,2	13
temp. izlaz	°C	11,5	10,9	11,5	13,2	15	17	18,3	18,8	18,9	16,2	14,3	12
BPK ₅ ulaz	mg/l O ₂	71,4	103,3	127,3	112,4	116	128,9	150,4	108,3	129,8	119,8	166	182
BPK ₅ izlaz	mg/l O ₂	9,1	7,6	12,6	11	9,2	7,2	6,3	5,2	5,9	5	4,5	9,2
KPK _{Cr} ulaz	mg/l O ₂	90,1	175,9	155,3	154,7	177,9	241	335,2	213,9	343	275,9	287	228
KPK _{Cr} izlaz	mg/l O ₂	11,1	9,8	5,7	8	12,7	12,2	12,3	8,5	11,4	10,1	11,9	13,2
NH ₃ -N ulaz	mg/l	8	11,6	9,4	9	11,2	11,4	9	11,3	14,1	12,9	21	16,7
NH ₃ -N izlaz	mg/l	3	1,7	3,2	1,8	0,7	1	0,6	1,4	2,5	1,3	1	1,8
Uk. P ulaz	mg/l	9,9	5,3	3	1,5	6,8	2,2	5,9	12,1	8,1	4,1	11,4	8,5
Uk. P izlaz	mg/l	1,22	1,72	1,50	1,00	2,00	0,10	1,60	0,90	0,50	0,10	1,70	0,90
Dotok	m ³	602260	437805	546125	513226	421516	397355	389717	343068	298763	309827	235100	287846
Srednji	m ³	19428	5636	17617	17106	13597	13245	12572	11067	9959	9994	7837	9285
Max.	m ³	22923	17985	20886	20157	18262	17282	20045	15590	14705	15924	8732	16323
Min.	m ³	17015	13587	12904	15132	10863	10835	10106	9288	8598	7964	6818	6800
uk. N ulaz	mg/l	12,8	18,6	15	14,3	17,9	18,2	14,3	18	22,5	20,6	33,6	26,7
NO ₃ -N izlaz	mg/l	1,2	0,7	0,7	1,1	1	0,6	1,3	0,5	0,8	0,9	2,8	1,3

Tablica 8. Prosječne vrijednosti fizikalnih i kemijskih pokazatelja tijekom 2012. godine

2012.		siječanj	veljača	ožujak	travanj	svibanj	lipanj	srpanj	kolovoz	rujan	listopad	studeni	prosinac
pH ulaz		7,5	7,4	7,4	7,5	7,4	7,4	7,5	7,5	7,5	7,5	7,4	7,4
pH izlaz		6,8	6,8	6,9	7	7	7,1	7,2	7,2	7,1	7,2	7,2	7
temp. ulaz	°C	12,1	8,8	13,1	14,1	16,3	18,4	20,6	21,7	19,6	18,5	15,6	12,1
temp. izlaz	°C	11,2	7,6	12,2	13,3	15,5	17,7	19,7	20,4	18,7	17,8	14,9	11,3
BPK ₅ ulaz	mg/l O ₂	192,3	124,5	177,3	193,4	106,8	136,5	136,8	205,1	198,6	167,6	126,8	134,4
BPK ₅ izlaz	mg/l O ₂	7,7	6,6	6,3	7,8	4,4	5,3	3,9	5,4	4,6	5,1	7	5,5
KPK _{Cr} ulaz	mg/l O ₂	325	179,1	339,7	282,8	395,4	226,4	444,1	377,8	402,1	399,7	225,3	356
KPK _{Cr} izlaz	mg/l O ₂	11,2	11,5	11,9	16,6	4,5	8,1	12,3	11,2	9,8	10,2	10,4	2,2
NH ₃ -N ulaz	mg/l	18,8	18,3	19,2	16,4	15,7	13,9	17,5	20,2	22,8	24,2	16,4	24,8
NH ₃ -N izlaz	mg/l	1,3	1,5	2,1	3,2	1	1,3	2,3	1,2	1,9	1,4	1,3	0,8
Uk. P ulaz	mg/l	14	7,2	7,8	2,9	6	4,1	2,2	3,1	17,8	10,4	3	2,3
Uk. P izlaz	mg/l	0,50	0,90	0,60	0,10	0,90	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Dotok	m ³	255608	225127	313428	318096	341362	295326	242390	217227	218715	217765	267283	327138
Srednji	m ³	19428	15636	17617	17106	13597	13245	12572	11067	9959	9994	7837	9285
Max.	m ³	22923	17985	20886	20157	18262	17282	20049	15590	14705	15024	8732	16327
Min.	m ³	17015	13587	12904	15132	10863	10835	10106	9288	8598	7064	6818	6800
uk. N ulaz	mg/l	30	29,3	30,7	26,3	25,1	22,3	27,9	32,4	36,4	38,7	26,2	39,7
NO ₃ -N izlaz	mg/l	1,5	2,3	1,1	1,2	1,1	0,5	2,3	0,5	0,4	0,5	0,4	24,8

Tablica 9. Prosječne vrijednosti fizikalnih i kemijskih pokazatelja tijekom 2013. godine

2013.		siječanj	veljača	ožujak	travanj	svibanj	lipanj	srpanj	kolovoz	rujan	listopad	studeni	prosinac
pH ulaz		7,2	7,4	7,3	7,4	7,3	7,5	7,7	7,5	7,3	7,3	7,3	7,3
pH izlaz		7	7	7	6,8	6,9	7	7,2	7,2	6,9	6,8	6,9	6,9
temp. ulaz	°C	19	18,8	17,9	18,1	21,7	22,8	24,9	26,1	25,4	24,4	24,8	22,8
temp. izlaz	°C	10,4	11	10	12,1	15,3	16	18	19,2	13,9	14,9	14,8	12,5
BPK ₅ ulaz	mg/l O ₂	153,3	144,5	103,8	123,8	87,4	67	72,9	82,7	98,8	54,8	117,9	91,3
BPK ₅ izlaz	mg/l O ₂	6,1	9,8	2,9	8	4	4,6	3	2,7	2,6	2,1	5,8	6
KPK _{Cr} ulaz	mg/l O ₂	433,4	311,9	133,2	286,6	172,2	131,4	187,2	275	224	81,1	108	205,4
KPK _{Cr} izlaz	mg/l O ₂	5	3,6	4,9	8,4	5,5	5,3	7,3	11	8,2	4,8	8,7	10,6
NH ₃ -N ulaz	mg/l	29,3	22,2	7,7	8,6	9,3	8,8	11	11,3	14,9	10,5	12,2	14,4
NH ₃ -N izlaz	mg/l	1,60	0,90	0,50	0,70	0,70	0,10	0,20	0,90	0,40	0,60	1,10	1,60
Uk. P ulaz	mg/l	20,7	18,9	1,9	2,1	8,5	7,4	4,9	4,8	2,8	6	6,75	7,5
Uk. P izlaz	mg/l	6,6	0,9	0,5	0,7	0,7	0,1	0,2	0,9	0,4	0,6	1,1	1,6
Dotok	m ³	367077	378921	370413	451669	434404	330219	280328	240191	298183	345300	323961	283236
Srednji	m ³	8520	7763	10111	10603	11012	9858	7819	7007	7291	8469	8909	10553
Max.	m ³	14275	12866	12914	12693	14175	14188	9793	9282	12211	15116	13960	12525
Min.	m ³	6652	5015	7319	7345	7959	7314	6921	6432	6366	6780	7471	8151
uk. N ulaz	mg/l	46,9	36,5	12,4	13,8	14,8	14,1	17,6	18,1	23,8	16,9	19,5	23,1
NO ₃ -N izlaz	mg/l	0,6	0,6	2,2	2,4	1,8	1,6	1,5	0,4	0,6	1,4	1,7	1,6

Tablica 10. Prosječne vrijednosti fizikalnih i kemijskih pokazatelja tijekom 2014. godine

2014.		siječanj	veljača	ožujak	travanj	svibanj	lipanj	srpanj	kolovoz	rujan	listopad	studeni	prosinac
pH ulaz		7,90	8,30	8,40	8,40	8,50	7,80	7,40	7,50	7,70	7,80	8,00	8,20
pH izlaz		7,60	7,80	7,80	8,10	8,10	7,40	7,10	7,20	7,30	7,50	7,60	7,90
temp. ulaz	°C	14,60	13,80	13,70	15,60	14,80	16,00	19,10	18,70	20,00	18,00	18,40	16,80
temp. izlaz	°C	11,20	11,10	12,00	12,50	12,60	15,90	17,20	17,40	17,10	16,60	14,40	12,60
BPK ₅ ulaz	mg/l O ₂	145,60	94,40	153,90	122,80	48,60	62,00	90,90	52,90	172,00	96,40	100,90	97,60
BPK ₅ izlaz	mg/l O ₂	7,00	5,30	6,30	6,60	6,70	4,30	8,60	4,50	7,20	11,00	3,60	3,30
KPK _{Cr} ulaz	mg/l O ₂	138,4	136,00	261,4	185,6	74,9	86,7	333,1	99	209,2	122,7	197,7	124,4
KPK _{Cr} izlaz	mg/l O ₂	14,1	11,30	11,9	10,6	7	3,8	5,8	5,3	5,4	9,4	5,3	4,6
NH ₃ -N ulaz	mg/l	16,50	14,40	13,40	12,00	5,20	8,10	8,20	8,50	11,90	11,70	13,50	10,80
NH ₃ -N izlaz	mg/l	0,90	0,40	1,00	0,80	0,60	2,00	1,30	1,20	1,50	0,70	0,70	1,10
Uk. P ulaz	mg/l	5,20	10,50	9,50	8,00	3,10	3,12	6,80	1,50	4,80	6,90	2,30	8,10
Uk. P izlaz	mg/l	1,06	1,20	1,90	1,09	1,57	1,60	0,77	1,60	0,74	1,00	1,80	0,81
Dotok	m ³	290865	324855	361800	352275	524355	414825	356865	409890	499425	496740	408120	455385
Srednji	m ³	9696	10829	12060	11743	17479	13828	52896	13663	16648	16558	13604	15180
Max.	m ³	11092	13123	14579	13992	29497	19196	14589	17238	20480	22079	16066	19492
Min.	m ³	8299	8534	9541	9493	5460	8459	91202	10088	12815	11037	11142	10867
uk. N ulaz	mg/l	26,4	23	21,4	19,3	8,3	13	13,2	13,7	19	18,7	21,5	17,3
NO ₃ -N izlaz	mg/l	1	1,6	1	0,7	3,1	0,5	0,9	1,5	0,7	1,3	0,7	1,3

Tablica 11. Prosječne vrijednosti fizikalnih i kemijskih pokazatelja tijekom 2015. godine

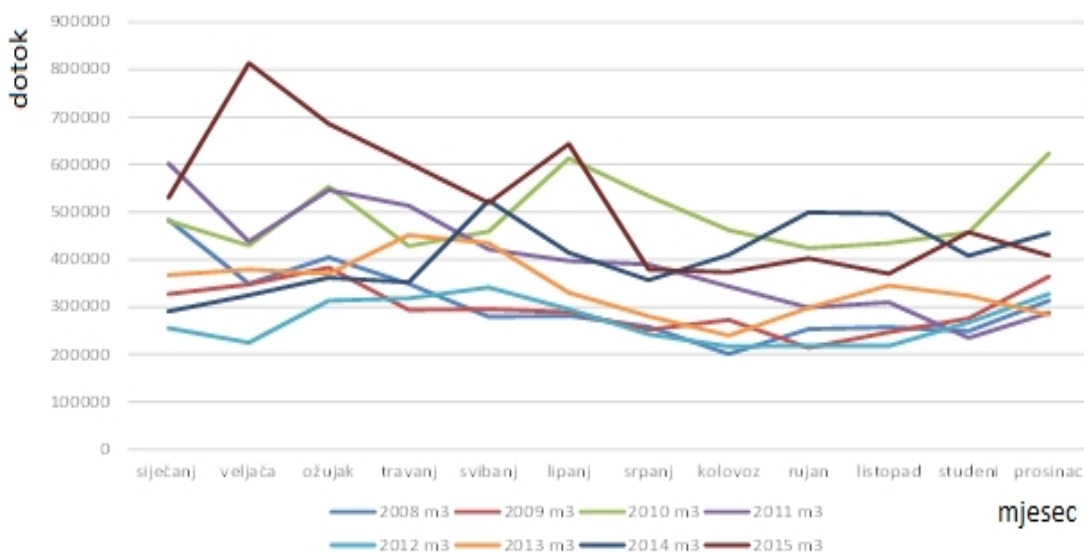
2015.		siječanj	veljača	ožujak	travanj	svibanj	lipanj	srpanj	kolovoz	rujan	listopad	studeni	prosinac
pH ulaz		8,20	8,20	8,30	8,40	8,50	8,70	8,30	8,00	7,40	7,60	7,80	7,30
pH izlaz		7,90	8,00	7,90	8,00	8,10	8,20	8,00	7,70	7,10	7,20	7,40	7,00
temp. ulaz	°C	14,70	13,20	14,60	14,80	15,60	17,20	17,90	19,60	19,90	18,60	17,90	17,10
temp. izlaz	°C	11,30	11,40	12,20	13,80	15,50	15,80	16,00	16,40	18,50	16,90	14,10	13,70
BPK ₅ ulaz	mg/l O ₂	77,80	58,60	59,80	72,30	78,50	89,70	111,90	76,90	104,50	82,60	89,90	64,00
BPK ₅ izlaz	mg/l O ₂	15,40	5,60	5,60	5,20	4,40	5,20	4,40	4,80	5,90	5,10	3,20	7,50
KPK _{Cr} ulaz	mg/l O ₂	88,3	127,50	77,3	100,1	157	151,5	171,8	166,5	204,3	118,6	134,9	100,1
KPK _{Cr} izlaz	mg/l O ₂	7	8,40	11,40	10,2	7,7	7,9	9,3	9	16,8	14,8	17,9	10,9
NH ₃ -N ulaz	mg/l	8,00	5,40	6,60	10,30	9,80	8,70	11,20	12,50	14,80	11,50	11,80	11,70
NH ₃ -N izlaz	mg/l	0,40	1,30	1,50	1,30	0,50	1,00	0,70	0,40	1,20	0,90	0,90	1,00
Uk. P ulaz	mg/l	3,84	2,65	2,81	3,52	2,20	2,15	1,60	3,08	3,40	3,30	2,16	2,21
Uk. P izlaz	mg/l	1,34	1,87	0,77	0,14	0,46	0,92	0,99	1,67	1,28	1,44	0,98	0,98
Dotok	m ³	530730	813480	686010	603375	519450	643590	379155	373185	402750	370185	457245	408585
Srednji	m ³	17691	27116	22867	20113	17315	21453	12639	12440	13425	12340	15242	13620
Max.	m ³	26218	30854	28246	25347	22964	32659	16219	17383	17737	15659	19596	16087
Min.	m ³	9164	23378	17488	14878	11666	10247	9058	7496	9113	9020	10887	11152
uk. N ulaz	mg/l	12,8	8,6	10,5	16,5	15,7	14	17,9	19,9	23,7	18,5	18,8	18,8
NO ₃ -N izlaz	mg/l	3	1,9	2,1	1,8	1,8	1	0,8	0,8	1	1	1,9	1,7

4.2. PROSJEČNE VRIJEDNOSTI DOTOKA, pH, BPK₅, KPK_{Cr}, AMONIJAKA I UKUPNOG FOSFORA NA UPOV „JOŠINE“

U tablicama 12 – 32 i na slikama 21 – 31 su prikazane prosječne mjesečne vrijednosti ulazne i izlazne otpadne vode na UPOV-u Vinkovci za parametre dotoka, pH vrijednost, biološku potrošnju kisika (BPK₅), kemijsku potrošnju kisika (KPK_{Cr}), koncentraciju amonijaka (NH₃-N) i ukupnog fosfora (uk. P) u vremenskom periodu od 2008 - 2015. godine.

