Biološko pročišćavanje otpadnih voda na području grada Koprivnice

Mlinarić, Ivana

Master's thesis / Diplomski rad

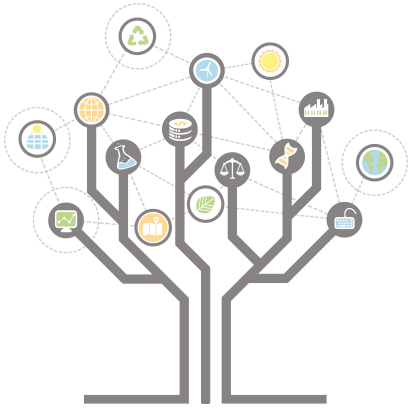
2018

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:907574

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Biološko pročišćavanje otpadnih voda na području grada Koprivnice

Mlinarić, Ivana

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:907574

Rights / Prava: In copyright

Download date / Datum preuzimanja: **2020-10-27**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET VARAŽDIN

IVANA MLINARIĆ

BIOLOŠKO PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA NA PODRUČJU GRADA KOPRIVNICE

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET VARAŽDIN

IVANA MLINARIĆ

BIOLOŠKO PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA NA PODRUČJU GRADA KOPRIVNICE

KANDIDAT:

IVANA MLINARIĆ

MENTOR:

doc. dr. sc. ANITA PTIČEK SIROČIĆ

VARAŽDIN, 2018.

Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnica: IVANA MLINARIĆ

Matični broj: 164 - 2016./2017.

Smjer: UPRAVLJANJE VODAMA

NASLOV DIPLOMSKOG RADA:

BIOLOŠKO PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA NA PODRUČJU GRADA KOPRIVNICE

Rad treba sadržati:
1. Uvod
2. Opći dio
3. Eksperimentalni dio
4. Rezultati i rasprava
5. Zaključak
6. Popis literature
7. Popis slika
8. Popis tablica
9. Popis i objašnjenje kratica korištenih u radu

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

Zadatak zadan: 15.03.2018. Rok predaje: 05.07.2018.

Mentor:
Doc.dr.sc. Anita Ptiček Siročić

REPUBLIKA HRVATSKA 1 GEOTEHNIČKI FAKULTET VARAŽDIN SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

Predsjednik Odbora za nastavu:
Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom

Biološko pročišćavanje otpadnih voda na području grada Koprivnice

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **doc. dr. sc. Anite Ptiček Siročić.**

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

U Varaždinu, 1.7.2018.

Ivana Mlinarić

(Ime i prezime)

(Vlastoručni potpis)

Sažetak

Temeljem koncepta održivog razvoja, voda se mora čuvati i štititi za sadašnje i buduće generacije što podrazumijeva i štednju vode pa samim time, u velikom dijelu i pročišćavanje otpadnih voda. Osnovna uloga uređaja za pročišćavanje otpadnih voda je pročišćavanje do stupnja kakvoće koji osigurava da otpadna voda neće pogoršati i ugroziti prirodno stanje okoliša. Centralni uređaj za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV) grada Koprivnice kapaciteta 100 000 ES (ekvivalent stanovnika) pročišćava otpadne vode uključujući treći stupanj, a zbog znatnih kolebanja količina i opterećenja otpadnih voda, tehnologija sekvencijalnog šaržnog reaktora (SBR) tehnologija odabrana je kao najbolje rješenje za pročišćavanje otpadnih voda grada Koprivnice. Završni stupanj pročišćavanja na UPOV-a grada Koprivnice predstavlja proces obrade mulja aerobnom stabilizacijom, dehidriranjem i MID – MIX tehnologijom pri čemu nastaje kemijski inertan prah – solidifikat koji se može iskoristiti u građevini ili odlagati na odlagalište bez utjecaja na okolinu.

U ovom radu analizirani su fizikalno – kemijski pokazatelji otpadnih voda (KPK, BPK_5, ukupni dušik, ukupni fosfor, suspendirana tvar) na uzorcima otpadne vode sa UPOV-a grada Koprivnice za 2014., 2015. i 2016. godinu. S obzirom na dobivene rezultate može se zaključiti da je pročišćena otpadna voda zadovoljavajuće kakvoće te da je UPOV-a grada Koprivnice vrlo efikasan.

Ključne riječi: otpadne vode, pročišćavanje, fizikalno-kemijski pokazatelji, kakvoća vode

Sadržaj

1. UVOD 1
2. OPĆI DIO 2
2.1. Otpadne vode **2**
2.1.1. Zakonska regulativa 4
2.2. Osnovne metode i procesi pročišćavanja otpadnih voda **7**
2.2.1. Prethodno pročišćavanje i prvi stupanj pročišćavanja 7
2.2.2. Drugi stupanj pročišćavanja 7
2.2.3. Treći stupanj pročišćavanja 7
2.2.4. Obrada i zbrinjavanje mulja 8
2.3. Opis centralnog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV) grada Koprivnice .. **10**
2.3.1. Tehnologija i tehnološki procesi obrade otpadnih voda 13
2.3.2. Tehnologija sekvencijalnog šaržnog reaktora (SBR) 17
2.3.3. MID – MIX tehnologija 20
3. EKSPERIMENTALNI DIO 22
3.1. Uzorkovanje **22**
3.2. Određivanje ukupnog dušika **23**
3.3. Određivanje ukupnog fosfora **23**
3.4. Određivanje biološke potrošnje kisika (BPK5) **24**
3.5. Određivanje kemijske potrošnje kisika (KPK) **25**
3.6. Određivanje suspendirane tvari **25**
4. REZULTATI I RASPRAVA 27
5. ZAKLJUČAK 38
6. POPIS LITERATURE 39
7. POPIS SLIKA 41
8. POPIS TABLICA 42
9. POPIS I OBJAŠNJENJE KRATICA KORIŠTENIH U RADU 43

Zahvala

Najviše hvala od srca mentorici doc.dr.sc. Aniti Ptiček Siročić na uloženom trudu i volji za pomoć. Teško je naći profesoricu koja svojim studentima ne prenosi samo znanje, nego i iskustvo za budući život.

Hvala i nikad zaboravljenom profesoru, mentoru i zauvijek dobrom duhu Geotehničkog fakulteta doc.dr.sc. Dinku Vujeviću bez kojeg ne bi imala divnu mentoricu, kao što je i on sam bio.

Hvala roditeljima, Alexandri i Marinu, sestri Marii i ljubavi Marku te baki Mariji i djedu Stanku na podršci tijekom svih 5 godina studiranja, učinili ste te godine lakšim.

1. UVOD

Vodom je potrebno pravilno upravljati tijekom cijelog vodenog ciklusa: od izvora svježe vode, crpljenja, predtretmana, distribucije, uporabe, sakupljanja i naknadnog tretiranja pa sve do tretmana otpadne vode i krajnjeg povratka u okoliš. S obzirom na sve veći porast stanovništva, urbanizaciju i gospodarski razvoj, količina prerađene otpadne vode, a i razina onečišćenja globalno rastu. Upravljanje otpadnim vodama ozbiljno je zanemareno, a takve su vode i podcijenjene kao potencijalno pristupačan i obnovljiv izvor vode i energije. S obzirom na to da je velik dio Hrvatske porozan krški prostor, pročišćavanje otpadnih voda jedini je način očuvanja najvećega i najvrjednijega hrvatskog resursa, odnosno velikih zaliha pitke vode. Kada se tome pridoda činjenica da Hrvatska svoj razvoj temelji na turizmu i proizvodnji zdrave i ekološki čiste hrane, onda je sasvim jasno da je čistoća mora, rijeka, jezera, močvarnih staništa i podzemnih voda uvjet cjelokupnoga gospodarskog razvitka.

Diljem Republike Hrvatske u tijeku je izgradnja vodnokomunalne infrastrukture, uključujući uređaje za pročišćavanje otpadnih voda, za što se uvelike koriste sredstva iz europskih fondova. U Hrvatskoj se, od 28 % količine otpadne vode, 43 % pročišćava prethodnim i prvim stupnjem pročišćavanja, 57 % drugim stupnjem, dok je samo 0,5 % stanovništva priključeno na treći stupanj pročišćavanja, kojim se dodatno uklanjaju fosfor i/ili dušik. Urbanizacija i izgradnja industrijskih pogona bez izgradnje komunalnih sustava odvodnje otpadnih voda i njihovog učinkovitog održavanja rezultira sve većim ugrožavanjem kakvoće podzemnih voda. Problemi su posebno izraženi u blizini većih gradskih središta. Značajnijim mjerama zaštite vodonosnih područja treba usporiti procese onečišćenja vode kako bi opskrba stanovništva vodom za piće i dalje bila zadovoljavajuća. Upravo zbog ovih razloga otpadnu vodu treba sagledati kao veliki potencijal, a ne kao teret kojeg se potrebno riješiti.

Danas postoje razni procesi obrade i funkcionalni sustavi koji omogućavaju korištenje otpadnih voda za namirenje sve većih potreba rastućeg stanovništva, poljoprivrede i industrije [1]. U Koprivnici, postojeći centralni uređaj za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV) kapaciteta je 100 000 ekvivalent stanovnika (ES) i godišnje se na njemu obradi oko 5 milijuna m^3 otpadne vode. U ovom radu prikazana je obrada otpadnih voda UPOV-a grada Koprivnice te su analizirani fizikalno – kemijski pokazatelji otpadnih voda odnosno ukupni dušik, ukupni fosfor, biološka potrošnja kisika (BPK_5), kemijska potrošnja kisika (KPK) te suspendirane tvari. U skladu s temeljnim načelima *Europske povelje o vodi iz Strassbourga* (6.5.1968.) koja kaže:„

Ako se voda nakon upotrebe vraća u prirodnu sredinu, to ne smije biti na štetu drugih javnih ili individualnih korisnika.“, UPOV-a grada Koprivnice pridonosi održivom razvitku i zaštiti okoliša grada Koprivnice.

2. OPĆI DIO

2.1. Otpadne vode

Otpadnim vodama su iskorištene vode iz naselja i industrije kojoj su promijenjena fizikalna, kemijska ili biološka svojstva tako da se ne može koristiti za piće ili u poljoprivredi. Sve vode koje su iskorištene za neku primjenu, bilo da je riječ o kućanskim, industrijskim ili poljoprivrednim vodama, potrebno je prikupiti te je na prikladan način obraditi i odvesti u prijemnike bez štetnih utjecaja na okoliš i bez narušavanja prirodnog hidrološkog ciklusa. Prijemnici mogu biti rijeke, jezera, mora, ali je moguće i veliki dio otpadnih voda, uz određenu obradu ponovno koristiti za prvobitne procese [2].

Otpadne vode također su i dio hidrološkog ciklusa te vode koje se uzmu za opskrbu stanovništva ili za neke druge namjene pa se sustavom odvodnje vraćaju u prirodni okoliš. Zahvati vode ujedno su mjesta čovjekove intervencije u hidrološki ciklus jer voda više ne slijedi zakone ciklusa, nego je podvrgnuta zakonima ljudskog htijenja. Iz tog razloga ljudi moraju preuzeti odgovornost za nastanak neravnoteže u prirodi, koja se jedino može ispraviti tako da se iskorištena voda vrati u hidrološki ciklus približno iste kakvoće kakvu je imala pri uzimanju.