Tablica 12. Prosječne mjesečne vrijednosti dotoka ulazne otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.)

Dotok	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015
	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
siječanj	483402	327042	481547	602260	255608	367077	290865	530730
veljača	349373	347710	429594	437805	225127	378921	324855	813480
ožujak	404607	382980	553049	546125	313428	370413	361800	686010
travanj	348827	293980	428659	513226	318096	451669	352275	603375
svibanj	279222	295353	458736	421516	341362	434404	524355	519450
lipanj	281152	289503	613057	397355	295326	330219	414825	643590
srpanj	258365	252099	533582	389717	242390	280328	356865	379155
kolovoz	201104	272657	461744	343068	217227	240191	409890	373185
rujan	253633	213916	424221	298763	218715	298183	499425	402750
listopad	257282	246960	434374	309827	217765	345300	496740	370185
studeni	249345	276027	456916	235100	267283	323961	408120	457245
prosinac	313203	364232	623282	287846	327138	283236	455385	408585

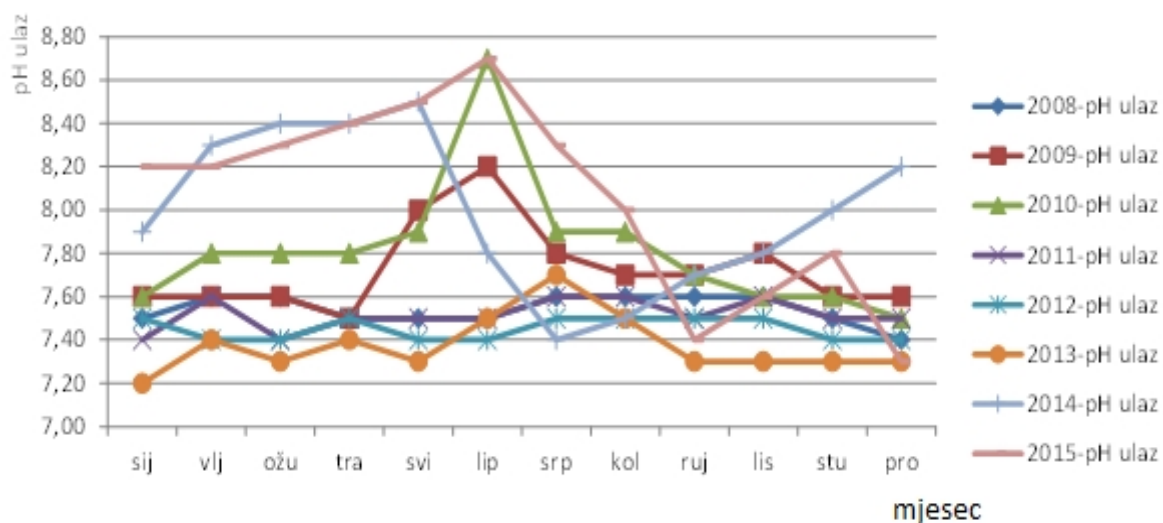


Slika 21. Prikaz promjena prosječnih mjesečnih dotoka ulazne otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.)

Tablica 13. Prosječne mjesečne pH vrijednosti ulazne otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.)

pH ulaz	2008- pH ulaz	2009- pH ulaz	2010- pH ulaz	2011- pH ulaz	2012- pH ulaz	2013- pH ulaz	2014- pH ulaz	2015- pH ulaz
siječanj	7,50	7,60	7,60	7,40	7,50	7,20	7,90	8,20
veljača	7,60	7,60	7,80	7,60	7,40	7,40	8,30	8,20
ožujak	7,60	7,60	7,80	7,40	7,40	7,30	8,40	8,30
travanj	7,50	7,50	7,80	7,50	7,50	7,40	8,40	8,40
svibanj	7,50	8,00	7,90	7,50	7,40	7,30	8,50	8,50
lipanj	7,50	8,20	8,70	7,50	7,50	7,50	7,80	8,70
srpanj	7,60	7,80	7,90	7,60	7,50	7,70	7,40	8,30
kolovoz	7,60	7,70	7,90	7,60	7,50	7,50	7,50	8,00
rujan	7,60	7,70	7,70	7,50	7,50	7,30	7,70	7,40
listopad	7,60	7,80	7,60	7,60	7,50	7,30	7,80	7,60
studeni	7,50	7,60	7,60	7,50	7,40	7,30	8,00	7,80
prosinac	7,40	7,60	7,50	7,50	7,40	7,30	8,20	7,30
granična vrijednost*	6,5-9,5							

*sukladno Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 80/2013)



Slika 22. Prikaz promjena prosječnih mjesečnih pH vrijednosti ulazne otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.)

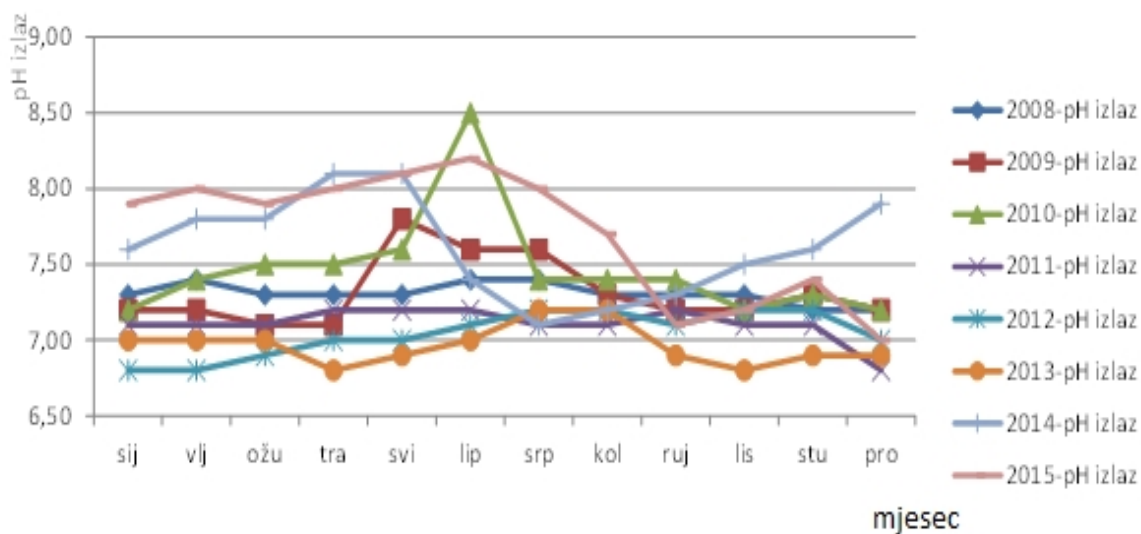
Tablica 14. Statistička analiza mjerenih pH vrijednosti ulazne otpadne vode

Minimum	7,20
Maksimum	8,70
Aritmetička sredina	7,68
Standardna devijacija	0,34
Broj mjerenja	96

Tablica 15. Prosječne mjesečne pH vrijednosti izlazne otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.).

pH izlaz	2008- pH izlaz	2009- pH izlaz	2010- pH izlaz	2011- pH izlaz	2012- pH izlaz	2013- pH izlaz	2014- pH izlaz	2015- pH izlaz
siječanj	7,30	7,20	7,20	7,10	6,80	7,00	7,60	7,90
veljača	7,40	7,20	7,40	7,10	6,80	7,00	7,80	8,00
ožujak	7,30	7,10	7,50	7,10	6,90	7,00	7,80	7,90
travanj	7,30	7,10	7,50	7,20	7,00	6,80	8,10	8,00
svibanj	7,30	7,80	7,60	7,20	7,00	6,90	8,10	8,10
lipanj	7,40	7,60	8,50	7,20	7,10	7,00	7,40	8,20
srpanj	7,40	7,60	7,40	7,10	7,20	7,20	7,10	8,00
kolovoz	7,30	7,30	7,40	7,10	7,20	7,20	7,20	7,70
rujan	7,30	7,20	7,40	7,20	7,10	6,90	7,30	7,10
listopad	7,30	7,20	7,20	7,10	7,20	6,80	7,50	7,20
studeni	7,20	7,30	7,30	7,10	7,20	6,90	7,60	7,40
prosinac	7,20	7,20	7,20	6,80	7,00	6,90	7,90	7,00
granična vrijednost*	6,5-9,0							

*sukladno Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 80/2013)



Slika 23. Prikaz promjena prosječnih mjesečnih pH vrijednosti izlazne otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.)

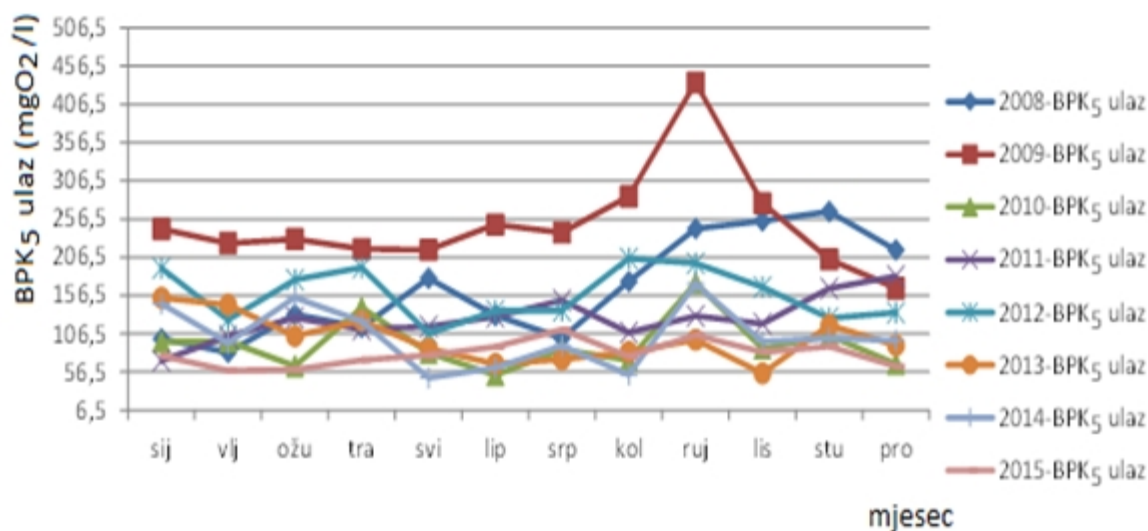
Tablica 16. Statistička analiza mjerenih pH vrijednosti izlazne otpadne vode

Minimum	6,80
Maksimum	8,50
Aritmetička sredina	7,32
Standardna devijacija	0,35
Broj mjerenja	96

Tablica 17. Prosječne mjesečne vrijednosti biološke potrošnje kisika (BPK₅) ulazne otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.)

BPK ₅ ulaz (mgO ₂ /l)	2008-BPK ₅ ulaz	2009-BPK ₅ ulaz	2010-BPK ₅ ulaz	2011-BPK ₅ ulaz	2012-BPK ₅ ulaz	2013-BPK ₅ ulaz	2014-BPK ₅ ulaz	2015-BPK ₅ ulaz
siječanj	100,0	243,6	95,7	71,4	192,3	153,3	145,6	77,8
veljača	82,3	224,7	96,9	103,3	124,5	144,5	94,4	58,6
ožujak	132,0	230,2	64,4	127,3	177,3	103,8	153,9	59,8
travanj	115,0	217,7	140,7	112,4	193,4	123,8	122,8	72,3
svibanj	179,0	216,0	81,5	116,0	106,8	87,4	48,6	78,5
lipanj	130,6	249,3	52,5	128,9	136,5	67,0	62,0	89,7
srpanj	101,0	238,9	85,7	150,4	136,8	72,9	90,9	111,9
kolovoz	175,1	286,0	72,2	108,3	205,1	82,7	52,9	76,9
rujan	244,0	435,3	173,3	129,8	198,6	98,8	172,0	104,5
listopad	254,0	277,2	87,4	119,8	167,6	54,8	96,4	82,6
studeni	266,6	203,6	104,0	166,0	126,8	117,9	100,9	89,9
prosinac	216,3	166,5	67,0	182,0	134,4	91,3	97,6	64,0
granična vrijednost*	BPK ₅ se ne ograničava ako uređaj za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda postiže stupanj pročišćavanja u skladu s odredbama ovoga Pravilnika							

*sukladno Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 80/2013)



Slika 24. Prikaz promjena prosječnih mjesečnih BPK₅ vrijednosti ulazne otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.)

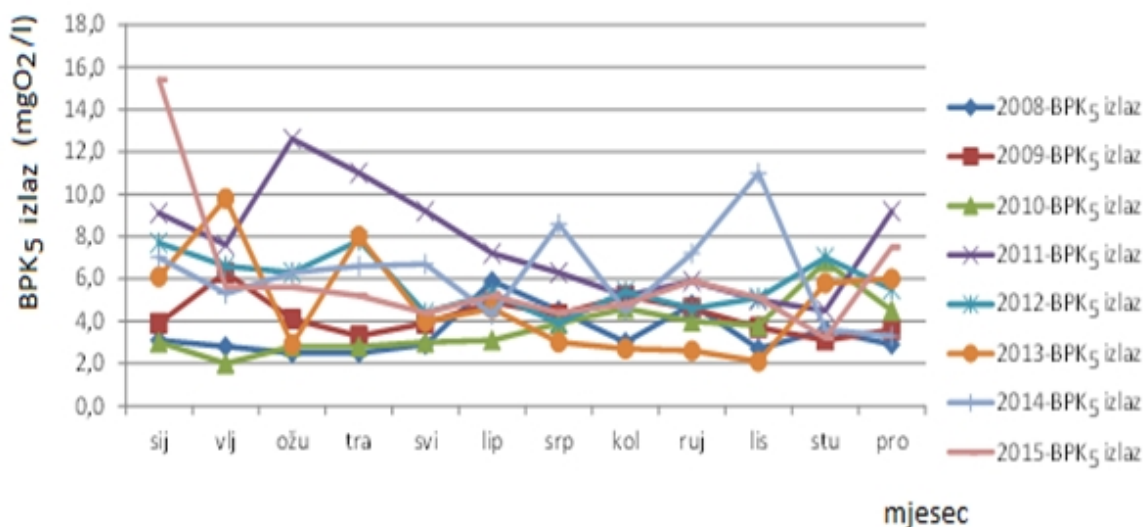
Tablica 18. Statistička analiza mjerenih BPK₅ vrijednosti ulazne otpadne vode

Minimum	48,60
Maksimum	435,30
Aritmetička sredina	134,63
Standardna devijacija	66,15
Broj mjerenja	96

Tablica 19. Prosječne mjesečne vrijednosti biološke potrošnje kisika (BPK₅) izlazne otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.)

BPK ₅ izlaz (mgO ₂ /l)	2008-BPK ₅ izlaz	2009-BPK ₅ izlaz	2010-BPK ₅ izlaz	2011-BPK ₅ izlaz	2012-BPK ₅ izlaz	2013-BPK ₅ izlaz	2014-BPK ₅ izlaz	2015-BPK ₅ izlaz
siječanj	3,1	3,9	3,0	9,1	7,7	6,1	7,0	15,4
veljača	2,8	6,3	2,0	7,6	6,6	9,8	5,3	5,6
ožujak	2,5	4,1	2,8	12,6	6,3	2,9	6,3	5,6
travanj	2,5	3,3	2,8	11,0	7,8	8,0	6,6	5,2
svibanj	2,9	3,9	3,0	9,2	4,4	4,0	6,7	4,4
lipanj	5,9	4,9	3,1	7,2	5,3	4,6	4,3	5,2
srpanj	4,5	4,3	3,9	6,3	3,9	3,0	8,6	4,4
kolovoz	3,0	5,2	4,6	5,2	5,4	2,7	4,5	4,8
rujan	4,8	4,6	4,0	5,9	4,6	2,6	7,2	5,9
listopad	2,7	3,7	3,8	5,0	5,1	2,1	11,0	5,1
studeni	3,6	3,1	6,8	4,5	7,0	5,8	3,6	3,2
prosinac	2,9	3,6	4,5	9,2	5,5	6,0	3,3	7,5
granična vrijednost*	25,0							

*sukladno Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 80/2013)



Slika 25. Prikaz promjena prosječnih mjesečnih BPK₅ vrijednosti izlazne otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.)

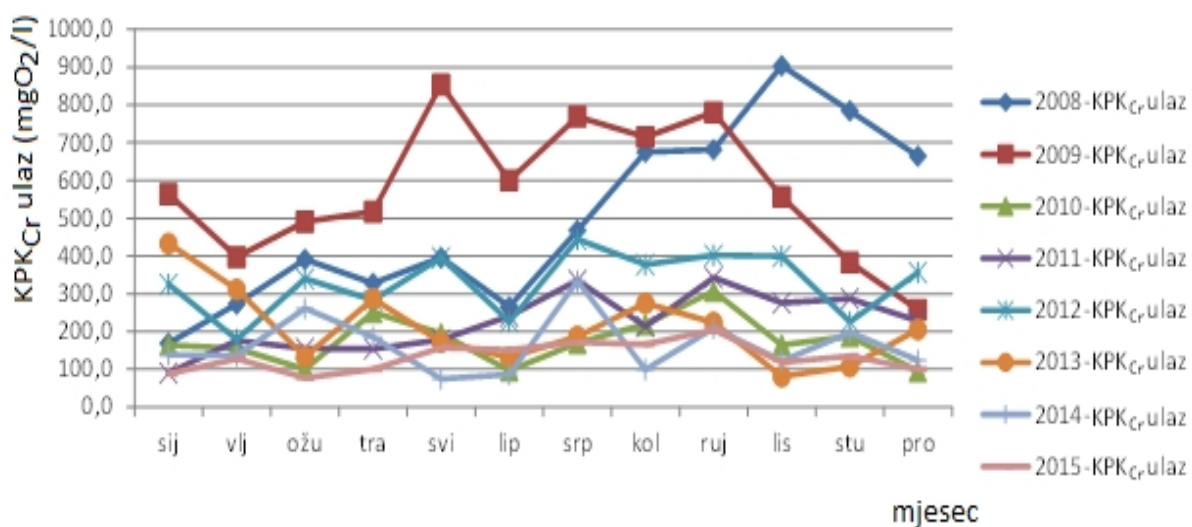
Tablica 20. Statistička analiza mjerenih BPK₅ vrijednosti izlazne otpadne vode

Minimum	2,00
Maksimum	15,40
Aritmetička sredina	5,24
Standardna devijacija	2,35
Broj mjerenja	96

Tablica 21. Prosječne mjesečne vrijednosti kemijske potrošnje kisika (KPK_{Cr}) ulazne otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008.-2015.)

KPK_{Cr} ulaz (mg/l)	2008- KPK_{Cr} ulaz	2009- KPK_{Cr} ulaz	2010- KPK_{Cr} ulaz	2011- KPK_{Cr} ulaz	2012- KPK_{Cr} ulaz	2013- KPK_{Cr} ulaz	2014- KPK_{Cr} ulaz	2015- KPK_{Cr} ulaz
siječanj	168,5	563,8	164,8	90,1	325,0	433,4	138,4	88,3
veljača	273,6	397,3	154,9	175,9	179,1	311,9	136,0	127,5
ožujak	391,3	491,1	100,4	155,3	339,7	133,2	261,4	77,3
travanj	327,8	517,6	251,6	154,7	282,8	286,6	185,6	100,1
svibanj	395,8	854,1	194,5	177,9	395,4	172,2	74,9	157
lipanj	266,0	600,6	97,0	241,0	226,4	131,4	86,7	151,5
srpanj	467,6	769,1	169,8	335,2	444,1	187,2	333,1	171,8
kolovoz	675,3	714,8	219,4	213,9	377,8	275,0	99,0	166,5
rujan	681,5	780,7	306,6	343,0	402,1	224,0	209,2	204,3
listopad	904,1	557,1	164,6	275,9	399,7	81,1	122,7	118,6
studeni	784,1	383,1	187,0	287,0	225,3	108,0	197,7	134,9
prosinac	664,4	257,4	94,6	228,0	356,0	205,4	124,4	100,1
granična vrijednost*	KPK _{Cr} se ne ograničava ako uređaj za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda postiže stupanj pročišćavanja u skladu s odredbama ovoga Pravilnika							

*sukladno Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 80/2013)



Slika 26. Prikaz promjena prosječnih mjesečnih KPK_{Cr} vrijednosti ulazne otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.)

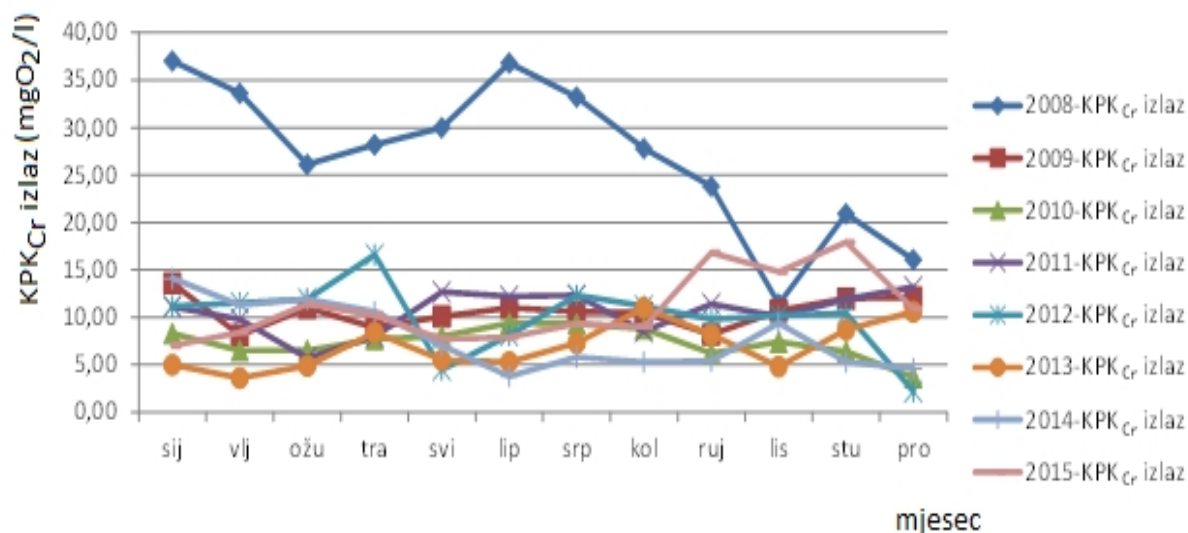
Tablica 22. Statistička analiza mjerenih KPK_{Cr} vrijednosti ulazne otpadne vode

Minimum	74,90
Maksimum	904,10
Aritmetička sredina	288,95
Standardna devijacija	194,32
Broj mjerenja	96

Tablica 23. Prosječne mjesečne vrijednosti kemijske potrošnje kisika (KPK_{Cr}) izlazne otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.)

KPK_{Cr} izlaz (mg/l)	2008- KPK_{Cr} izlaz	2009- KPK_{Cr} izlaz	2010- KPK_{Cr} izlaz	2011- KPK_{Cr} izlaz	2012- KPK_{Cr} izlaz	2013- KPK_{Cr} izlaz	2014- KPK_{Cr} izlaz	2015- KPK_{Cr} izlaz
siječanj	37,0	13,6	8,3	11,1	11,2	5,0	14,1	7,0
veljača	33,6	8,1	6,5	9,8	11,5	3,6	11,3	8,4
ožujak	26,1	11,0	6,5	5,7	11,9	4,9	11,9	11,4
travanj	28,2	8,9	7,7	8,0	16,6	8,4	10,6	10,2
svibanj	30,0	10,1	8,0	12,7	4,5	5,5	7,0	7,7
lipanj	36,8	11,0	9,4	12,2	8,1	5,3	3,8	7,9
srpanj	33,2	10,6	9,3	12,3	12,3	7,3	5,8	9,3
kolovoz	27,8	10,5	8,8	8,5	11,2	11,0	5,3	9,0
rujan	23,8	8,2	6,2	11,4	9,8	8,2	5,4	16,8
listopad	11,4	10,7	7,4	10,1	10,2	4,8	9,4	14,8
studeni	20,9	12,0	6,4	11,9	10,4	8,7	5,3	17,9
prosinac	16,1	12,1	3,7	13,2	2,2	10,6	4,6	10,9
granična vrijednost*	125,0							

*sukladno Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 80/2013)



Slika 27. Prikaz promjena prosječnih mjesečnih KPK_{Cr} vrijednosti izlazne otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.)

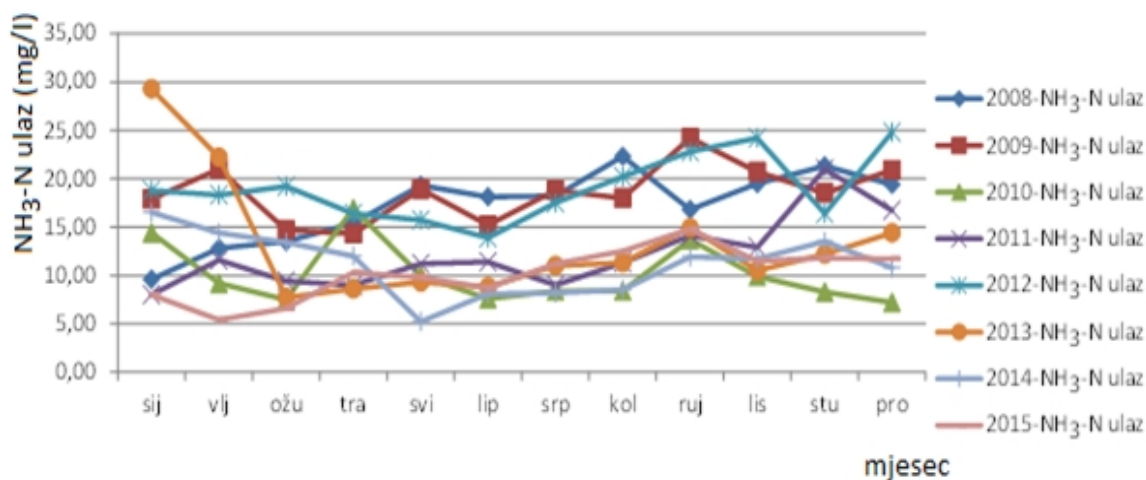
Tablica 24. Statistička analiza mjerenih KPK_{Cr} vrijednosti izlazne otpadne vode

Minimum	2,20
Maksimum	37,00
Aritmetička sredina	11,41
Standardna devijacija	7,13
Broj mjerenja	96

Tablica 25. Prosječne mjesečne vrijednosti koncentracije amonijaka (NH₃-N) ulazne otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008.-2015.)

NH ₃ -N ulaz (mg/l)	2008-NH ₃ -N ulaz	2009-NH ₃ -N ulaz	2010-NH ₃ -N ulaz	2011-NH ₃ -N ulaz	2012-NH ₃ -N ulaz	2013-NH ₃ -N ulaz	2014-NH ₃ -N ulaz	2015-NH ₃ -N ulaz
siječanj	9,6	17,9	14,4	8	18,8	29,3	16,5	8
veljača	12,8	21	9,2	11,6	18,3	22,2	14,4	5,4
ožujak	13,5	14,7	7,5	9,4	19,2	7,7	13,4	6,6
travanj	15,4	14,3	16,9	9	16,4	8,6	12	10,3
svibanj	19,3	18,9	10	11,2	15,7	9,3	5,2	9,8
lipanj	18,1	15,2	7,6	11,4	13,9	8,8	8,1	8,7
srpanj	18,2	18,8	8,4	9	17,5	11	8,2	11,2
kolovoz	22,3	18	8,4	11,3	20,2	11,3	8,5	12,5
rujan	16,8	24,2	13,7	14,1	22,8	14,9	11,9	14,8
listopad	19,5	20,7	9,9	12,9	24,2	10,5	11,7	11,5
studeni	21,3	18,5	8,3	21	16,4	12,2	13,5	11,8
prosinac	19,4	20,9	7,2	16,7	24,8	14,4	10,8	11,7
granična vrijednost*	-							

*sukladno Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 80/2013)



Slika 28. Prikaz promjena prosječnih mjesečnih koncentracije amonijaka (NH₃-N) ulazne otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.)