U komunalne (gradske) otpadne vode svrstavaju se otpadne vode sljedećih skupina:

- ***Sanitarne otpadne vode***

U ovu skupinu svrstavaju se sve vode koje služe za vodoopskrbu stanovništva, odnosno za zadovoljavanje životnih funkcija i sanitarnih potreba. To su u prvom planu otpadne vode koje nastaju pri upotrebi sanitarnih trošila vode u kućanstvima, hotelima, apartmanima i sl. Sanitarne vode razlikuju se od industrijskih otpadnih voda iako se veoma često odvode istim kanalima. Opterećene su organskom tvari, a prema stupnju biološke razgradnje razlikuju se tri vrste voda:

- ✓ svježa voda - otpadna voda u kojoj biorazgradnja još nije napredovala; koncentracija otopljenog kisika nije bitno manja od koncentracije u vodovodnoj vodi

- ✓ odstajala voda - voda u kojoj je sadržaj kisika jednak nuli; kisik je potrošen zbog biološke razgradnje
- ✓ trula voda - voda u kojoj je biorazgradnja napredovala i teče na anaeroban način

- ***Industrijske otpadne vode***

Industrijski tehnološki procesi međusobno su veoma različiti, pa se tako i otpadne vode iz pojedinih pogona veoma razlikuju po svom sastavu. Mogu se podijeliti na dvije osnovne skupine:

- ✓ biološki razgradive ili kompatibilne vode koje se mogu miješati s gradskim otpadnim vodama
- ✓ biološki nerazgradive koje se prije miješanja s gradskom otpadnom vodom moraju podvrgnuti određenom prethodnom stupnju pročišćavanja.

- ***Oborinske vode***

Oborinska voda dio je oborina, koje se ispirući površine, izravno ili neizravno slijevaju u vodne sustave te zbog sve većeg onečišćenja atmosfere i zemljišta znatno onečišćuju prirodne vode. U skupinu oborinskih voda svrstane su vode koje potječu od topljenja snijega, koje također poprimaju značajke veoma onečišćenih voda. Posebno su onečišćene one koje se pojavljuju pri naglom zatopljivanju, u fazama završnog topljenja snijega kada sva nečistoća što se prikupi tijekom razdoblja niskih temperatura dospijeva u kanalizaciju [3].

- ***Procjedne vode***

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

2.1.1. Zakonska regulativa

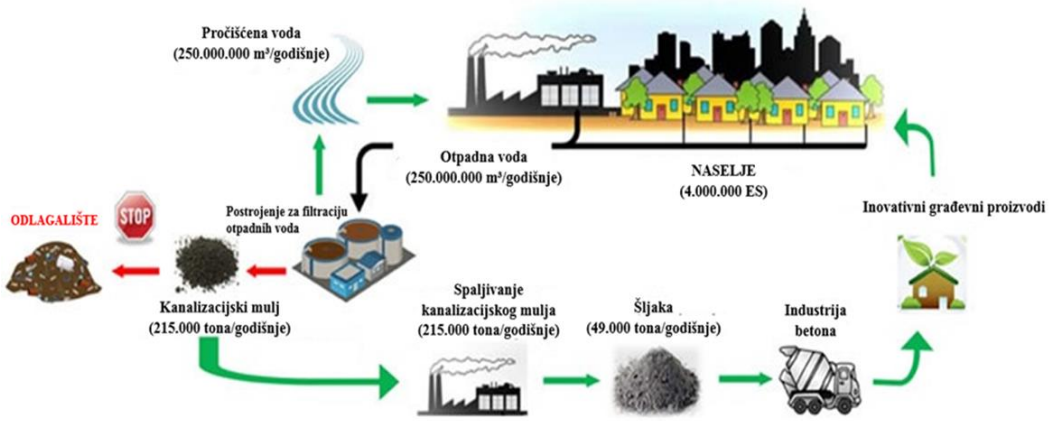
Osiguranje pogodnog gospodarenja vodama jedan je od temeljnih preduvjeta razvoja svakog područja. Isto tako, u današnje vrijeme sve je veća potreba za zaštitom okoliša, u sklopu koje posebno mjesto zauzima očuvanje bioraznolikosti i zaštita ljudskog zdravlja. Stoga se zbrinjavanje otpadnih voda svrstava u prioritetne aktivnosti adekvatnog gospodarenja vodama. Sagledavajući postojeće stanje komunalnog sektora u Hrvatskoj, može se izvesti zaključak da u cjelokupnoj problematici gospodarenja vodama u Hrvatskoj najveću težinu ima primjereno zbrinjavanje otpadnih voda. Navedenoj konstataciji ide u prilog činjenica da je danas u Hrvatskoj samo oko 43 % stanovništva priključeno na javnu kanalizacijsku mrežu. Još je nepovoljnija situacija s priključenjem na uređaje za pročišćavanje otpadnih voda. Prema raspoloživim podacima samo je 25 % stanovništva u Hrvatskoj priključeno na uređaje s odgovarajućim stupnjem pročišćavanja.

Ulaskom Hrvatske u EU, na snagu je stupila Direktiva 91/271/EEC [5], prema kojoj se zahtijeva prikupljanje i obrada otpadnih voda u svim aglomeracijama većim od 2000 ES, drugi stupanj pročišćavanja svih ispuštenih otpadnih voda za aglomeracije veće od 2000 ES te viši stupnjevi pročišćavanja za aglomeracije veće od 10 000 ES. U nastojanjima za usklađivanjem s odredbama Okvirne direktive o vodama Europske unije [6] u tijeku je aktivno poduzimanje određenih mjera vezanih za izgradnju cjelovitih sustava odvodnje otpadnih voda s pripadnim uređajima za pročišćavanje za aglomeracije veće od 10.000 ES. Drugim riječima, pristupanjem Europskoj uniji, Hrvatska se obvezala do 2018. godine izgraditi sve uređaje za pročišćavanje kapaciteta većeg od 10.000 ES.

Iz otpadnih voda koje se generiraju i sakupljaju određenim sustavom odvodnje, potrebno je izdvojiti otpadne tvari te u okoliš ispustiti vodu koja je pročišćena do granica koje su utvrđene relevantnom zakonskom regulativom. Dakle, u procesu pročišćavanje otpadnih voda kao nusprodukt svakog tehnološkog rješenja generira se dodatna vrsta otpada koji se naziva mulj (0,5 kg mulja/m³ otpadne vode). Adekvatno zbrinjavanje otpadnih voda (prvenstveno sanitarnih i industrijskih) podrazumijeva sakupljanje, transport i pročišćavanje otpadnih voda, ali istovremeno i pravilno zbrinjavanje otpadnih tvari koje nastaju pročišćavanjem. Prema zakonskoj regulativi u Hrvatskoj, mulj s uređaja za pročišćavanje tretira se kao opasni otpad koji je na odgovarajući način potrebno dodatno obraditi. Treba istaknuti da se u slučaju izgradnje uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV-a), kod kojeg nije riješeno konačno odlaganje mulja, smatra da njegova izgradnja nije završena te da nisu poduzete sve potrebne

mjere zaštite okoliša. Ukupna godišnja proizvodnja mulja s UPOV za SAD i EU iznosi gotovo 17 Mt suhe tvari godišnje (7 Mt u SAD-u i 10 Mt u EU). U zemljama poput Španjolske, Velike Britanije i Francuske gotovo 50 % mulja 2009. godine koristilo se u poljoprivredi, dok se ostatak odlagao na odlagalištima ili spaljivao. Na UPOV-ima koji su do danas izgrađeni u Hrvatskoj, mulj se odlaže na odlagalištima krutog otpada, vrlo mali dio koristi se u poljoprivredi, a za značajni dio se ne može sa sigurnošću utvrditi gdje i kako završava. Općenito, problemu adekvatnog zbrinjavanja mulja u Hrvatskoj sve do nedavno nije se pridavala veća pažnja.

Prema Pravilniku o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (NN 117/07) [7], odlaganje mulja nije dopušteno. U istom se dokumentu navodi da je na odlagališta otpada zabranjen prihvat, između ostalog i: "*komunalnog otpada ukoliko mu masa biorazgradive komponente premašuje 35 % od ukupne mase*". Biološki stabiliziran mulj sadrži uvijek više od 35 % biorazgradive tvari. Također se navodi da je kao kriterij za odlaganje otpada na odlagalište neopasnog otpada, kao granična vrijednost za ukupni organski ugljik (engl. *total organic carbon* - TOC), definirano 5 % od mase suhe tvari, a stabilizirani mulj ima više od 5% TOC-a. Očigledno da s naglim porastom dinamike izgradnje UPOV-a u Hrvatskoj problem konačnog odlaganja mulja dobiva na težini, jer se trebaju financirati i izgraditi tehnologije koje će na drugi način riješiti obradu mulja i njegovo konačno zbrinjavanje, posebno ako se uzme u obzir da će puštanje u pogon 4.000.000 ES rezultirati generiranjem ukupne količine dehidriranog i stabiliziranog mulja u iznosu oko 215.000 t/godišnje, a cijeli proces prikazan je na slici 1.



Slika 1. Životni ciklus otpadne vode i mulja u Hrvatskoj nakon 2018. godine [8]

Uzimajući u obzir da je Europskim direktivama ograničena količina otpadnog mulja koja se može zbrinuti na odlagalištima te da EU Direktiva o otpadu 2008/98/EC [9] i ponovnom korištenju i recikliranju otpada daje prednost pred ostalim rješenjima, evidentno je da će nastanak ogromnih količina mulja s UPOV-a zahtijevati odgovarajuće upravljanje. Odabir optimalnog postupka obrade mulja na UPOV-ima ovisi između ostalog i o konačnom zbrinjavanju pa je već kod izgradnje uređaja to nužno uzeti u obzir. Nakon cjelovite raščlambe različitih rješenja, a uzimajući u obzir i troškove zaštite okoliša, postupak termičke obrade bio bi prihvatljiv koncept konačne obrade mulja na UPOV-ima većeg kapaciteta.

Termičkom obradom mulja u značajnoj se mjeri olakšava daljnje gospodarenje novo nastalim proizvodom (pepelom), prvenstveno kao posljedica značajnog smanjenja mase i volumena konačnog nusprodukta. Termičkom obradom smanjuje se ukupna masa mulja i do 85 %. Smanjuje se i ukupni volumen otpadne tvari, termički se uništavaju toksične organske komponente, minimiziraju se neugodni mirisi i olakšava daljnje gospodarenje, a moguće je dobivanje energije. Međutim, i u sklopu postupka termičke obrade muljeva javlja se nusprodukt (pepeo) koji u konačnici treba zbrinuti na odgovarajući način, a čije količine nisu zanemarive. Primjerice, na centralnom uređaju za pročišćavanje otpadnih voda grada Zagreba pri radu uređaja s punim kapacitetom (veličine 1.500.000 ES) proizvodit će se oko 80.000 t/godišnje dehidriranog i stabiliziranog mulja, dok bi se u procesu termičke obrade proizvodilo oko 18.000 t/godišnje pepela. Danas se na zagrebačkom UPOV-u generira oko 55.000 t/godišnje dehidriranog i stabiliziranog mulja, koji se privremeno skladišti na samoj lokaciji uređaja, jer još nije poznat način njegovog konačnog odlaganja iako se predlaže termička obrada mulja. Procijenjeno je da se danas na globalnoj razini u procesima termičke obrade muljeva s UPOV-a generira oko 1.700.000 t pepela/godišnje (najveći dio u SAD, EU i Japan). Izgradnjom novih i rekonstrukcijom postojećih UPOV-a navedena brojka će se konstantno povećavati. U slučaju odabira termičke obrade muljeva generiralo bi se oko 49.000 t pepela/godišnje (18.000 m^3 pepela/godišnje) [8].