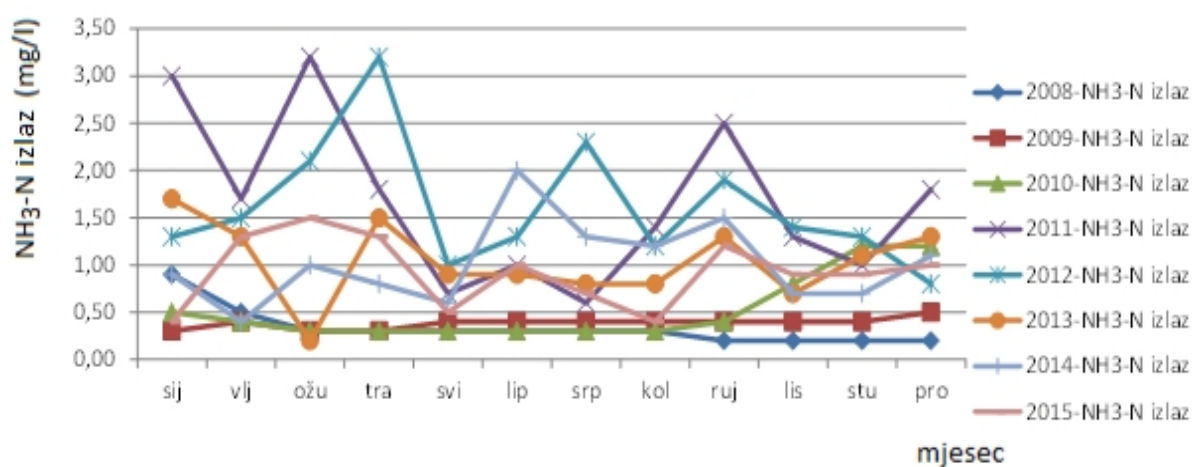
Tablica 26. Statistička analiza mjerenih koncentracija NH₃-N vrijednosti ulazne otpadne vode

Minimum	5,20
Maksimum	29,30
Aritmetička sredina	13,97
Standardna devijacija	5,05
Broj mjerenja	96

Tablica 27. Prosječne mjesečne vrijednosti koncentracije amonijaka (NH₃-N) izlazne otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.)

NH ₃ -N izlaz (mg/l)	2008-NH ₃ -N izlaz	2009-NH ₃ -N izlaz	2010-NH ₃ -N izlaz	2011-NH ₃ -N izlaz	2012-NH ₃ -N izlaz	2013-NH ₃ -N izlaz	2014-NH ₃ -N izlaz	2015-NH ₃ -N izlaz
siječanj	0,9	0,3	0,5	3	1,3	1,7	0,9	0,4
veljača	0,5	0,4	0,4	1,7	1,5	1,3	0,4	1,3
ožujak	0,3	0,3	0,3	3,2	2,1	0,2	1	1,5
travanj	0,3	0,3	0,3	1,8	3,2	1,5	0,8	1,3
svibanj	0,3	0,4	0,3	0,7	1	0,9	0,6	0,5
lipanj	0,3	0,4	0,3	1	1,3	0,9	2	1
srpanj	0,3	0,4	0,3	0,6	2,3	0,8	1,3	0,7
kolovoz	0,3	0,4	0,3	1,4	1,2	0,8	1,2	0,4
rujan	0,2	0,4	0,4	2,5	1,9	1,3	1,5	1,2
listopad	0,2	0,4	0,8	1,3	1,4	0,7	0,7	0,9
studeni	0,2	0,4	1,2	1	1,3	1,1	0,7	0,9
prosinac	0,2	0,5	1,2	1,8	0,8	1,3	1,1	1
granična vrijednost*	10							

*sukladno Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 80/2013)



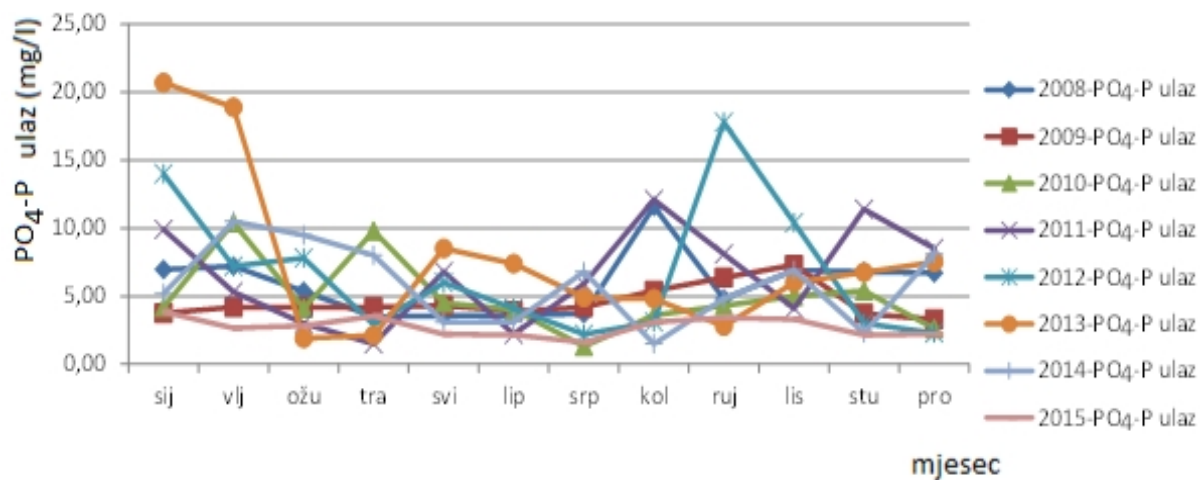
Slika 29. Prikaz promjena prosječnih mjesečnih koncentracije amonijaka izlaze otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.)

Tablica 28. Statistička analiza mjerenih koncentracija NH₃-N vrijednosti izlazne otpadne vode

Minimum	0,20
Maksimum	3,20
Aritmetička sredina	0,94
Standardna devijacija	0,66
Broj mjerenja	96

Tablica 29. Prosječne mjesečne vrijednosti koncentracije ukupnog fosfora (uk. P) ulazne otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.)

uk. P ulaz	2008- uk. P ulaz	2009- uk. P ulaz	2010- uk. P ulaz	2011- uk. P ulaz	2012- uk. P ulaz	2013- uk. P ulaz	2014- uk. P ulaz	2015- uk k. P ulaz
siječanj	6,95	3,75	4,2	9,9	14	20,7	5,2	3,84
veljača	7,2	4,2	10,4	5,3	7,2	18,9	10,5	2,65
ožujak	5,35	4,2	4,1	3	7,8	1,9	9,5	2,81
travanj	3,5	4,2	9,8	1,5	2,9	2,1	8	3,52
svibanj	3,55	4,3	4,5	6,8	6	8,5	3,1	2,2
lipanj	3,6	3,9	4	2,2	4,1	7,4	3,12	2,15
srpanj	3,7	4,2	1,3	5,9	2,2	4,9	6,8	1,6
kolovoz	11,6	5,4	3,6	12,1	3,1	4,8	1,5	3,08
rujan	4,8	6,35	4,3	8,1	17,8	2,8	4,8	3,4
listopad	6,9	7,3	5	4,1	10,4	6	6,9	3,3
studen	6,8	3,7	5,4	11,4	3	6,75	2,3	2,16
prosinac	6,7	3,3	2,6	8,5	2,3	7,5	8,1	2,21
granična vrijednost*	-							



Slika 30. Prikaz promjena prosječnih mjesečnih koncentracije ukupnog fosfora ulazne otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.)

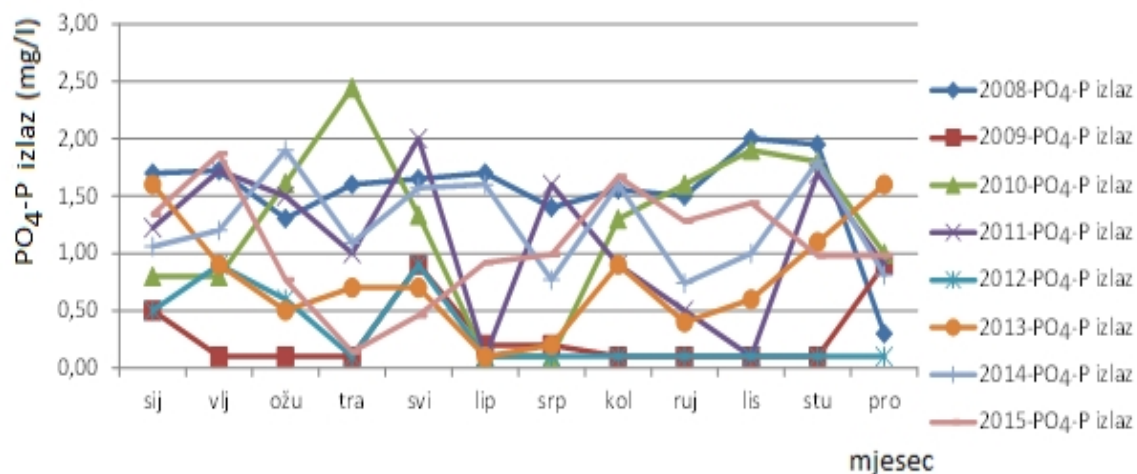
Tablica 30. Statistička analiza mjerenih koncentracija uk. P vrijednosti ulazne otpadne vode

Minimum	1,30
Maksimum	20,70
Aritmetička sredina	5,62
Standardna devijacija	3,64
Broj mjerenja	96

Tablica 31. Prosječne mjesečne vrijednosti koncentracije ukupnog fosfora (uk. P) izlaze otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.)

uk. P izlaz	2008- uk. P izlaz	2009- uk. P izlaz	2010- uk. P izlaz	2011- uk. P izlaz	2012- uk. P izlaz	2013- uk. P izlaz	2014- uk. P izlaz	2015- uk. P izlaz
siječanj	1,7	0,5	0,8	1,22	0,5	1,6	1,06	1,34
veljača	1,72	0,1	0,8	1,72	0,9	0,9	1,2	1,87
ožujak	1,31	0,1	1,61	1,5	0,6	0,5	1,9	0,77
travanj	1,6	0,1	2,44	1	0,1	0,7	1,09	0,14
svibanj	1,65	0,9	1,33	2	0,9	0,7	1,57	0,46
lipanj	1,7	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	1,6	0,92
srpanj	1,4	0,2	0,1	1,6	0,1	0,2	0,77	0,99
kolovoz	1,56	0,1	1,3	0,9	0,1	0,9	1,6	1,67
rujan	1,5	0,1	1,6	0,5	0,1	0,4	0,74	1,28
listopad	2	0,1	1,9	0,1	0,1	0,6	1	1,44
studeni	1,95	0,1	1,8	1,7	0,1	1,1	1,8	0,98
prosinac	0,3	0,9	1	0,9	0,1	1,6	0,81	0,98
granična vrijednost*	2							

*sukladno Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 80/2013)



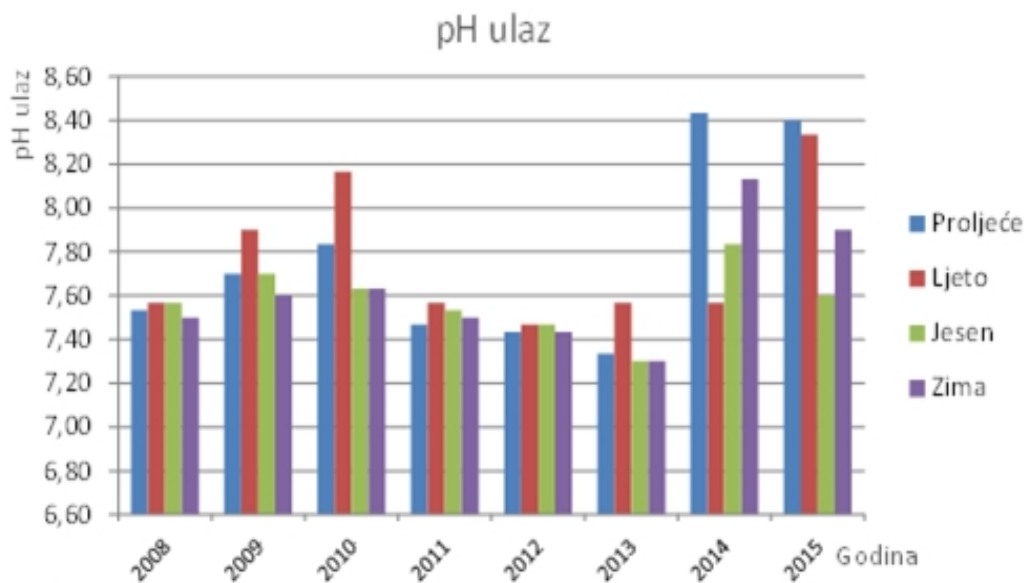
Slika 31. Prikaz promjena prosječnih mjesečnih koncentracije ukupnog fosfora izlaze otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.)

Tablica 32. Statistička analiza mjerenih koncentracija uk. P vrijednosti izlaze otpadne vode

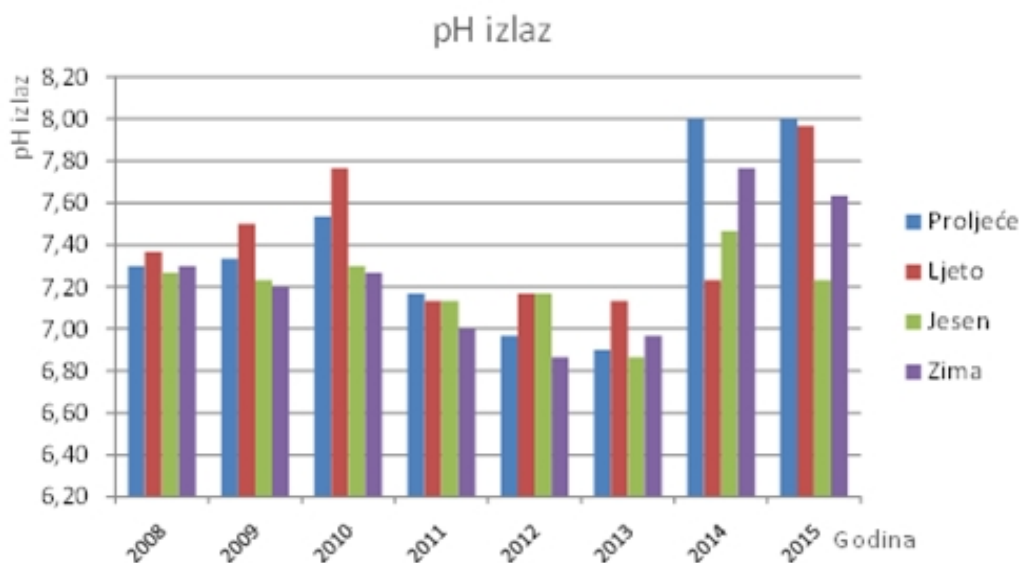
Minimum	0,10
Maksimum	2,44
Aritmetička sredina	0,95
Standardna devijacija	0,63
Broj mjerenja	96

4.3. UTJECAJ PROMJENE GODIŠNJIH DOBA NA KAKVOĆU ULAZNE I IZLAZNE OTPADNE VODE

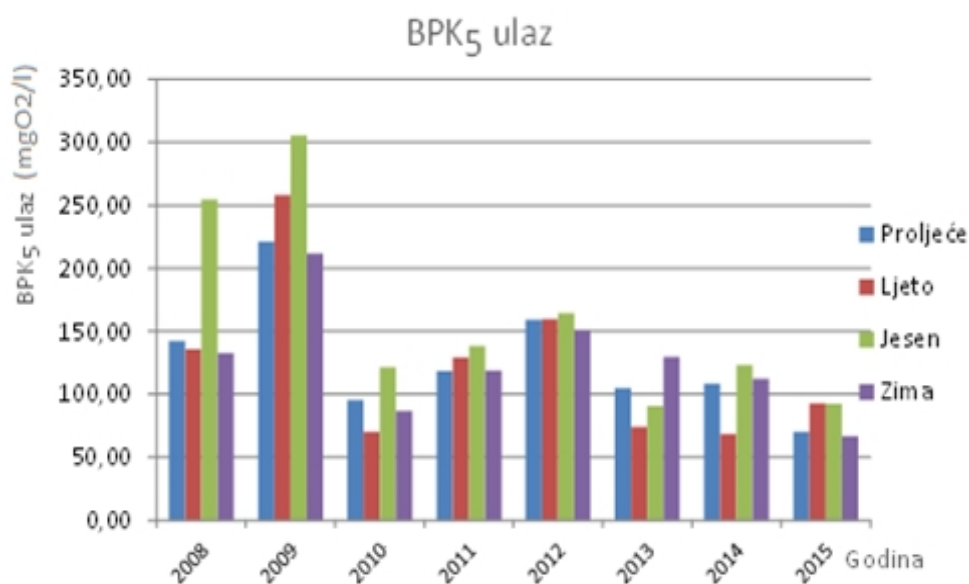
Utjecaj promjene godišnjih doba na kakvoću ulazne i izlazne otpadne vode prikazan je na slikama 32 - 41 usporedbom prosječnih vrijednosti pH, BPK₅, KPK_{Cr} te koncentracija amonijaka i ukupnog fosfora u ulaznim i izlaznim uzorcima otpadne vode na UPOV „Jošine“ zabilježenih u veljači, svibnju, kolovozu i studenom tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015. godine).



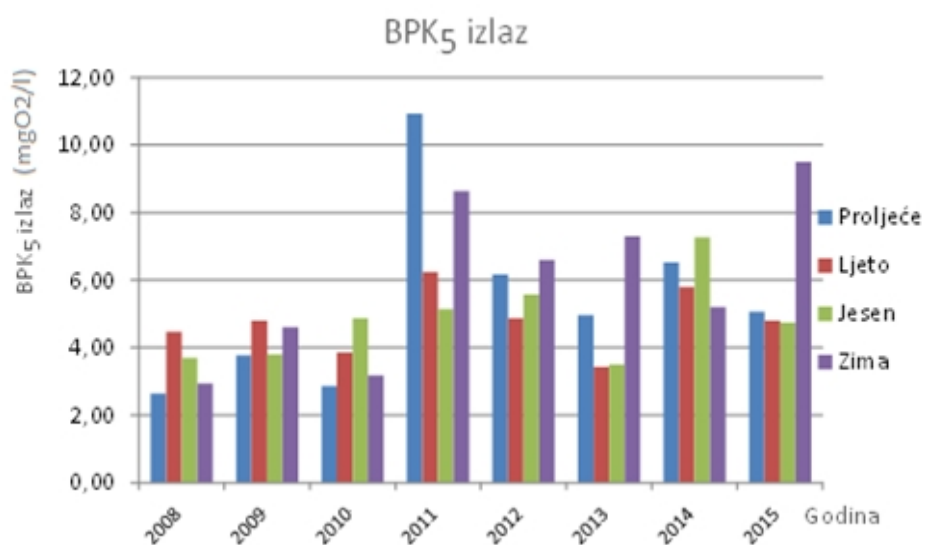
Slika 32. Utjecaj promjene godišnjih doba na pH vrijednost ulazne otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.)



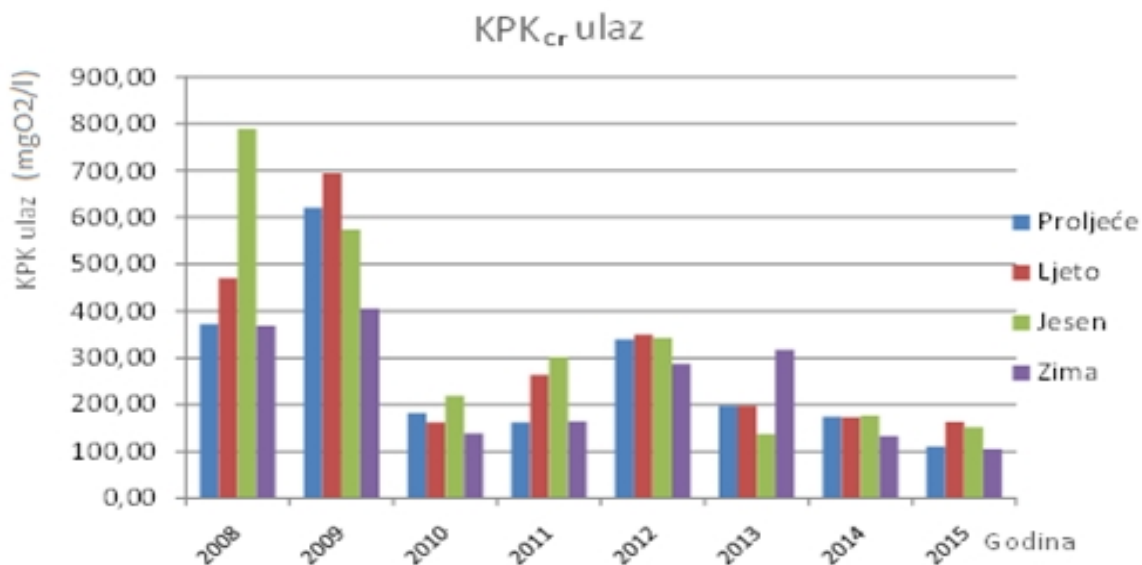
Slika 33. Utjecaj promjene godišnjih doba na pH vrijednost izlazne otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.)



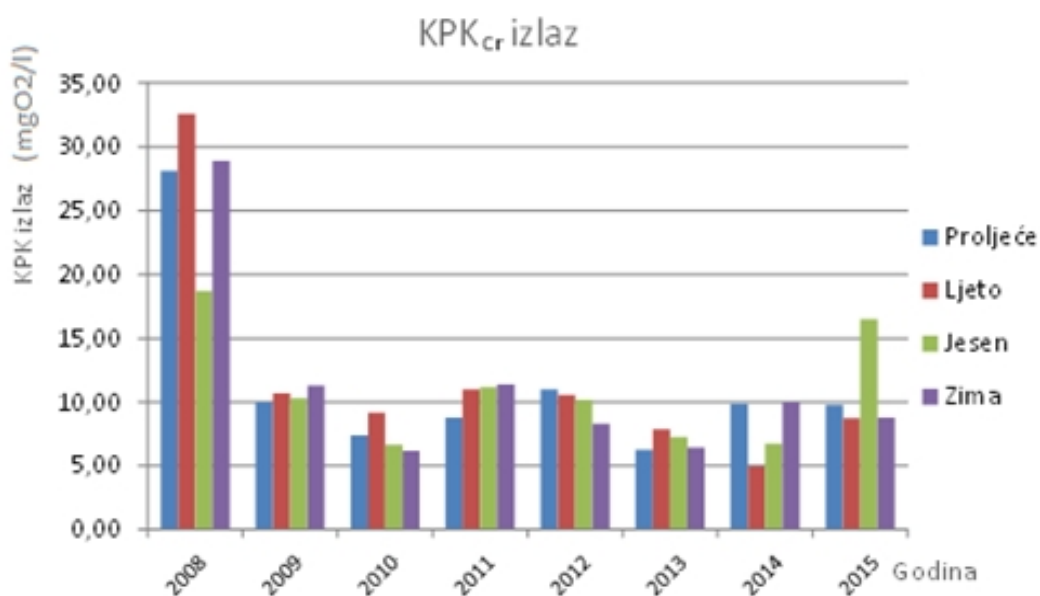
Slika 34. Utjecaj promjene godišnjih doba na BPK₅ vrijednost ulazne otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.).



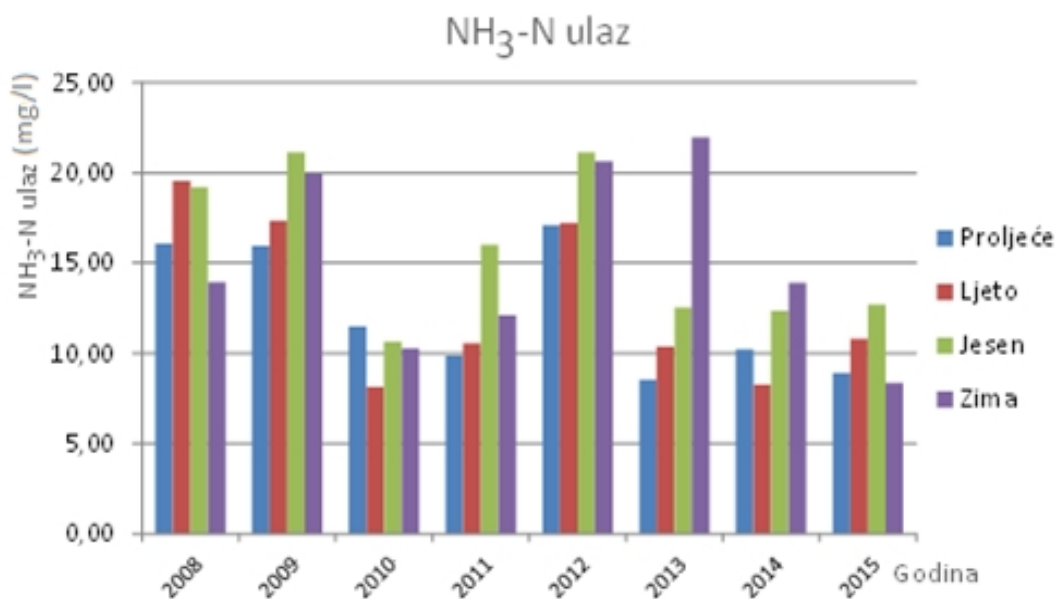
Slika 35. Utjecaj promjene godišnjih doba na BPK₅ vrijednost izlazne otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.).



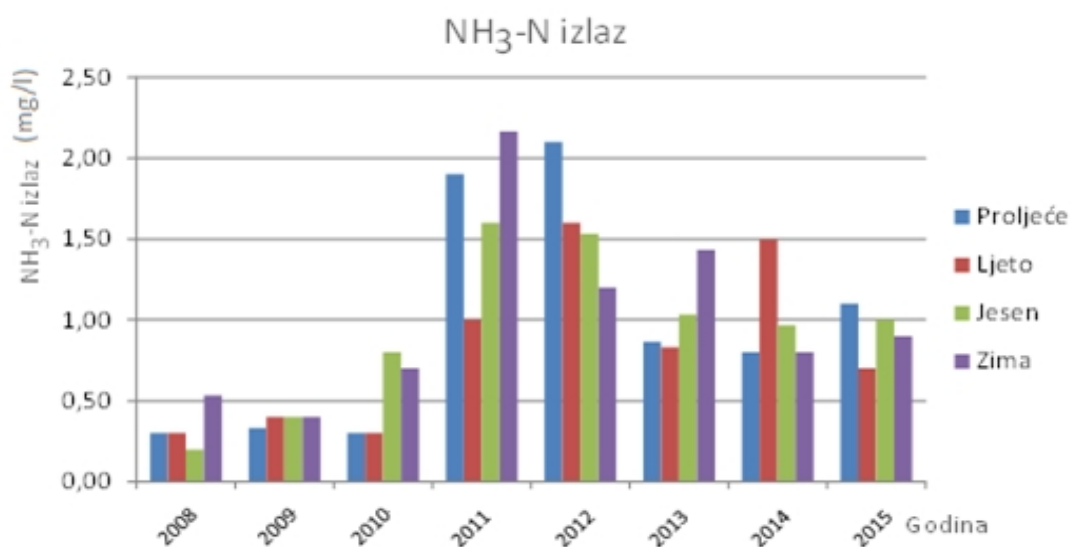
Slika 36. Utjecaj promjene godišnjih doba na KPK_{Cr} vrijednost ulazne otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.).