2.2. Osnovne metode i procesi pročišćavanja otpadnih voda

2.2.1. Prethodno pročišćavanje i prvi stupanj pročišćavanja

Prethodno pročišćavanje je proces predobrade otpadnih voda (tehnoloških, rashladnih, procjednih i oborinskih onečišćenih voda te ostalih otpadnih voda) u skladu sa zahtjevima za ispuštanje otpadnih voda u sustav javne odvodnje [4]. Proces označava primjenu radnji kojima se iz otpadnih voda uklanjaju krupne plutajuće otpadne tvari, pijesak i šljunak, a uključuje postupke rešetanja, usitnjavanja te uklanjanja pijeska i masnoća [10].

Prvi stupanj pročišćavanja uključuje obradu komunalnih otpadnih voda fizikalnim i/ili kemijskim postupcima koji obuhvaćaju taloženje suspendiranih tvari ili druge postupke u kojima se BPK_5 ulaznih otpadnih voda smanjuje za najmanje 20 % prije ispuštanja, a ukupne suspendirane tvari ulaznih otpadnih voda za najmanje 50 % [4]. U prvom stupnju pročišćavanja uklanjanju se raspršene tvari i to taloženjem, isplivavanjem i cijeđenjem na mikrositima [10].

2.2.2. Drugi stupanj pročišćavanja

Drugi stupanj pročišćavanja uključuje obradu komunalnih otpadnih voda postupkom koji obuhvaća biološku obradu sa sekundarnim taloženjem [4]. Postupci drugog stupnja pročišćavanja najčešće se primjenjuju nakon prethodnog i prvog stupnja, a na nekim uređajima namijenjenim za manja naselja, ponekad drugi stupanj slijedi odmah nakon prethodnog pročišćavanja. Uklanjanju se biorazgradive tvari što uključuje biološke i fizikalno kemijske postupke [10].

2.2.3. Treći stupanj pročišćavanja

Treći stupanj pročišćavanja je obrada komunalnih otpadnih voda postupkom kojim se uz drugi stupanj pročišćavanja postižu određeni zahtjevi smanjenja udjela parametara za i/ili fosfor i/ili mikrobiološke pokazatelje i/ili druge onečišćujuće tvari u cilju zaštite osjetljivih područja, odnosno postizanja ciljeva kakvoće voda prijemnika [4]. Proces uključuje uklanjanje dušika i fosfora, uklanjanje postojane organske tvari i uklanjanje teških metala i otopljene anorganske tvari [10].

2.2.4. Obrada i zbrinjavanje mulja

Obrada i zbrinjavanje mulja, koji se izdvoji tijekom pročišćavanja otpadnih voda, glavni je problem na uređajima za pročišćavanje. Učinak uređaja za pročišćavanje mora se vrednovati ne samo kakvoćom pročišćene vode, već i učinkovitošću obrade mulja koji se izdvaja. Obrada mulja mora biti stalna i po mogućnosti bez štetnih utjecaja na okoliš. Sastav sirovog mulja ovisi o vrsti otpadnih voda i o postupku pročišćavanja.

Tijekom obrade gradskih otpadnih voda nastaje:

- primarni mulj - nastaje izdvajanjem iz primarnog ili prethodnog taložnika nakon prvog stupnja pročišćavanja, a sadrži anorganske tvari (pijesak, glinu, karbonate, metalne okside), organske lakorazgradive tvari (bjelančevine, masti, ugljikohidrate), teško razgradive tvari (različita vlakna, gumu i dr.), kao i žive organizme (bakterije, viruse, parazite i dr.)
- biološki mulj - nastaje procesima aerobne ili anaerobne razgradnje otopljenih organskih tvari te je izdvojen iz biološkog reaktora, a sadrži živu masu bakterija i njihove ostatke, a količina ovisi o vrsti uređaja, odnosno postupku pročišćavanja otpadnih voda, starosti mulja, unosu zraka i dr.
- tercijalni mulj - nastaje u procesima obrade otpadne vode kada je tercijarna faza odvojena; sadrži ostatke reakcije dodanih kemikalija s otpadnom vodom i s njenim sadržajem pri koagulaciji, a također može sadržavati adsorbente sa sastojcima koji su adsorbirani iz otpadnih voda, što naravno ovisi o primijenjenom postupku.

Procesi obrade mulja su različiti. Naime, mulj kao ostatak nakon obrade otpadnih voda čini heterogenu masu koja se sastoji od tekuće disperzne smjese u kojoj su raspršene krute čestice različitih veličina. Mulj koji nastaje nema uvijek iste karakteristike pa se zbog toga najprije mora ispitati, a tek onda odrediti tehnološki postupak obrade. Pretpostavljanje tehnoloških postupaka obrade mulja svakako je u vezi s načinom njegova konačnog uklanjanja.

Postoje tri tipa obrade mulja:

1) Kondicioniranje mulja mehaničkim operacijama

Kemijsko kondicioniranje ponajprije ovisi o pH vrijednosti mulja, a podrazumijeva koagulaciju i flokulaciju mulja, prirodnim ili sintetičkim organskim polimerima. Učinak kemijskog kondicioniranja mulja ovisi o kemikaliji koja se primjenjuje, ali i o starosti mulja, miješanju i vremenu kontakta.

Nakon što se mulj kondicionira kemijskim spojevima, primjenjuju se sljedeće mehaničke operacije radi odvajanja vode:

- centrifugiranje uz dodatak polielektrolita (kationskog)
- vakuumska filtracija uz dodatak vapna i željezovih klorida
- filtarne preše uz primjenu istih kemikalija kao i u gore navedenim procesima

2) Toplinske operacije kondicioniranja mulja

Toplinske operacije mulja su:

- kondicioniranje mulja zagrijavanjem
- kondicioniranje mulja zamrzavanjem
- kondicioniranje dodavanjem inertnih tvari.

3) Zgušnjavanje mulja

Zgušnjavanje mulja prvi je i najjednostavniji fizikalni proces uklanjanja vode iz mulja.

Postupak se provodi gravitacijski i postoje tri tipa:

- gravitacijsko zgušnjavanje
- pomoću mehaničkih zgušnjivača
- zgušnjavanje isplivavanjem

Stabilizacija mulja

Stabilizacijom mulja smanjuje se ili sprječava daljnja razgradnja, a postiže se i bolje izdvajanje vode iz mulja, tj. smanjenje volumena. Također se smanjuje broj patogenih mikroorganizama i odstranjuje neugodan miris.

Postoje tri načina stabilizacije mulja:

- aerobna stabilizacija - postupak razgradnje mulja organskog podrijetla koji se može odvijati ili istodobno s biološkim pročišćavanjem vode ili izdvojeno, a izvodi se uz pomoć aerobnih mikroorganizama
- anaerobna stabilizacija - najrašireniji postupak pri obradi mulja, a izvodi se anaerobnim digestorima; to je biološko razgrađivanje organskih tvari, koje se u prvom redu primjenjuje pri razgradnji prirodnih organskih tvari

- kemijska stabilizacija - vrši se korištenjem vapna; dodavanjem vapna povećava se pH vrijednost, što prouzrokuje ugibanje mikroorganizama, a time prestaje biološka razgradnja, odnosno sprječava se širenje neugodnih mirisa.

Odlaganje mulja

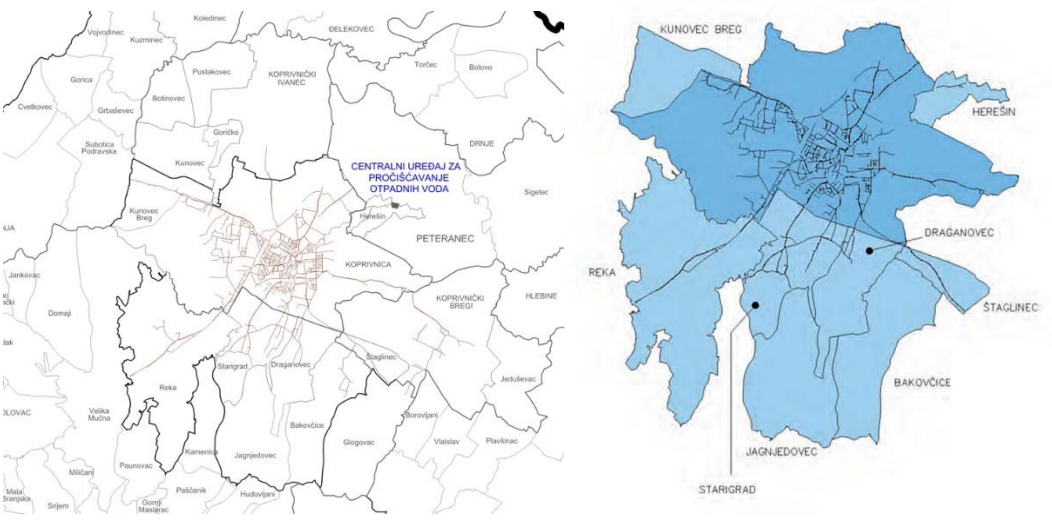
Na mogućnost iskorištavanja mulja potrebno je gledati kao na rješavanje ekološkog problema. Troškovi obrade i konačnog odlaganja mulja nisu zanemarivi te kod uređaja veličine od oko 5.000 do 200.000 ES, iznose približno 50 % ukupnih troškova poslovanja gradskog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.

Općenito, obrađeni mulj s uređaja za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda može se zbrinuti na sljedeće načine:

- na poljoprivrednim tlima
- kao gorivo u cementnoj industriji
- korištenjem proizvoda termičke obrade mulja
- odlaganjem na nadziranim odlagalištima, tj. sanitarnim deponijima [4]

2.3. Opis centralnog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV) grada Koprivnice

Odvodnja grada Koprivnice riješena je mješovitim sustavom, odnosno zajedničkim kanalskim sustavom odvode se otpadne vode iz kućanstva i industrije, kao i oborinske vode. Dovođenje mješovitih otpadnih voda do lokacije uređaja za pročišćavanje otpadnih voda vrši se glavnim odvodnim kolektorom Koprivnica – Herešin. Na kanalizacijsku mrežu priključeno je oko 7.260 kućanstava i poslovnih subjekata. Izvedeno je ukupno oko 170 km kanalizacijske mreže te nekoliko posebnih objekata (crpnih stanica, preljeva i bazena za prihvat vode) čije održavanje provodi Gradsko komunalno poduzeće KOMUNALAC d.o.o. Koprivnica, slika 2 [11].