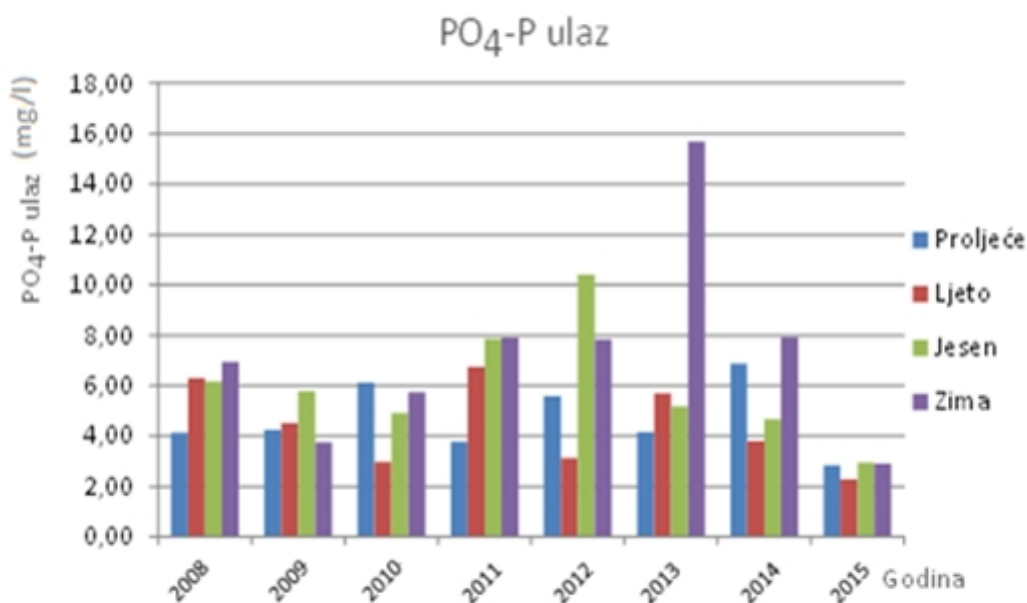
Slika 37. Utjecaj promjene godišnjih doba na KPK_{Cr} vrijednost izlazne otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.).



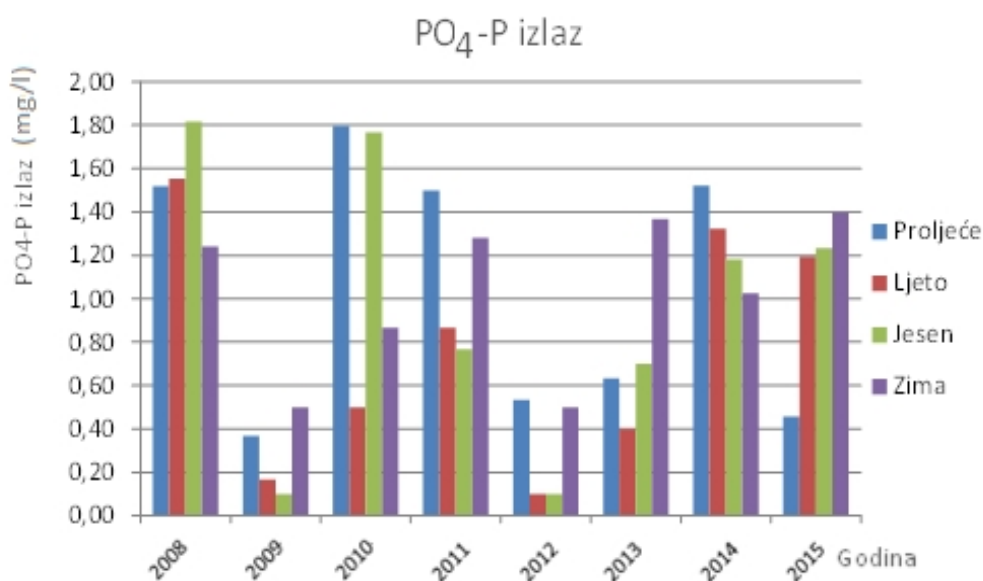
Slika 38. Utjecaj promjene godišnjih doba na koncentraciju amonijaka u ulaznoj otpadnoj vodi na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.).



Slika 39. Utjecaj promjene godišnjih doba na koncentraciju amonijaka u izlaznoj otpadnoj vodi na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.).



Slika 40. Utjecaj promjene godišnjih doba na koncentraciju ortofosfata u ulaznoj otpadnoj vodi na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.).



Slika 41. Utjecaj promjene godišnjih doba na koncentraciju ortofosfata u izlaznoj otpadnoj vodi na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.).

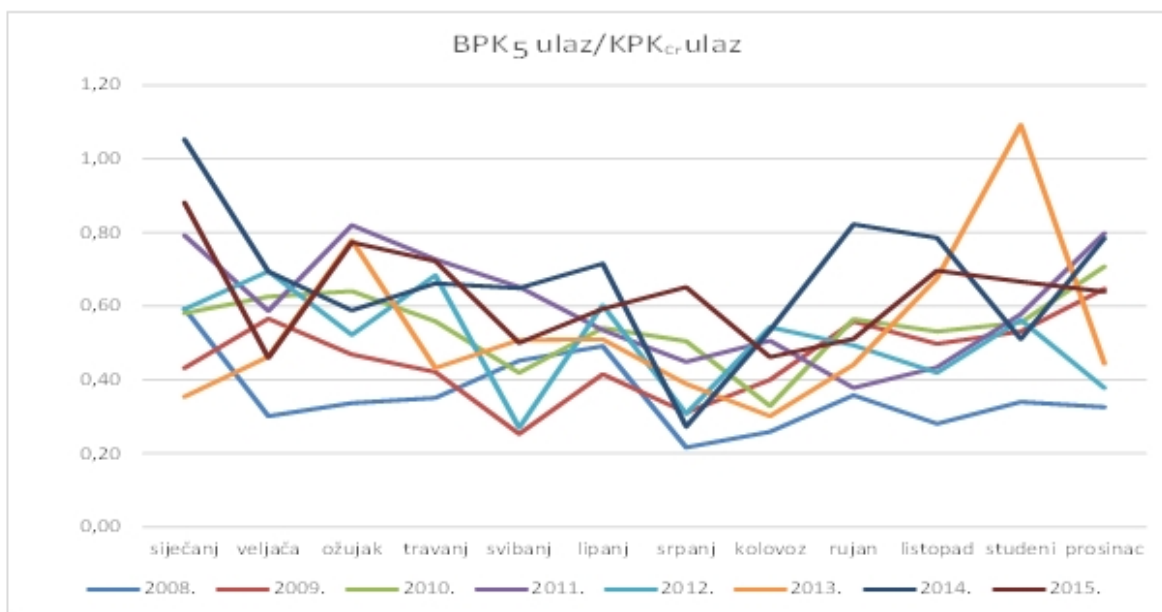
4.4. UTJECAJ PROMJENE GODIŠNJIH DOBA NA BIOLOŠKU RAZGRADLJIVOST ULAZNE I IZLAZNE OTPADNE VODE

Biološka razgradljivost otpadne vode izražava se omjerom BPK_5 i KPK_{Cr} vrijednosti. Za otpadne vode kućanstava omjer BPK_5 i KPK_{Cr} najčešće iznosi od 0,4 do 0,8 što ukazuje na visok stupanj biološke razgradivosti (Matošić, 2014.).

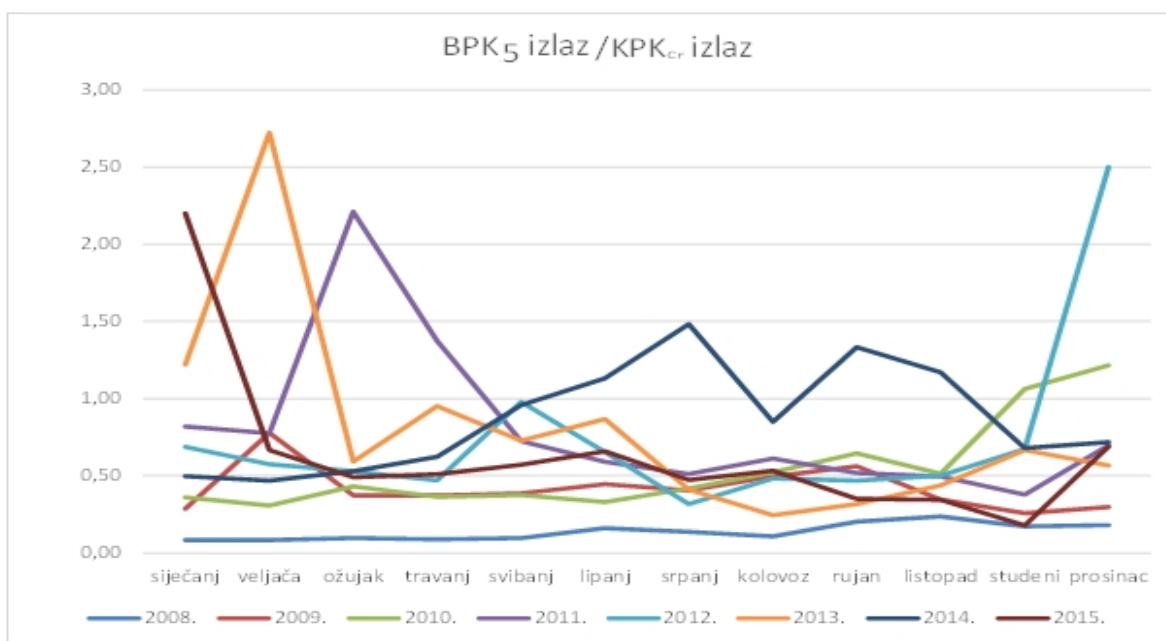
Utjecaj promjene godišnjih doba na biološku razgradivost ulazne i izlazne otpadne vode prikazan je u tablici 33 te na slikama 42 i 43 kao omjer prosječnih mjesečnih vrijednosti BPK_5 i KPK_{Cr} određen u ulaznim i izlaznim uzorcima otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015. godine).

Tablica 33. Prosječne mjesečne vrijednosti biološke razgradivosti ulazne i izlazne otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.)

	BPK ₅ ulaz/KPK _{Cr} ulaz							
	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.
siječanj	0,59	0,43	0,58	0,79	0,59	0,35	1,05	0,88
veljača	0,30	0,57	0,63	0,59	0,70	0,46	0,69	0,46
ožujak	0,34	0,47	0,64	0,82	0,52	0,78	0,59	0,77
travanj	0,35	0,42	0,56	0,73	0,68	0,43	0,66	0,72
svibanj	0,45	0,25	0,42	0,65	0,27	0,51	0,65	0,50
lipanj	0,49	0,42	0,54	0,54	0,60	0,51	0,72	0,59
srpanj	0,22	0,31	0,51	0,45	0,31	0,39	0,27	0,65
kolovoz	0,26	0,40	0,33	0,51	0,54	0,30	0,53	0,46
rujan	0,36	0,56	0,57	0,38	0,49	0,44	0,82	0,51
listopad	0,28	0,50	0,53	0,43	0,42	0,68	0,79	0,70
studen	0,34	0,53	0,56	0,58	0,56	1,09	0,51	0,67
prosinac	0,33	0,65	0,71	0,80	0,38	0,44	0,78	0,64
	BPK ₅ izlaz/KPK _{Cr} izlaz							
	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.
siječanj	0,08	0,29	0,36	0,82	0,69	1,22	0,50	2,20
veljača	0,08	0,78	0,31	0,78	0,57	2,72	0,47	0,67
ožujak	0,10	0,37	0,43	2,21	0,53	0,59	0,53	0,49
travanj	0,09	0,37	0,36	1,38	0,47	0,95	0,62	0,51
svibanj	0,10	0,39	0,38	0,72	0,98	0,73	0,96	0,57
lipanj	0,16	0,45	0,33	0,59	0,65	0,87	1,13	0,66
srpanj	0,14	0,41	0,42	0,51	0,32	0,41	1,48	0,47
kolovoz	0,11	0,50	0,52	0,61	0,48	0,25	0,85	0,53
rujan	0,20	0,56	0,65	0,52	0,47	0,32	1,33	0,35
listopad	0,24	0,35	0,51	0,50	0,50	0,44	1,17	0,34
studen	0,17	0,26	1,06	0,38	0,67	0,67	0,68	0,18
prosinac	0,18	0,30	1,22	0,70	2,50	0,57	0,72	0,69



Slika 42. Prikaz promjena vrijednosti biološke razgradivosti ulazne otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.).



Slika 43. Prikaz promjena vrijednosti biološke razgradivosti izlazne otpadne vode na UPOV „Jošine“ tijekom osmogodišnjeg razdoblja (2008. - 2015.).

RASPRAVA

5.1. Fizikalno-kemijski pokazatelji kvalitete otpadne vode

Rezultati višegodišnjeg praćenja vrijednosti ulaznih i izlaznih pokazatelja kakvoće otpadne vode na uređaju za pročišćavanje otpadne vode „Jošine“ u Vinkovcima prikazani su u tablicama 3 - 10. Ispitivanja kakvoće otpadne vode, odnosno praćenje učinkovitosti pročišćavanja otpadnih voda biološkim procesima provedeno je u vremenskom periodu od 2008. do 2015.godine.

Rezultati analiza pokazuju da se izmjerene pH vrijednosti ulazne otpadne vode kreću od 7,2 do najviše 8,7 koja je izmjerena u lipnju 2010.godine (slika 22). Kod izlazne otpadne vode izmjerene pH vrijednosti su u rasponu od 6,8 do najviše 8,5 koja je također izmjerena u lipnju 2010. godine (slika 23). Istog mjeseca zabilježena je izrazito velik dotok vode na uređaj u odnosu na prosjek i iznosio je 613057 m³. Sve izmjerene pH vrijednosti izlazne pročišćene otpadne vode UPOV „Jošine“ bile su u skladu s graničnim pH vrijednostima za emisiju onečišćujućih tvari u površinske vode (6,5-9,0) koje propisuje Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 153/09, 63/11, 130/11, 15/13)

Prosječne mjesečne vrijednosti biološke potrošnje kisika (BPK₅) ulazne otpadne i izlazne pročišćene vode na UPOV „Jošine“, praćene tijekom osmogodišnjeg razdoblja (od 2008. do 2015.), kretale su se u rasponu od 435 mgO₂/l, najviše vrijednosti izmjerene na ulazu u rujnu 2009. godine (slika 24), do najniže koncentracije zabilježene u lipnju 2010. godine od 52,5 mgO₂/l. Može se primijetiti da u mjesecu kada je zabilježena najviša BPK₅ vrijednost bio izrazito nizak dotok vode na uređaj i iznosio je 213916 m³ uslijed čega je došlo do zasićenosti, odnosno povećanog udjela organske tvari u otpadnoj vodi. Isto tako, iznadprosječan dotok vode na uređaj u lipnju 2010. uzrokovao je značajno razrjeđenje otpadne vode te se u navedenom mjesecu bilježi i najniža BPK₅ vrijednost.