Slika 2. Sustav odvodnje grada Koprivnice [11]

Biološki uređaj za pročišćavanje otpadnih voda, slika 3, pročišćava otpadne vode do trećeg stupnja pročišćavanja, odnosno provodi uklanjanje ukupnog dušika, ukupnog fosfora te obrađuje i stabilizira suvišni mulj. Priključna vrijednost UPOV-a grada Koprivnice je 100 000 ES. Na uređaju se vrši prethodna obrade otpadne vode, primarna obrada, biološka obrada i obrada mulja te daljnja obrada mulja na MID-MIX postrojenju.



Slika 3. Centralni uređaj za pročišćavanje grada Koprivnice [11]

Prethodna obrada otpadne vode odvija se pomoću grube rešetke na kojoj se zaustavlja krupni otpad kao što su komadi drveća, krpe, lišće i plastični predmeti. Primarna, mehanička obrada

otpadne vode provodi se u automatiziranom kompaktnom uređaju koji se sastoji od fine rešetke, pjeskolova i mastolova. Postupci sekundarne, biološke obrade otpadne vode obuhvaćaju provedbu aerobnih, anoksičnih i anaerobnih postupaka u kojima mikroorganizmi razgrađuju sastojke s ugljikom, dušikom i fosforom iz otpadne vode. Sekundarna obrada otpadne vode provodi se sekvencijalnim šaržnim (SB) reaktorima. Povećan unos fosfora u prirodne vode glavni je uzrok eutrofikacije i stoga je važno ukloniti fosfor iz otpadnih voda prije njihovog ispuštanja u recipijent. Predviđenim tehničkim rješenjem koncentracija ukupnog fosfora nakon pročišćavanja ne prelazi 2 mg/l.

Tehnologija sekvencijalnih šaržnih reaktora (SBR) predstavlja diskontinuirani postupak biološke, sekundarne obrade gdje se u jednom reaktoru naizmjenično odvijaju različiti procesi ukupnog procesa obrade, kao što su punjenje, aerobne reakcije, anoksične, anaerobne reakcije, sedimentacija i dekantiranje pročišćene vode. Uslijed biološkog procesa razgradnje u SB-reaktorima nastaje suvišni mulj koji se vadi i transportira tlačnim cjevovodom do silosa za mulj u kojima se akumulira, zgušnjava, aerobno stabilizira i dehidrira centrifugom. Nakon toga, mulj s 25 % čvrste tvari dalje se obrađuje u MID-MIX postrojenju pri čemu nastaje konačni produkt, inertni neutral s više od 85 % suhe tvari. Konačni produkt odnosno neutral u obliku je hidrofobnog materijala koji se pomoću trakastog transportera odvodi u silos i pakira u tzv. „*yumbo*“ vreće. Neutral dobiven obradom mulja koristan je materijal koji se zbog hidro, termo i akustičkih izolacijskih svojstava može iskorištavati u građevinskoj industriji ili odlagati na deponije.

Pročišćena voda ispušta se u vodotok Bistru. U vodotokove je prije izgradnje UPOV-a, godišnje ispuštano oko 126 tona dušikovih spojeva i oko 66 tona fosfora. Sada su te vrijednosti smanjene na minimum. U njoj ponovno oživljava poznata lokalna flora i fauna te se ponovo pojavljuju veće zajednice riba [11].

U Koprivnici je postojao stari uređaj za pročišćavanje, slika 4, koji je uključivao samo prvi stupanj pročišćavanja te nije zadovoljavao potrebe šireg gradskog područja i prigradskih naselja (Starigrad, Reka, Kunovec Breg, Koprivnički Ivanec, Štaglinec, Koprivnički Bregi, Peteranec, Sigetec, Hlebine).



Slika 4. Stari uređaj za pročišćavanje [12]

U cilju rješavanja pitanja odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda, 31. ožujka 1993. godine objavljena je Odluka o donošenju Prostornog plana Općine Koprivnica, kojim se između ostalog za cijelo područje rješava i komunalna infrastruktura. Otpadne vode se „Moždanskim jarkom“ u duljini oko 3 km dovode do naselja Herešin, na izvedeni stari uređaj (I faza) koji se proširuje II. stupnjem – biološkom obradom. Pročišćene vode ispuštaju se u „Moždanski jarak“, koji nakon cca 4,5 km utječe u vodotok - kanal Bistru, koji se nakon 10-tak km ulijeva u rijeku Dravu. U kolovozu 2005. g. potpisan je ugovor o gradnji novog uređaja, a izgradnja je započeta u kolovozu 2006. godine. SBR - tehnološki postupak pročišćavanja otpadnih voda grada Koprivnice je odabrano rješenje novog uređaja za pročišćavanje [12], a današnji stupanj izgrađenosti, za grad Koprivnicu i prigradska mjesta koja mu gravitiraju je više od 95 % [11].

2.3.1. Tehnologija i tehnološki procesi obrade otpadnih voda

Propisani uvjeti pročišćavanja mogu se postići tehnologijom koja obuhvaća prethodni, primarni i sekundarni stupanj obrade. Nakon prethodne obrade na gruboj rešetci otpadna voda se u kompaktnom uređaju, koji se sastoji od fine rešetke, pjeskolova i mastolova primarno obrađuje. Zbog znatnih kolebanja količina i opterećenja otpadnih voda SBR tehnologija izabrana ja kao rješenje za pročišćavanje otpadnih voda grada Koprivnice. Shema postrojenja UPOV-a nalazi se na slici 5.



Slika 5. Shema postrojenja UPOV-a (1. Gruba rešetka, 2. Mehanički predtretman, 3. Biofilter, 4. Obrada fosfora, 5. SBR, 6. Obrada mulja, 7. MID – MIX) [11]

Prethodna obrada

Automatizirani početak obrade otpadnih voda započinje na gruboj rešetki, slika 6. Automatska gruba rešetka ima zadaću separirati grube čestice veće od 50 mm. Na njoj se zaustavlja krupni otpad kao što su komadi drveća, krpe, lišće, plastični predmeti. Čišćenje separiranih krutih čestica odvija se automatski pomoću grabilice rešetke. Čišćenje se aktivira mjerenjem razine napunjenosti ispred i iza rešetke. Kako bi se tijekom zimskog rada spriječilo zaleđivanje ispusnog kanala za materijal s rešetke, kompletno je zatvorena i dodatno opremljena grijanjem te se ono uključuje odnosno isključuje pomoću termostatske regulacije.



Slika 6. Automatska gruba rešetka [11]

Primarna obrada

Mehanički predtretman

Prije nego što voda dosegne vrijednosti biološke razine pogona, moraju se iz nje ukloniti tvari koje nisu biološki razgradive i koje bi mogle uzrokovati kvar na uređajima. U to spadaju proizvodi za dnevnu uporabu i iz kućanstva (papir, tekstil, grubi kuhinjski otpadi, higijenski proizvodi, kozmetički štapići, filteri cigareta). Također se iz otpadne vode mora ukloniti pijesak i sitne čestice, kako bi se spriječila njihova sedimentacija u biološkim reaktorima. Mehanička obrada otpadne vode vrši se u automatiziranom, kompaktnom uređaju koji se sastoji od fine rešetke, pjeskolova i mastolova. Kompaktni uređaj za pročišćavanje sastoji se samo od jednog kućišta koji u sebi sadrži sve funkcijske jedinice. Prolaskom kroz finu rešetku izdvajaju se sitniji otpaci. Uzduž valjkastog pjeskolova nalaze se otvori za aeraciju kroz koje se upuhuje zrak i koji izazivaju turbulencije kojima se odvajaju organske od anorganskih tvari. Na taj se način separiraju mineralni sastojci (pijesak, zemlja, strugotine). Istaloženi sastojci povremeno se putem pužnog transportera odvode iz pjeskolova u pravcu izlaznog pužnog transportera. Separator za masnoće služi za separiranje lakih čestica koje su neizbježno sadržane u svim otpadnim vodama. U njih se ubrajaju masnoće iz hrane, mineralne masnoće, ulje, benzin, dizel, plivajuće mikročestice. Zrak isisan iz kompaktnog postrojenja i crpne stanice dotoka se pušta preko biofiltra, slika 7, tako da je zajamčen posve neutralan miris. Izveden je kao zasebna paketna jedinica s ispunom organskog materijala (usitnjena kora drveta) u kojem se zrak biološki pročišćava. Biološko pročišćavanje otpadnog zraka vrši se pomoću specijaliziranih mikroorganizama koji se nastanjuju na organskom podložnom materijalu. Biološki proces razgradnje rezultira ostatkom tvari u obliku CO_2, vode i čestica koje se u biofilteru s vremenom raspadnu, a pročišćeni zrak izlazi u atmosferu.



Slika 7. Biofiltar za pročišćavanje zraka [11]

Sekundarna obrada

Postupci sekundarne, biološke obrade otpadne vode obuhvaćaju provedbu aerobnih, anoksičnih i anaerobnih procesa u kojima mikroorganizmi razgrađuju sastojke s ugljikom, dušikom i fosforom iz otpadne vode. Sekundarna obrada vode provodi se u SB – reaktorima.

Povećan unos fosfora u prirodne vode glavni je uzrok eutrofikacije. Eutrofikacija je proces povećanog prihranjivanja nekog vodenog sustava i stoga je važno ukloniti fosfor iz otpadnih voda prije njihovog ispuštanja u recipijent. Radi postizanja zakonski propisane koncentracije fosfora koristi se polimerno sredstvo koje veže fosfor iz otpadnih voda i ugrađuje u flokulat mulja u tanku za obradu fosfora prikazanom na slici 8.



Slika 8. Tank za obradu fosfora [11]

Biološka faza pročišćavanja

Zbog mješovitog sustava odvodnje i znatnih kolebanja količina i opterećenja otpadnih voda SBR tehnologija pokazala se kao optimalno rješenje. SBR tehnologije pročišćavanja jedna je od najučinkovitijih tehnologija biološke obrade otpadnih voda s izvanredno visokim učinkom pročišćavanja do 99 %. Svaki reaktor predstavlja zasebnu reaktorsku jedinicu u kojoj se odvijaju svi procesi biološkog pročišćavanja. SB-reaktori rade na principu aktivnog mulja. Pod pojmom aktivnog mulja podrazumijeva se mnoštvo mikroorganizama koji nastaju i šire se u biološkom reaktoru, a mikroorganizme u biološki reaktor uglavnom unose same otpadne vode.

Biološka obrada odvija se u nekoliko faza. Prva faza je prihvat onečišćene otpadne vode, druga faza je faza naknadne reakcije gdje se izmjenjuju faza miješanja i faza aeracije. Miješanje sadržaja reaktora provodi se podnim miješalicama. Treća faza je faza sedimentacije. Rezultat

procesa sedimentacije je točno odvajanje faza između pročišćene vode i istaloženog mulja na dnu. Pomoću mobilnog uređaja za dekantiranje T-oblika pročišćena voda se u četvrtoj fazi odvodi iz reaktora bez da se uskovitla istaloženi mulj. Čim se dostigne minimalna razina vode zaustavlja se odvođenje pročišćene vode i reaktor je spreman za ponovno punjenje otpadnom vodom, što predstavlja petu fazu biološkog pročišćavanja [11].