Usporedbom navedenih vrijednosti s BPK₅ vrijednostima izlazne pročišćene vode prikazanih na slici 25, uočava se da je najniža BPK₅ vrijednost (2 mgO₂/l) izmjerena u veljači 2010. godine, dok je najviša vrijednost BPK₅ izlazne pročišćene vode zabilježena u ožujku 2011. godine (12,6 mgO₂/l). Značajna razlika između prosječnih BPK₅ vrijednosti ulazne otpadne i izlazne pročišćene otpadne vode tijekom praćenog osmogodišnjeg razdoblja upućuje na visoku učinkovitost biološke obrade otpadnih voda grada Vinkovaca. Sukladno Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija

otpadnih voda (NN 153/09, 63/11, 130/11, 15/13) granična vrijednost pokazatelja BPK₅ za vode koje se ispuštaju u površinske vode iznosi 25 mgO₂/l. Može se zaključiti da su sve utvrđene BPK₅ vrijednosti izlazne pročišćene vode u skladu s odredbama prethodno navedenog Pravilnika.

Pregledom izmjerenih vrijednosti kemijske potrošnje kisika (KPK_{Cr}) u ulaznoj otpadnoj vodi tijekom promatranog osmogodišnjeg razdoblja, uočava se da su vrijednosti navedenog pokazatelja kretale u širokom rasponu od najniže vrijednosti od 81,1 mg O₂/l, zabilježene u listopadu 2013. godine do najviše vrijednosti zabilježena u svibnju 2009. godine (slika 26) od 854,1 mgO₂/l. Uvidom su sliku 27, na kojoj su prikazane prosječne mjesečne vrijednosti kemijske potrošnje kisika izlaznih uzoraka pročišćene otpadne vode u promatranom osmogodišnjem razdoblju, uočava se da je najniža vrijednost KPK_{Cr} bila izmjerena u prosincu 2012. godine i iznosila je 2,2 mgO₂/l, a najviša prosječna vrijednost je zabilježena u siječnju 2008. godine (37 mgO₂/l). Ovdje valja napomenuti da je tijekom cijele 2009. godini bilježena povećana vrijednost koncentracije KPK_{Cr} ulazne otpadne vode u odnosu na ostale promatrane godine što je najvjerojatnije posljedica nižeg dotoka vode na uređaj tokom cijele 2009. godine. Također se ne može niti isključiti mogućnost nepropisnog ispuštanja izrazito opterećenih otpadnih voda kao što su npr. otpadne vode stočarskih farmi u kanalizacijsku mrežu čemu nažalost pribjegavaju pojedini građani radi premale svijesti o očuvanju okoliša ili izbjegavanja financijskih izdataka koji podrazumijevaju zbrinjavanje tako opterećenih otpadnih voda. Važno je napomenuti da su i tijekom navedenog razdoblja s iznadprosječnim vrijednostima KPK_{Cr}, vrijednosti kemijske potrošnje kisika (KPK_{Cr}) u svim analiziranim uzorcima izlazne pročišćene vode bili ispod granične vrijednosti od 125 mgO₂/l propisane za vode koje se ispuštaju u površinske vode Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 153/09, 63/11, 130/11, 15/13)

Koncentracije amonijaka (NH₃-N) otpadnih voda grada Vinkovaca na ulazu u UPOV „Jošine“ kretale su u rasponu od 7,6 mg/l, zabilježenih tijekom prosinca 2010. godine, do 29,3 mg/l zabilježenih tijekom siječnja 2013. (slika 28). Prosječne koncentracije amonijaka u izlaznoj pročišćenoj otpadnoj vodi grada Vinkovaca prikazane su na slici 29 gdje je uočljivo da je prosječno najviša izlazna koncentracije amonijaka od 3,2 mg/l zabilježena u ožujku 2011. godine, dok su najniže prosječne vrijednosti u iznosu od 0,2 mg/l zabilježene u rujnu 2010., 2011. i 2012. godine. Pravilnik o graničnim

vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 153/09, 63/11, 130/11, 15/13) ne propisuje graničnu vrijednost koncentracije amonijaka u ulaznoj otpadnoj vodi na uređaj, dok je za izlaznu pročišćenu vodu koja se ispušta u površinske vodne cijeline navedenim Pravilnikom propisana granična vrijednost koncentracije amonijaka od 10 mg/l. Tijekom promatranog osmogodišnjeg razdoblja nije zabilježeno odstupanje od navedene granične vrijednosti koncentracije amonijaka za izlaznu vodu koja se ispušta u rijeku Bosut.

Učinkovitost biološke obrade otpadne vode praćen je i određivanjem koncentracije ukupnog fosfora u ulaznoj otpadnoj vodi te izlaznoj pročišćenoj vodi, a dobiveni rezultati prikazani su na slikama 30 i 31. Tijekom navedenog razdoblja najniža prosječna mjesečna koncentracija ukupnog fosfora u uzorcima ulazne otpadne vode iznosila je 1,5 mg/l i zabilježena je u kolovozu 2014. godine (slika 30), dok je najviša prosječna koncentracija od 20,7 mg/l zabilježena tijekom siječnja 2013. godine (slika 30). Koncentracije ukupnog fosfora u izlaznoj pročišćenoj vodi najčešće su tijekom praćenog osmogodišnjeg razdoblja, imale vrijednost od 0,1 mg/l, dok je najviša prosječna vrijednost koncentracija ukupnog fosfora zabilježena u travnju 2010. godine. Treba istaknuti da navedena najviša koncentracija ukupnog fosfora prelazi graničnu vrijednost propisanu Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 153/09, 63/11, 130/11, 15/13) od 2,0 mg/l za vode koje se ispuštaju u površinske vode s uređaja na koji je priključeno od 10 000 do 100.000 ES. No, navedeno odstupanje je zabilježeno samo navedenog mjeseca 2010. godine, dok su sve druge zabilježene prosječne mjesečne vrijednosti izlazne koncentracije ukupnog fosfora bile u skladu s odredbom navedenog Pravilnika. Isti Pravilnik ne propisuje graničnu vrijednost koncentracije ukupnog fosfora u otpadnoj vodi na ulazu u uređaj već navodi da koncentracija ukupnog fosfora u otpadnim vodama u sustavu javne odvodnje nije ograničena ako uređaj za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda postiže stupanj pročišćavanja u skladu s odredbama navedenog Pravilnika.

Omjer BPK_5 i KPK_{Cr} vrijednosti je pokazatelj biološke razgradivosti sastojaka u otpadnoj vodi, a izračunate prosječne vrijednosti biološke razgradljivosti ulazne otpadne i izlazne pročišćene otpadne vode prikazane su u tablici 33 te na slikama 42 i 43. Omjeri su uglavnom ujednačeni i kreću se za ispitivano razdoblje u slučaju ulazne otpadne vode u rasponu od 0,22 (srpanj 2008.) do 1,09 (studeni 2013.) te za pročišćenu izlaznu vodu od 0,08 (siječanj i veljača 2008.) do 2,72 (veljača 2013.).

Ipak, najviše prosječnih vrijednosti biološke razgradljivosti se nalazi u rasponu vrijednosti od 0,4 do 0,8 što ukazuje na visok stupanj biološke razgradljivosti (Matošić, 2014.)

Prema podacima monitoringa Hrvatskih voda d.d. i sukladno Uredbi o standardu kakvoće voda, Zakona o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11 i 56/13) rijeka Bosut pripada tipu HR-R_3b odnosno nizinskim malim, srednje-velikim i velikim aluvijalnim tekućicama s glinovito-pjeskovitom podlogom. Prema prosječnim pH vrijednostima rijeke Bosut nizvodno od Vinkovaca te uzvodno govorimo o vrlo dobrom ekološkom stanju, no određujući ekološko stanje rijeke Bosut, recipijenta pročišćenih otpadnih voda UPOV „Jošine“, temeljem ostalih fizikalno–kemijske pokazatelja (KPK_{Cr} , Mn, BPK_5 , koncentracija amonijaka, nitrata, ortofosfata i ukupnog fosfora), rijeka Bosut uzvodno i nizvodno od Vinkovaca je umjerenog ekološkog stanja, dok je u pogledu prosječnih vrijednosti BPK_5 , KPK_{Cr} te koncentracije amonijaka i ukupnog dušika dobrog ekološkog stanja (usmeni izvori).

U pogledu specifičnih onečišćujućih tvari Bosut je vrlo dobrog ekološkog stanja, a prema klasifikaciji kemijskog stanja površinskih kopnenih voda područja podsliva rijeke Save u 2013. godini Bosut je okarakteriziran kao vrlo dobrog ekološkog stanja uzimajući u obzir izmjerene vrijednosti alaklora, atrazina, 1,2-dikloretana, diklormetana, endosulfana, heksaklorbenzena, heksaklorbutadiena i heksaklorcikloheksana (usmeni izvori).

5.2. Osvrt na prosječne vrijednosti fizikalno-kemijskih analiza tijekom pojedinih godišnjih doba

Utjecaj sezonskih promjena na srednje vrijednosti analiziranih fizikalno-kemijskih pokazatelja tijekom praćenog osmogodišnjeg razdoblja prikazano je na slikama 32-41.

Usporedbom prosječnih pH vrijednosti ulazne otpadne vode tijekom pojedinih godišnjih doba uočava se da su najveće pH vrijednosti najčešće zabilježene tijekom ljetnih mjeseci, a najniže tijekom zimskih mjeseci (slika 32). Jednaki trend zabilježen je i kod prosječnih pH vrijednosti izlazne pročišćene otpadne vode grada Vinkovaca, odnosno najniže pH vrijednosti su zabilježene tijekom jeseni i zime, a najviše tijekom ljetnih mjeseci. Navedeni trend oscilacije pH vrijednosti moguće je povezati s dotokom vode na uređaj u određenom razdoblju godine, odnosno prosječnom količinom padalina za određeni dio godine. Pri tome se niže vrijednosti pH bilježe u dijelu godine s učestalijim padalinama, dok se više pH vrijednosti najčešće bilježe u sušnom dijelu godine.

Prosječne BPK₅ vrijednosti tijekom pojedinih godišnjih doba pokazuju neujednačen trend i kod ulazne otpadne vode i izlazne pročišćene vode (slika 34-35), iako su, u pravilu, prosječno više BPK₅ vrijednosti zabilježene tijekom ljetnih mjeseci. Tijekom jesenskih i zimskih mjeseci ulazna otpadna voda je češće imala nižu BPK₅ vrijednost uslijed povećanog dotoka svježije otpadne vode na uređaj, a koja posjeduje određenu količinu otopljenog kisika, kao i uslijed činjenice da, s druge strane, povišene temperature tijekom toplijeg dijela godine zagrijavaju vodenu masu i pri tome smanjuju koncentraciju otopljenog kisika u otpadnoj vodi.

Uspoređujući prosječne vrijednosti kemijske potrošnje kisika (KPK_{Cr}) za ulaznu i izlaznu otpadnu vodu na UPOV „Jošine“, uočava se da su najviše prosječne vrijednosti KPK_{Cr} tijekom promatranog osmogodišnjeg razdoblja najčešće zabilježene tijekom toplijih mjeseci u godini, dok su niže prosječne vrijednosti KPK_{Cr} najčešće zabilježene tijekom hladnijeg dijela godine (slike 36-37). Navedeni trendovi također ukazuju na međusobnu povezanost vrijednosti kemijske potrošnje kisika, temperature otpadne vode te količine otpadne vode koja dolazi na UPOV „Jošine“.

Na slikama 38 i 39 prikazane su prosječne sezonske vrijednosti koncentracije amonijaka u ulaznoj i izlaznoj otpadnoj vodi na UPOV-u „Jošine“. Na navedenim slikama uočavaju se značajne varijacije ulaznih i izlaznih vrijednosti koncentracija

amonijaka tijekom pojedine kalendarske godine i unutar ispitivanog osmogodišnjeg razdoblja. Određeni trend prosječno nižih koncentracija u izlaznim uzorcima pročišćene otpadne vode zabilježen je tijekom ljetnih mjeseci što upućuje na značajan utjecaj temperature vode na količinu uklonjenog amonijaka u procesu pročišćavanja otpadnih voda grada Vinkovaca.

Prosječne koncentracije ukupnog fosfora u uzorcima ulazne i izlazne pročišćene otpadne vode također pokazuju neujednačenost i neovisnost o dijelu godine (slika 40 i 41) iako se može uočiti blagi trend smanjenih koncentracija ukupnog fosfora u ulaznoj otpadnoj vodi, a time i u uzorcima izlazne pročišćene vode u toplijem dijelu godine. Povećane vrijednosti koncentracije ukupnog fosfora češće su zabilježene u hladnijem dijelu godine.

Biološka razgradljivost izražena omjerom prosječnih vrijednosti BPK_5 i KPK_{Cr} nije pokazala značajniji trend promjena u odnosu na promjenu kalendarskog dijela godine, iako promatrajući sliku 42, na kojoj su prikazane promjene prosječnih vrijednosti biološke razgradivosti ulazne otpadne vode, uočava se blagi trend smanjenja vrijednosti biološke razgradljivosti tijekom ljetnih mjeseci. Ujednačenost omjera prosječnih vrijednosti BPK_5 i KPK_{Cr} se zamjećuje i kod najvećeg broja analiziranih uzoraka izlazne otpadne vode tijekom promatranog razdoblja.

ZAKLJUČCI

U ovom radu ispitan je utjecaj godišnjih doba na učinkovitost biološke obrade otpadne vode grada Vinkovaca na temelju višegodišnjeg praćenja kakvoće ulazne, nepročišćene i izlazne, pročišćene otpadne vode na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda „Jošine“. U cilju dobivanja što pouzdanijih rezultata i utvrđivanja utjecaja promjene godišnjih doba (proljeće, ljeto, jesen, zima), korišteni su rezultati fizikalnih i kemijskih analiza, odnosno vrijednosti sljedećih pokazatelja: dotok vode na uređaj, temperatura vode, pH vrijednost, kemijska potrošnja kisika (KPK_{Cr}), biološka potrošnja kisika (BPK_5), koncentracija amonijaka i koncentracija ukupnog fosfora. Ispitivanje je provedeno u vremenskom razdoblju od 2008.-2015.godine,

Na temelju dobivenih rezultata, može se zaključiti sljedeće:

- Najviše zabilježene pH vrijednosti ulazne i izlazne vode tijekom promatranog razdoblja, bile su najčešće tijekom toplijih mjeseci u godini,
- Vrijednosti BPK_5 i KPK_{Cr} također su pokazale određeni trend ovisnosti o dijelu godine, odnosno godišnjem dobu jer prosječne dnevne temperature zraka utječu i na koncentraciju otopljenog kisika u otpadnoj vodi, no značajniji utjecaj godišnjih doba na navedene pokazatelje kakvoće otpadne vode ogleda se u količini padalina, odnosno količini otpadne vode koja kanalizacijskim sustavom dotječe na uređaj. Uočeno je da su navedene vrijednosti niže u hladnijim dijelovima godine.
- Biološka razgradljivost otpadne vode, izražena kao omjer vrijednosti BPK_5 i KPK_{Cr} , je tijekom promatranog vremenskog razdoblja najčešće imala ujednačenu vrijednost, i u slučaju ulazne otpadne vode, vrijednost je najčešće bila veća od 0,2, što ukazuje da na dobru biorazgradljivost ulazne otpadne vode.
- Koncentracije amonijaka u ulaznoj otpadnoj vodi nisu značajnije pokazale povezanost s određenim dijelom godine, dok na koncentracije amonijaka u izlaznoj otpadnoj vodi najznačajnije utječe upuhivanje zraka u otpadnu vodu u aeracijskim bazenima pri čemu se reducira količina u vodi prisutnog amonijaka.
- Koncentracije ukupnog fosfora u ulaznoj i izlaznoj otpadnoj vodi pokazale su povezanost s dijelom godine. Povećane koncentracije fosfora zabilježene su najčešće u hladnijem dijelu godine jer tijekom hladnijih vremenskih razdoblja

dolazi do smanjenja broja nekih bakterija, a s time i smanjenje redukcije ukupnog fosfora u izlaznoj otpadnoj vodi.