2.3.2. Tehnologija sekvencijalnog šaržnog reaktora (SBR)

SBR tehnologija predstavlja diskontinuirani postupak biološke, sekundarne obrade gdje se u jednom reaktoru odvijaju različiti procesi ukupnog procesa obrade, kao što je punjenje, aerobne reakcije, anoksične, anaerobne reakcije, sedimentacija i odvođenje pročišćene vode.



Slika 9. SB – reaktori na uređaju u Koprivnici [11]

Temeljna obilježja SBR tehnologije su:

- svaki reaktor predstavlja zasebnu reaktorsku jedinicu u kojoj se odvijaju svi procesi biološkog pročišćavanja i na taj način je moguće radi servisiranja izvan pogona staviti jedan reaktor bez ugrožavanja cijelog režima rada uređaja
- SB-reaktori rade na principu aktivnog mulja
- aeracija kisikom iz zraka postiže se distribucijom komprimiranog zraka primjenom E-flex modula koji se sastoje od 12 crijeva za aeraciju paralelno položenih unutar čeličnog okvira od nehrđajućeg čelika na dnu svakog SB-reaktora
- sadržaj reaktora oscilira između dviju razina vode

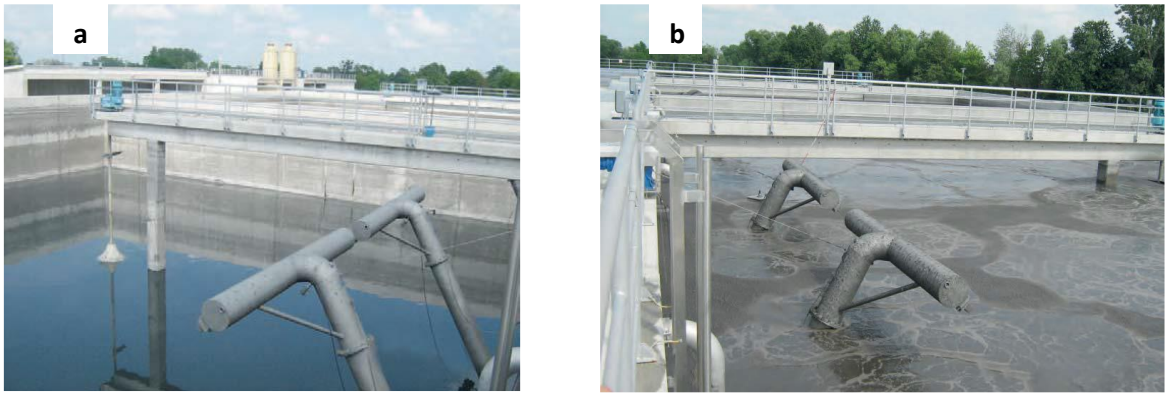
• rezultat procesa sedimentacije je točno odvajanje faza između pročišćene vode i istaloženog mulja na dnu; pomoću mobilnog uređaja za dekantiranje T-oblika pročišćena voda odvodi se iz reaktora bez da se uskovitla istaloženi mulj

Miješanje, aeracija i dekantiranje u SB – reaktorima

Za učinkovito funkcioniranje SBR procesa bitna je optimalna izmjena aeracije (slika 10a), miješanja (slika 10b) i sedimentacije. Miješanje se provodi pomoću *HyperClassic* miješalica koje brzo i intenzivno uskovitlaju mulj istaložen nakon sedimentacije i procesa dekantiranja.

Prednosti *HyperClassic* miješalica su:

- proizvode intenzivno i simetrično strujanje na dnu brzine 0.3 m/s s gustoćom snage ispod 3.0 W/m³ što znatno smanjuje energetske troškove
- visoka izdržljivost pogona postiže se isključivo silaznim aksijalnim silama koje djeluju na pogonski sustav i time uzrokuju neznatno mehaničko opterećenje
- miješalice su izrađene od plastike ojačane staklenim vlaknima čime je postignuta mala težina i potpuna otpornost na koroziju
- svi dijelovi podložni habanju i održavanju nalaze se iznad razine vode što omogućuje jednostavno održavanje i servis
- tehnika miješanja ne uništava pahulje aktivnog mulja jer miješalice imaju rotor s lopaticama koji stvaraju jaki efekt usisa lebdećeg mulja.



Slika 10. a) faza aeracije **b)** faza miješanja [11]

Pri svakom reaktoru na dnu bazena postavljeno je 76 veliko plošnih modula koji se opskrbljuju zrakom iz dva rotacijska klipna kompresora čiji je ukupni učinak 120 % od teorijski potrebne količine zraka. Puhala rade istovremeno, jedno s konstantnim brojem okretaja, a drugo s frekvencijskom regulacijom broja okretaja. U slučaju kvara jednog od puhala, u radu ostaje drugo puhalo, odnosno na raspolaganju ostaje 60 % potrebnog kapaciteta, što je dovoljno za minimalnu opskrbu vode kisikom.

Odvođenje pročišćene vode vrlo je važan dio procesa, jer se nepovoljno pozicioniranim uređajima za dekantiranje mulj može uskovitlati i pomiješati s pročišćenom vodom. Koristi se uređaj za dekantiranje, odnosno dekanter cijevne konstrukcije T-oblika koja je pomoću zgloba povezana s fiksnom odvodnom cijevi. Vertikalno pokretljiva cijevna konstrukcija T-oblika sadrži ulaznu cijev i odvodnu cijev te se pomoću robusnog elektrovitla pokreće prema dolje, a nakon procesa dekantiranja prema gore.

Čim završi faza sedimentacije dekanter se pomoću elektrovitla spušta prema dolje. Pomoću ulazne blende sprečava se ulazak lebdećeg mulja prilikom uronjavanja. Dubina uronjavanja dekantera ograničena je konduktivnom sondom koja se nalazi na glavi dekantera i prilikom kontakta s medijem ispušta signal. Na taj način odvija se postupno spuštanje do postizanja minimalne razine vode. U svakom reaktoru nalaze se tri dekantera DN 350, svaki kapaciteta 350 l/s.

Uslijed biološkog procesa razgradnje u SB-reaktorima nastaje suvišni mulj koji se vadi i transportira tlačnim cjevovodom do silosa za mulj u kojima se akumulira, zgušnjava, aerobno stabilizira i dehidrira centrifugom. Nakon toga, mulj s 25 % čvrste tvari dalje se obrađuje u MID - MIX postrojenju pri čemu nastaje konačni produkt, inertni solidifikat s više od 85 % suhe tvari.

Aerobna stabilizacija i dehidracija

Suvišni mulj s 1%-tnom suhom tvari obrađuje se u silosima za mulj koji se naizmjenično pune suvišnim muljem. Izgrađena su tri silosa, svaki zapremnine 2000 m^3 i spremni provoditi aeriranje uz istovremeno miješanje, miješanje bez aeracije i sedimentacija s odvodnjom zamućene vode.

Proces se odvija prema sljedećem konceptu:

- reaktori se naizmjenično pune suvišnim muljem s 1 % suhe tvari uz miješanje i istovremenu aeraciju pri čemu se odvija efektivna stabilizacija
- nakon punjenja pristupa se prvo stabilizaciji koja traje oko 24 sata; tijekom tog vremena suvišni mulj se toliko istaloži da dolazi do zgrušnjavanja na oko 3 % suhe tvari; pomoću visinski podesivog dekantera izdvaja se zamućena voda i odvodi do crpne stanice, odakle ponovno ulazi u proces pročišćavanja
- nakon faze zgrušnjavanja nastupa faza stabilizacije koja traje oko 2 dana
- nakon druge faze stabilizacije slijedi proces dehidracije mulja; pomoću ekscentrične pužne crpke zgusnuti suvišni mulj transportira se do centrifuge gdje se dehidrira do 25% suhe tvari; tijekom tog procesa pokreće se miješalica kako bi se postigla što homogenija konzinstencija mulja
- nakon što je reaktor za mulj ispražnjen počinje novi proces punjenja; tijekom tog procesa obavlja se pražnjenje drugog reaktora za mulj, odnosno zgrušnjavanje i stabilizacija u trećem reaktoru [11].

2.3.3. MID – MIX tehnologija

MID – MIX je tehnološki postupak obrade i zbrinjavanja mulja iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda na ekonomičan i ekološki prihvatljiv način kojim je moguće i iskorištavanje konačnog produkta – solidifikata, čime se u cijelosti izbjegava bilo kakav oblik daljnje devastacije ili ugrožavanja prirode i okoliša.

MID – MIX tehnološkim postupkom provodi se dehidracija, stabilizacija, detoksikacija i neutralizacija mulja, odnosno sljedeće fizikalno – kemijske faze:

- miješanje materijala obrade u pred spremniku za pripremu
- dodavanje reaktanata na bazi kalcija $Ca(OH)_2$ i CaO
- egzotermna reakcija procesa
- disocijacija u procesu obrade
- vakuumsko – plinska inkapsulacija uloška
- isparavanje vodene pare
- solidifikacija cjeline materijala

- skladištenje solidifikata
- zbrinjavanje (iskorištavanje) solidifikata

Razvijena vodena para filtrira se radi skupljanja i povrata čestica. Konačni produkt je solidifikat u obliku suhog, hidrofobnog materijala koji se pomoću trakastog transportera odvodi u silos gdje se hladi i nakon toga pakira u tzv. „*yumbo*“ vreće na slici 11 [11].



Slika 11. Spremanje solidifikata u tzv. „yumbo“ vreće [11]

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Uzorkovanje

Za provedbu analize fizikalno - kemijskih parametara kvalitete vode uzeti su uzorci otpadne vode na ulazu i izlazu iz centralnog uređaja za pročišćavanje otpadne vode u Koprivnici. Zavod za javno zdravstvo Koprivničko – križevačke županije, odnosno Služba za zdravstvenu ekologiju analizira otpadne vode UPOV-a i izrađuje pripadajuća analitička izvješća. Služba za zdravstvenu ekologiju ovlaštena je za obavljanje djelatnosti uzimanja uzoraka i ispitivanja voda od strane Ministarstva zaštite okoliša i energetike. Akreditirane metode ispitivanja označene su (*) u tablici 1 [13].

Tablica 1. Fizikalno kemijska ispitivanja koja se vrše na UPOV-u grada Koprivnice [13]

Naziv analitičkog pokazatelja	Metoda
DUŠIK ukupni	SHIMADZU
FOSFOR ukupni	HRN ISO 6878:2001
BPK_5	HRN EN 1899-1:2004 / WTW – OxiTop
KPK – Cr	HRN ISO 6060:2003*
Suspendirana tvar	HRN EN 872:2008

3.2. Određivanje ukupnog dušika

Ukupni dušik (TN) analiziran je uređajem TOC Shimadzu/TOC-VCPN (slika 12). Uzorak se nakon predtretmana ubrizgava u kivetu za razlaganje uzroka koja ga zagrijava na 720 °C. U kiveti uzorak prelazi u dušik-monoksid koji se nakon odvlaživanja i hlađenja prenosi strujom pročišćenog zraka (130 mL/min) do kemiluminiscencijskog detektora. Nakon usporedbe sa signalom standardnog uzorka uređaj određuje koncentraciju TN-a u uzorku [14].



Slika 12. Uređaj TOC Shimadzu/TOC-VCPN [15]

3.3. Određivanje ukupnog fosfora

Određivanje fosfata u ionskom obliku PO_4^{3-} provedeno je pomoću UV/VIS spektrofotometra HACH DR 5000 (slika 13). Uzorak vode od 10 ml stavlja se u staklenu kivetu i doda se reagens PhosVer 3 Phosphate Reagent. Uzorak se protresen dok se reagens u potpunosti ne otopi i nakon toga miruje 2 minute kako bi se mogla razviti reakcija između reagensa i fosfata.



Slika 13. UV/VIS spektrofotometar HACH DR 5000 [16]

Ortofosfati reagiraju s molibdatom u kiselom mediju i nastaje miješani fosfatno/molibdatni kompleks. Askorbinska kiselina reducira kompleks uz pojavu izrazito plave boje molibdena. Rezultati se očitavaju pri valnoj duljini od 880 nm. Metoda je preuzeta iz *Standard Methods for the examination of Water and Wastewater*. Kao slijepa proba korišten je uzorak vode. Kako bi se dobile vrijednosti ukupnog fosfora, dobivena vrijednost množi se sa 0,326 [14].

3.4. Određivanje biološke potrošnje kisika (BPK_5)

BPK_5 (biološka potrošnja kisika nakon pet dana) određuje se Oxitop uređajem (slika 14). Temperatura uzorka podesi se na 20 ^{0}C, a pH na 6 - 8. U staklenu tikvicu ili menzuru odmjeri se određeni volumen homogeniziranog uzorka (ovisno o očekivanoj koncentraciji utrošenog kisika u mg/L nakon 5 dana) te se prebaci u bočicu od tamnog stakla. Doda se određeni broj kapi inhibitora nitrifikacije (1 kap na 50 ml uzorka), stavi se magnetić u bočicu i gumeni nastavak na grlo bočice u koji se stave dvije granule NaOH. Bočica se zatvori Oxitop-om te se nulira istovremenim pritiskom na tipke S i M dok se na zaslonu ne prikažu dvije nule (00). Stavi se u prethodno podešen termostat na 20 ± 1 ^{0}C, tako da se magnetić u bočici okreće. Nakon 5 dana očita se rezultat. Uređaj ima mogućnost očitavanja rezultata mjerenja pojedinačno nakon svakog dana, od prvog do petog, kao i trenutnog rezultata mjerenja. Očitani rezultat na Oxitop uređaju pomnožen s faktorom iz tablice 2 daje koncentraciju utrošenog kisika nakon 5 dana u mg/L [17].



Slika 14. Oxitop uređaj [18]

Tablica 2. Faktori za izračun vrijednosti koncentracije utrošenog kisika nakon 5 dana u mg/L u odnosu na volumen uzorka [17]

Volumen uzorka (ml)	Rang mjerenja (mg/L)	Faktor
432	0 – 40	1
365	0 – 80	2
250	0 – 200	5
164	0 – 400	10
97	0 – 800	20
43,5	0 – 2000	50
22,7	0 – 4000	100

3.5. Određivanje kemijske potrošnje kisika (KPK)

Postupak određivanja KPK temelji se na oksidaciji organskih sastojaka u vodi pomoću otopine $KMnO_4$. Utrošak $KMnO_4$ smatra se relevantnim pokazateljem količine organskih tvari u vodi. Vrijednost KPK dobivena je preko potrošnje kalijeva permanganata ($KMnO_4$) postupkom titracije. Izražava se u mg/L O_2. Za analizu se koristi otopina natrijevog oksalata na način da se natrijev oksalat (0,1675 g) otopi u destiliranoj vodi u tikvici od 250 ml (1/2 tikvice ispunjena vodom) uz dodatak nekoliko kapi koncentrirane sumporne kiseline te zagrije. Nakon hlađenja tikvica se napuni do oznake destiliranom vodom. Nakon toga odmjeri se 100 ml uzorka vode, profiltrira preko naboranog filter papira i prenese u Erlenmayerovu tikvicu. U uzorak se dodaje 15 ml sumporne kiseline (1:3) i zagrijava do vrenja te kuha još 5 min. U vruću otopinu dodaje se otopina kalijeva permanganata (0,002 M) i kuha još 10 min. Zatim se dodaje otopina natrijevog oksalata i kuha do obezbojenja. Vruća otopina titrira se otopinom $KMnO_4$ [19].

3.6. Određivanje suspendirane tvari

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

- crna traka, Ø = 55 mm – za uzorak ulazne vode

- sa staklenom fazom, Ø = 55 mm – za uzorak povrata mulja
- celuloza nitratni, Ø = 50 mm – za uzorak izlazne vode.

Filter papir stavi se na vakuum sisaljku te se ispere malom količinom destilirane vode. Određeni volumen izmiješanog uzorka (ovisno o količini suspendirane tvari koja se očekuje) profiltrira se preko filter papira, ispere se malom količinom destilirane vode te se stavi u sušionik na 105 ^{0}C oko 60 minuta. Osušeni filter papir stavi se u eksikator na hlađenje najmanje 30 – 60 minuta, zatim se važe i zabilježi odvaga.

Ukoliko se određuje i postotak organske tvari u uzorku, filter papir s talogom stavi se u porculansku zdjelicu i spali na 600 ^{0}C na način da se zdjelica s filter papirom stavi u peć za žarenje i drži do pojave plamena, a zatim se otvore vrata peći dok se plamen ne ugasi. Ponovno se zatvore vrata i zdjelica s filter papirom se ostavi u peći 15 minuta. Spaljeni filter papir stavi se u eksikator na hlađenje u trajanju od 60 minuta, važe se i zabilježi odvaga [20].

4. REZULTATI I RASPRAVA

Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda grada Koprivnice ima 3. stupanj pročišćavanja otpadnih voda za koji je, prema *Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 3/2016) [21],* propisano određivanje ukupnog dušika, ukupnih nitrata, KPK, BPK_5 i suspendiranih tvari. U gradu Koprivnici izgrađen je miješani kanalizacijski sustav, što znači da na uređaj za pročišćavanje otpadnih voda dolaze kućanske otpadne vode i oborinske otpadne te industrijske otpadne vode. U Koprivnici se nalaze tri tvornice, odnosno prehrambena industrija Podravka, farmaceutska industrija Belupo i Carlsberg (pivarska industrija), od kojih samo Carlsberg ima svoj vlastiti pročistač s drugim stupnjem pročišćavanja te se pročišćena voda ispušta u kanalizaciju. Ispuštanjem otpadnih voda, industrije znatno doprinose povišenim vrijednostima koncentracija fizikalno – kemijskih pokazatelja kakvoće voda. Otpadne vode iz prehrambene industrije utječu na povišenje BPK_5, krutina i masnoća, iz farmaceutske industrije na povišenje KPK vrijednosti, kiselina i lužina dok otpadne vode iz pivarske industrije utječu na povišenje KPK, BPK_5 te ulja i masti.

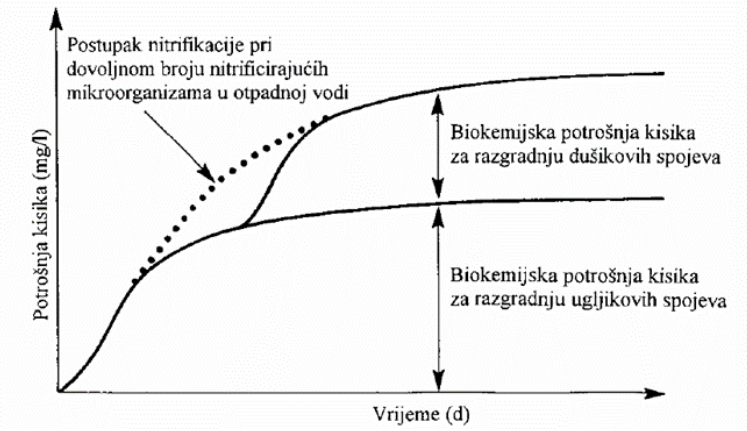
U daljnjem radu prikazane su vrijednosti fizikalno-kemijskih pokazatelja odnosno ukupnog dušika, ukupnih nitrata, KPK, BPK_5 i suspendiranih tvari za 2014., 2015. i 2016. godinu izmjerene na UPOV-a grada Koprivnice.

Prema *Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 80/2013) [21],* granične vrijednosti emisija (GVE) fizikalno – kemijskih pokazatelja u otpadnim vodama prikazane su u *Tablici 3*.

Tablica 3. Granične vrijednosti emisija onečišćujućih tvari u otpadnim vodama [21]

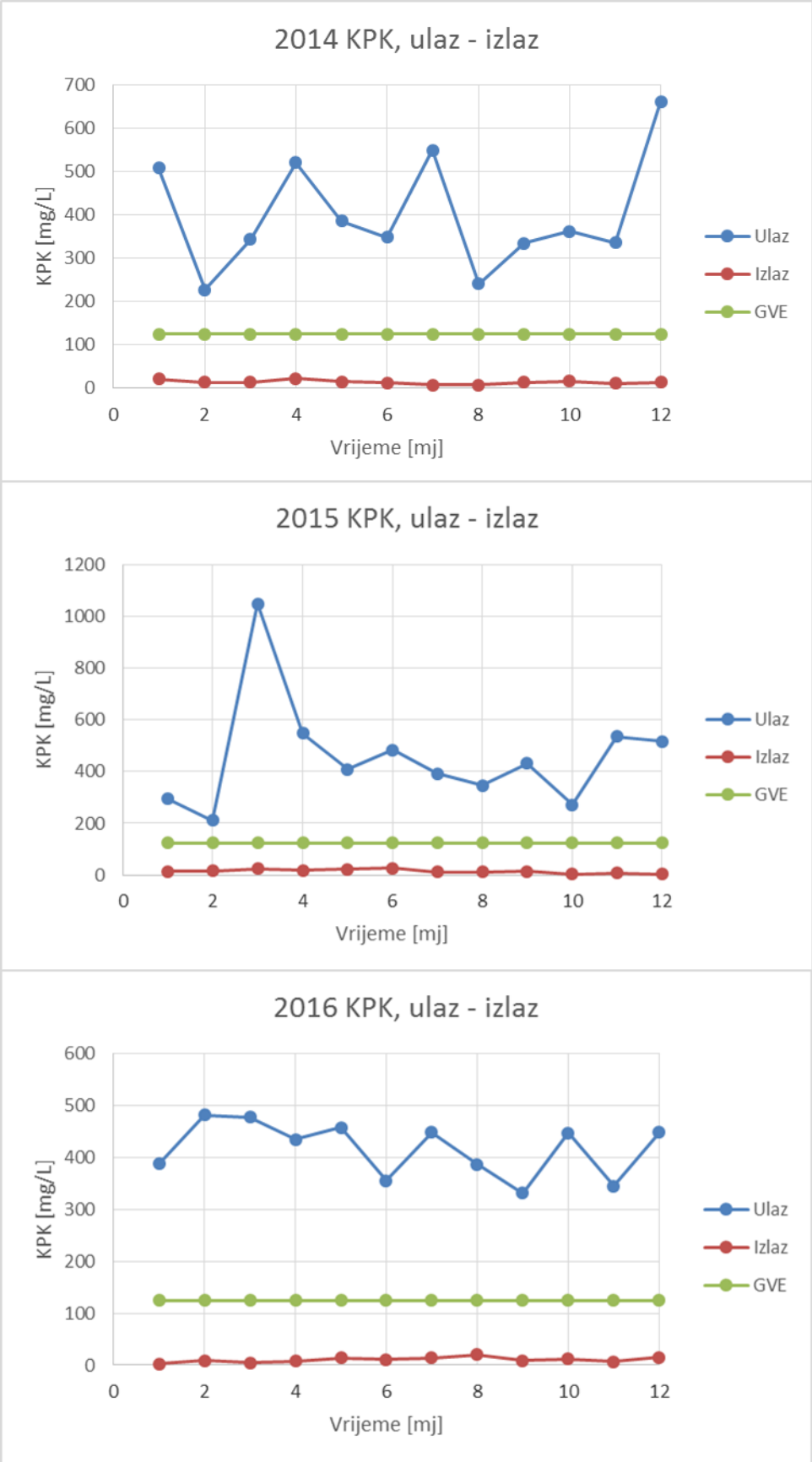
FIZIKALNO – KEMIJSKI POKAZATELJ	JEDINICA	GRANIČNA VRIJEDNOST EMISIJE
KPK	(mg/L) O_2	125
BPK_5	(mg/L) O_2	25
Ukupni dušik	(mg/L) N	15
Ukupni fosfor	(mg/L) P	2
Suspendirana tvar	mg/L	35