LITERATURA

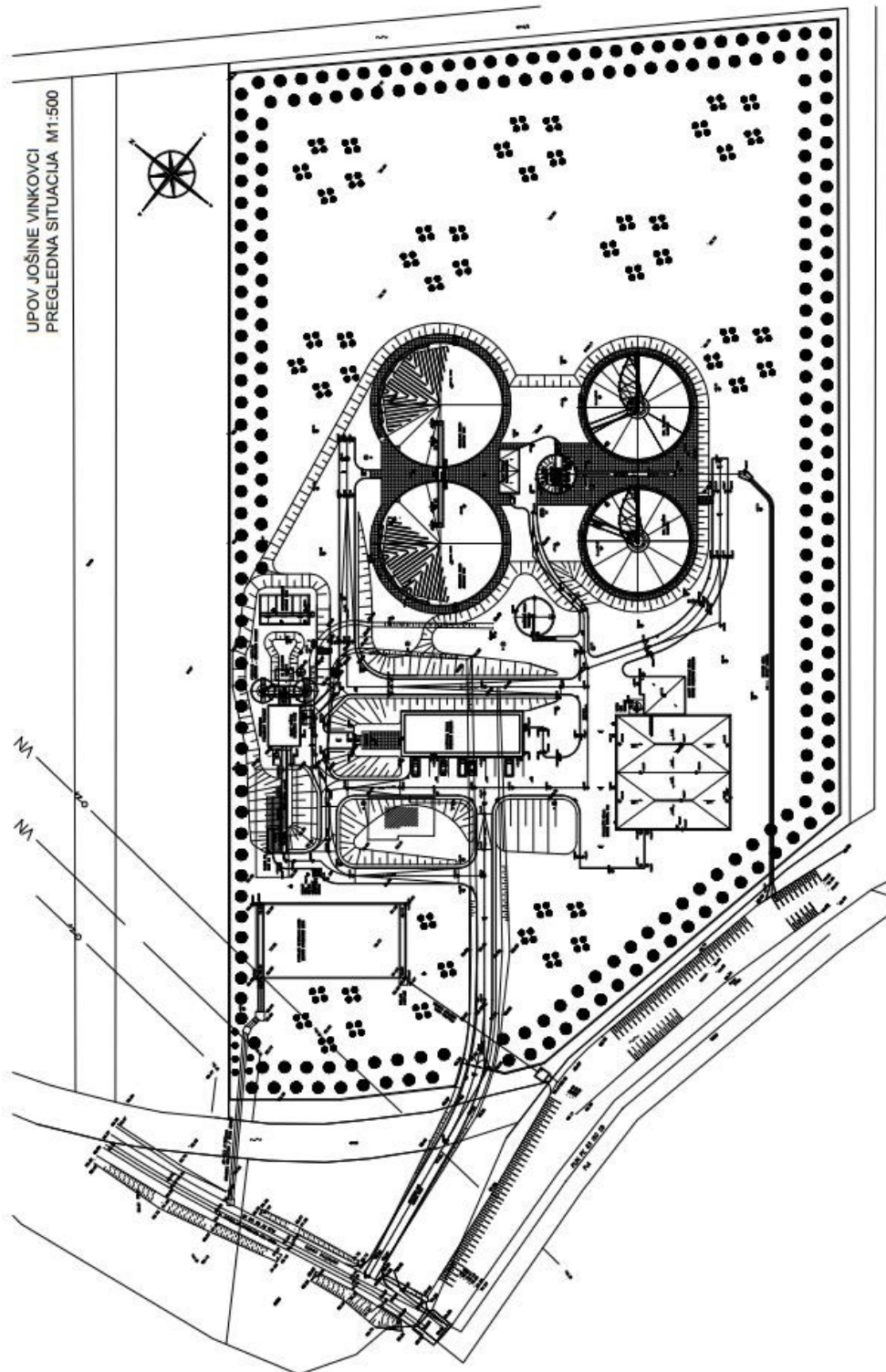
- AWWA, Water Quality and Treatment. A Handbook of Community Water Supplies. Fifth edition. McGraw-Hill, Inc., New York., 1999.
- Henze M, Harremoës P, Jansen J.I.C., Arvin E.: Wastewater treatment. Biological and chemical processes, 3th edition, Springer, New York, 2002.
- Grönlund E, Klang A, Falk S, Hanæus J 2004. Sustainability of wastewater treatment with microalgae in cold climate, evaluated with energy and socio-ecological principles, *Ecological Engineering* 22:155-174.
- Kato K, Inoue T, Ietsugu H, Koba T, Sasaki H, Miyaji N, Kitagawa K, Sharma KP, Nagasawa T. 2013. Performance of six multi-stage hybrid wetland systems for treating high-content wastewater in the cold climate of Hokkaido, Japan, *Ecological Engineering*, 5:256-236.
- Kauppinen A, Martikainen K, Matikka V, Veijalainen, A-M, Pitkänen T, Heinonen-Tanski H, Miettinen I.T. 2014. Sand filters for removal of microbes and nutrients from wastewater during a one-year pilot study in a cold temperate climate. *Journal of Environmental Management*, 133:206-213.
- Kuveždić Z, Radojević Lacković S, Habuda-Stanić M. 2011. Zbrinjavanje i obrada otpadnih voda grada Vinkovci, 13th Ružička days "Today science - tomorrow industry" Proceedings, Šubarić, D. (ur.), Osijek, PTF Osijek, 466-473.
- Tušar B 2009. Pročišćavanje otpadnih voda. Kigen d.o.o., Zagreb.
- Wéry N, Lhoutellier C, Ducray F, Delgenès J-P, Godon J.-J. 2008. Behaviour of pathogenic and indicator bacteria during urban wastewater treatment and sludge composting, as revealed by quantitative PCR. *Water Research*, 42, 1–2: 53–62.
- Von Sperling M, Chernicharo CAL 2005. Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions. IWA Publishing, London.
- Jones AJ, Schuler AJ 2010. Seasonal variability of biomass density and activated sludge settleability in full-scale wastewater treatment systems. *Chemical Engineering Journal*, 164:16–22
- Sun Q, Lv M, Hu A, Yang X, Yu C-P 2014. Seasonal variation in the occurrence and removal of pharmaceuticals and personal care products in a wastewater treatment plant in Xiamen, China. *Journal of Hazardous Materials* 277:69–75.

- Sari S, Ozdemir G, Yangin-Gomec C, Zengin GE, Topuz E, Aydin E, Pehlivanoglu-Mantas E, Okutman Tas D 2014. Seasonal variation of diclofenac concentration and its relation with wastewater characteristics at two municipal wastewater treatment plants in Turkey. *Journal of Hazardous Materials* 272:155–164.
- Kim YM 2013. Acclimatization of communities of ammonia oxidizing bacteria to seasonal changes in optimal conditions in a coke wastewater treatment plant. *Bioresource Technology* 147:627–631.
- Krzeminski P, Iglesias-Obelleiro A, Madebo G, Garrido JM, van der Graaf JHJM, van Lier JB 2012. Impact of temperature on raw wastewater composition and activated sludge filterability in full-scale MBR systems for municipal sewage treatment. *Journal of Membrane Science* 423–424:348–361
- Tedeschi S 1997. *Zaštita voda*, Hrvatsko društvo građevinskih inženjera i Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- Sincero AP, Sincero GA. 2003. *Physical-Chemical Treatment of Water and Wastewater*. CRC Press, New York.
- Tušar B. 2009. *Pročišćavanje otpadnih voda*. Kigen d.o.o., Zagreb
- Petrinc Z (2010) *Ekološka studija rijeke Bosut na području grada Vinkovaca*, Sveučilište u Zagrebu, Veterinarski fakultet, Zavod za biologiju i patologiju riba i pčela, Zagreb
- Margeta J 2006. *Pročišćavanje komunalnih otpadnih voda*, Stručno-poslovni skup *Suvremene tehnologije i uređaji za pročišćavanje pitkih i otpadnih voda*. Poreč, 127-149.
- Marušić, 2014. *Rijeka Bosut i pobosučje u prošlosti, sadašnjosti i budućnosti*, Znanstveni skup, Vinkovci
- Matošić M. (2014) *Membranski bioreaktori u zaštiti okoliša*. Interna skripta Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu
- Direktiva EU za komunalne uređaje za pročišćavanje otpadnih voda, *Urban Waste Water Treatment Directive (UWWTD) (91/271/EEC)*
- Tušar B 2004. *Ispuštanje i pročišćavanje otpadne vode*. Croatia knjiga, Zagreb.
- *Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda*, (NN 153/09.,63/11.,130/11. ,i15/13)

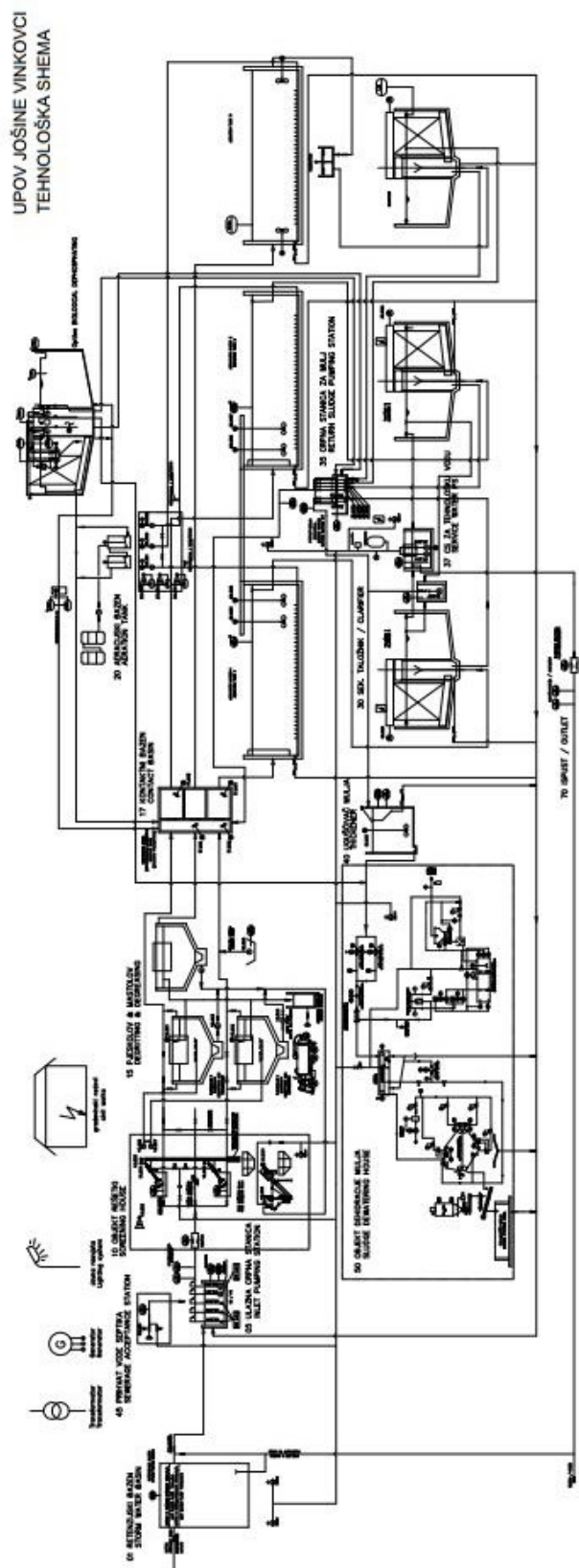
- Pravilnik o izmjenama i dopunama pravilnika o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 153/09.,63/11.,130/11.,56/13.,14/14.)
- Zakon o vodama (NN 153/09)
- Zakona o vodama(NN 153/2009,63/2011,130/2011 i 56/2013)
- Upute za rad i prikaz tehničkih mjera za primjenu propisa zaštite na radu u eksploataciji uređaja (Hidro dizajn d.o.o. Split)

PRILOZI

Prilog 1. UPOV "Jošine" pregledna situacija



Prilog 2. UPOV "Jošine " Tehnološka shema



ŽIVOTOPIS

Zorica Kuveždić rođena je u Vinkovcima 4. kolovoza 1976. godine gdje je pohađala Osnovnu školu i Jezičnu gimnaziju. Po završetku gimnazije upisala je Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, smjer Prehrambeno inženjerstvo. Isti fakultet završila je 2003. godine.

Po završetku studija odradila je pripravnički staž u tvrtki „Vinkovački vodovod i kanalizacija“ d.o.o., a po završetku pripravničkog staža u istoj tvrtki primljena u radni odnos gdje i danas radi kao tehnolog i analitičar otpadnih voda na Uređaju za pročišćavanje otpadnih voda „Jošine“.

Tijekom rada redovito je sudjelovala na stručnim usavršavanjima, a u više navrata održala je stručna predavanja studentima Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera o procesima pročišćavanja otpadnih voda na UPOV „Jošine“ u Vinkovcima.

Akadske 2010./2011. godine upisala je Poslijediplomski interdisciplinarni specijalistički studij Zaštita prirode i okoliša u Osijeku radi osobnog interesa i stjecanja znanja koje bi mogla primijeniti u radu. Na navedenom studiju, 2012. godine položila je sve ispite.

Udana je i majka tri sina.