Ukupna se organska tvar dijeli na biološki razgradivu i nerazgradivu tvar. Najčešće skupine organskih tvari u vodi su bjelančevine (40-60 %), ugljikohidrati (50-25 %) te masnoće (oko 10 %). Osim njih u vodi se nalaze i manje količine brojnih sintetičkih organskih molekula (npr. deterdženti, pesticidi). Pokazatelj količine nerazgradive organske tvari u vodi je KPK, a razgradive organske tvari u vodi BPK, koja označava količinu kisika potrebnu za razgradnju organske tvari pomoću mikroorganizama. S obzirom da potpuna razgradnja organske tvari traje vrlo dugo, za praktične je svrhe uveden pokazatelj „petodnevne biološke potrošnje kisika“ (BPK_5). Biokemijskom oksidacijom razgrađuju se ugljikovi i dušikovi spojevi. Nakon 20 dana razgradi se 95-99 % ugljikovih spojeva, a tijekom 5-dnevnog razdoblja oko 60-70 %. Za razvoj bakterija koje razgrađuju dušikove spojeve potrebno je 6-10 dana, a ako ih u vodi već ima, onda razgradnja započinje ranije, slika 15.

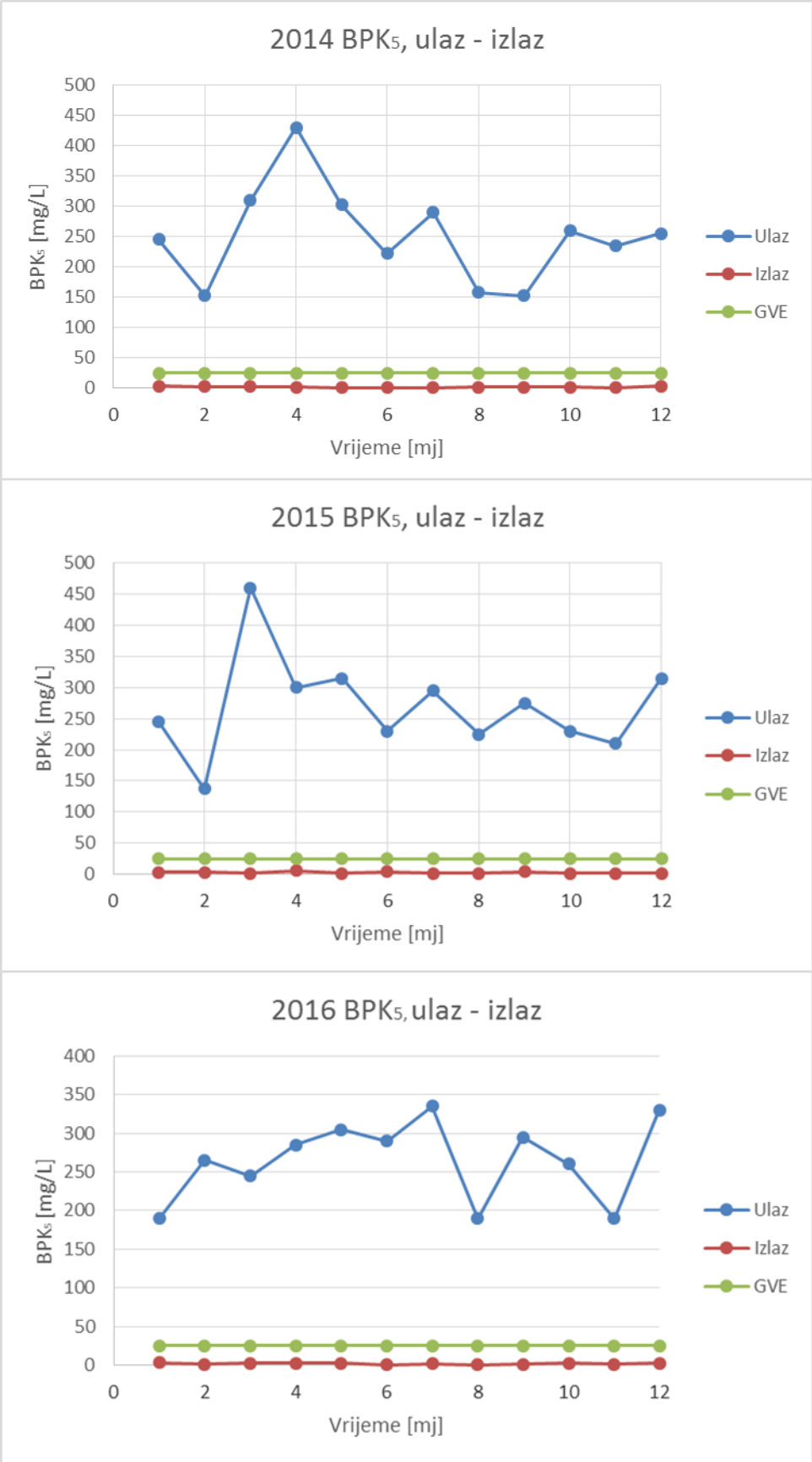


Slika 15. Tijek razgradnje ugljikovih i dušikovih spojeva tijekom biološke potrošnje kisika [10]

Na slici 16 i 17 prikazane su vrijednosti koncentracija KPK i BPK_5 za razdoblje od 2014. do 2016. godine. Ulazne vrijednosti pokazatelja pokazuju velike naizmjenične oscilacije (KPK od 200 – 1200 (mg/L) O_2; BPK_5 od 140 – 460 (mg/L) O_2) što je posljedica zadržavanja ulazne otpadne vode u retencijskom bazenu, a to znači da se krute čestice istalože na dno, što uzrokuje niže koncentracije organskog i anorganskog onečišćenja na površini, a više koncentracije onečišćenja prisutne su na dnu bazena. Crpka najprije crpi vodu s površine pa su tako i ulazne vrijednosti pokazatelja KPK, BPK_5 i suspendiranih tvari niže. Sniženjem razine vode, crpi se gušća masa te su iz tog razloga i vrijednosti pokazatelja znatno više. Kao što je vidljivo iz slika, izlazne vrijednosti su ispod GVE što upućuje na efikasan rad uređaja.

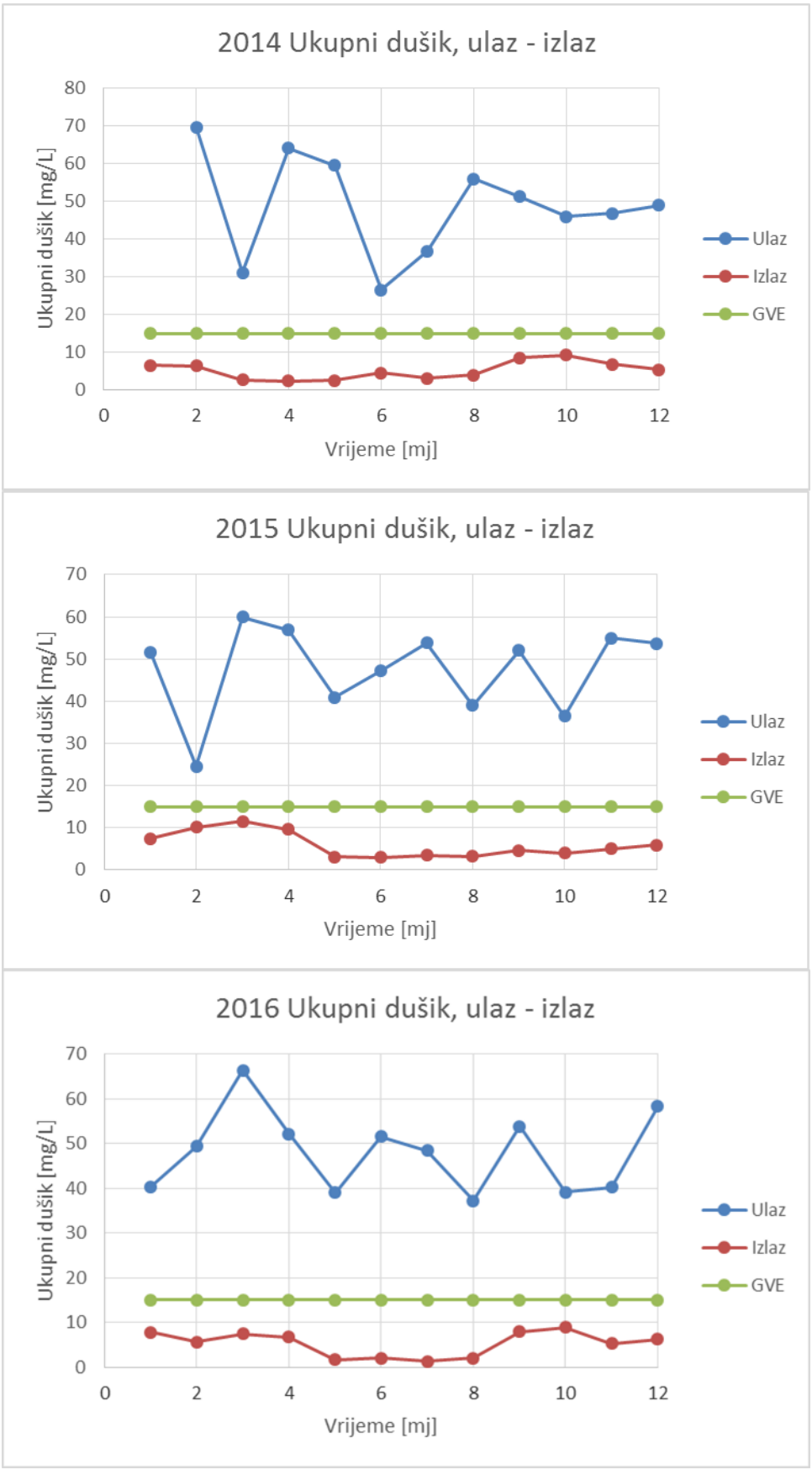


Slika 16. Vrijednosti koncentracija KPK kroz 2014., 2015. i 2016. godinu [13]



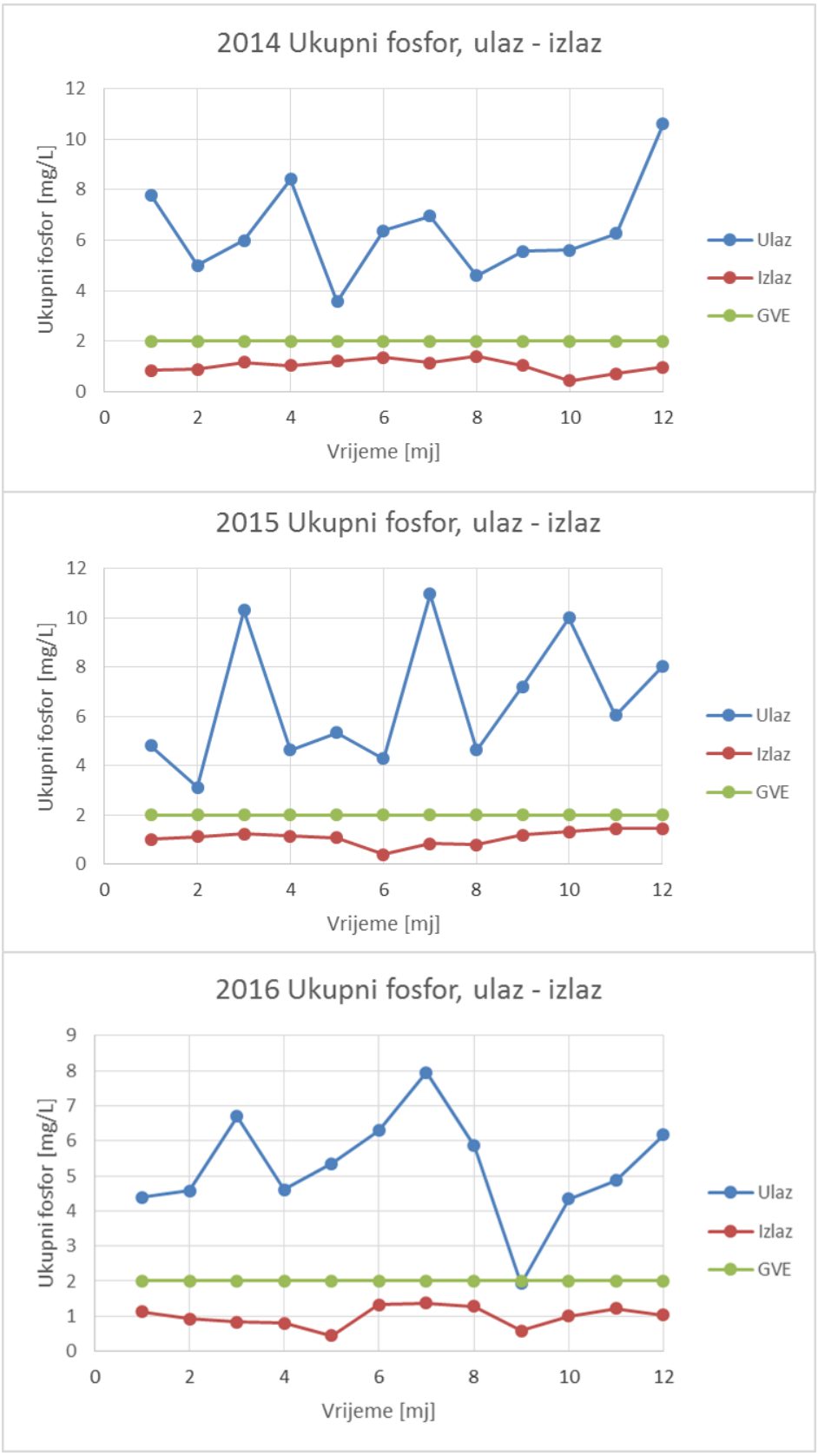
Slika 17. Koncentracije BPK_5 kroz 2014., 2015. i 2016. godinu [13]

Dušik se kao plin (N_2) nalazi u atmosferi, a pri posebnim uvjetima oksidira u dušikov (IV) oksid (dušikov dioksid - NO_2) te ispiranjem iz atmosfere dospijeva u vodne sustave. Određene vrste algi, bakterija i biljaka mogu uzimati dušik iz atmosfere, no najveći dio dušikovih spojeva u vodi je posljedica razgradnje organske tvari. Dodatne se količine unose i ispiranjem poljoprivrednog zemljišta. U vodnim sustavima gdje postoje dovoljne količine otopljenog kisika događaju se procesi razgradnje organske tvari (amonijak – nitriti – nitrati), a čime se smanjuje sadržaj kisika u vodi. Nitrati sami po sebi nisu toksični, ali uneseni u organizam ljudi i životinja putem hrane mogu prouzročiti nitratnu toksikozu koja se odvija u jetri gdje se nitrati metaboliziraju u nitrite. Visoka koncentracija nitrata u otpadnoj vodi pokazatelj je završnog stupnja stabilizacije biološkog otpada ili jako nagnojenih polja. Na slici 18 vidljive su vrlo visoke oscilacije ulaznih vrijednosti koncentracije ukupnog dušika tijekom prvih šest mjeseci (24 – 70 mg/L), što se može pripisati povećanoj upotrebi mineralnih gnojiva na poljoprivrednim površinama. Daljnjih šest mjeseci nisu vidljive velike oscilacije, a izlazne vrijednosti su ispod vrijednosti dozvoljenih Pravilnikom.



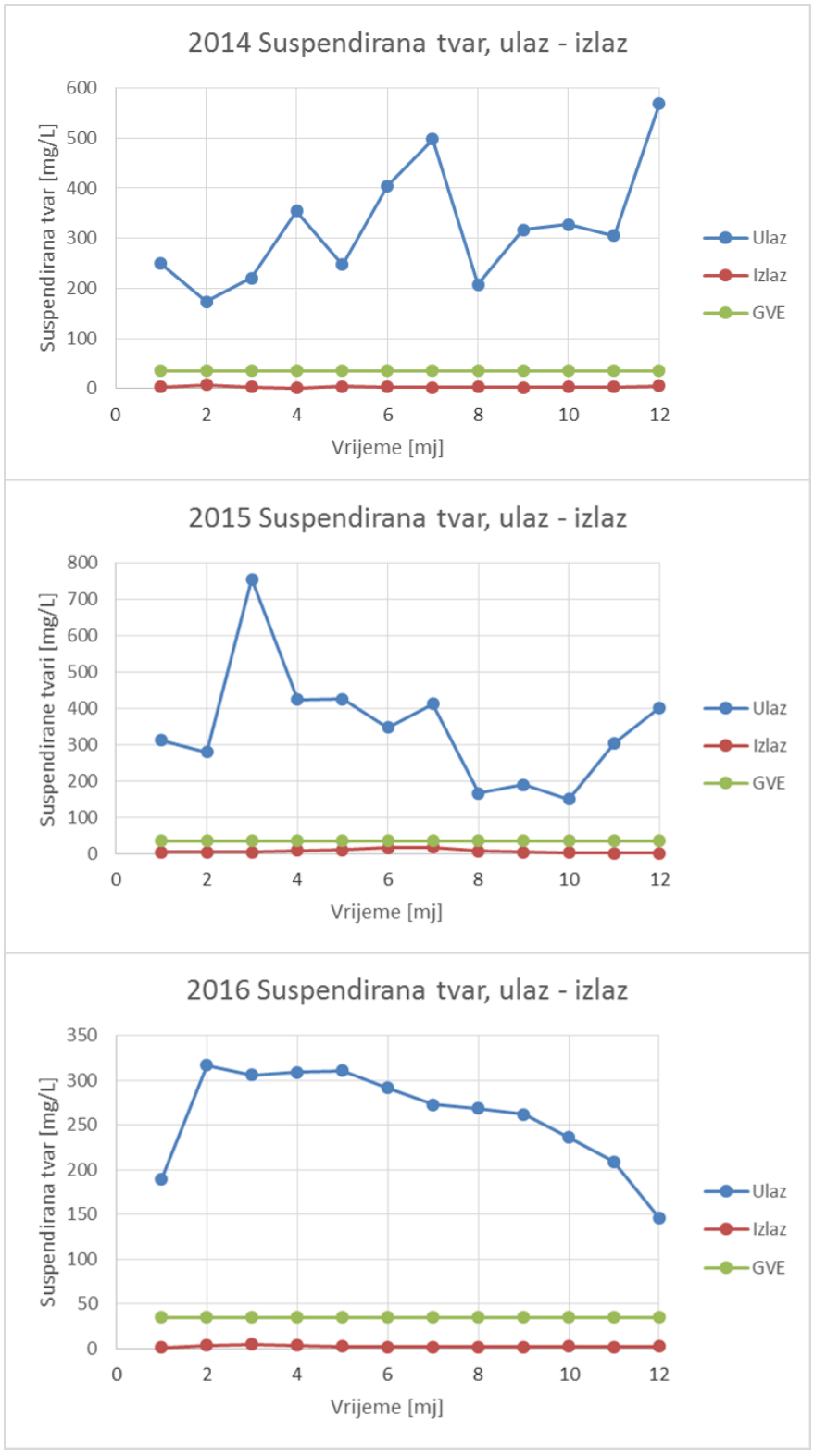
Slika 18. Koncentracije ukupnog dušika kroz 2014., 2015. i 2016. godinu [13]

Na slici 19 prikazane su vrijednosti koncentracije fosfora tijekom tri godine. Ulazne vrijednosti fosfora kreću se u rasponu od 2 – 11 mg/L te su vidljive velike oscilacije ulaznih vrijednosti što je povezano s ljudskim aktivnostima (npr. industrija, promet). Fosfor se u vodi nalazi u obliku ortofosfata, polifosfata i organski vezanog fosfora. U vodu dospijeva razgradnjom organske tvari te ispiranjem zemljišta (naročito poljoprivrednog). Prirodne vode sadrže fosfor u vrlo niskim koncentracijama. Povećanje sadržaja fosfora može prouzročiti niz neželjenih zbivanja (cvjetanje algi, sniženje sadržaja otopljenog kisika, pomor nekih vrsta riba). Izvori fosfora u vodama mogu biti prirodnog i antropogenog porijekla (tlo i stijene, industrijske i kućanske otpadne vode, odvodi gnojenih površina i sl.). Fosfor nije otrovan, ali povećava proizvodnju primarne organske tvari te samim time povećava eutrofikaciju vodnih sustava.



Slika 19. Koncentracije ukupnog fosfora kroz 2014., 2015. i 2016. godinu [13]

Iz slike 20 vidljiv je širok raspon ulaznih koncentracija suspendiranih tvari (150-750 mg/L) tijekom 2014. i 2015. godine, što se može velikim dijelom pripisati utjecaju oborina.

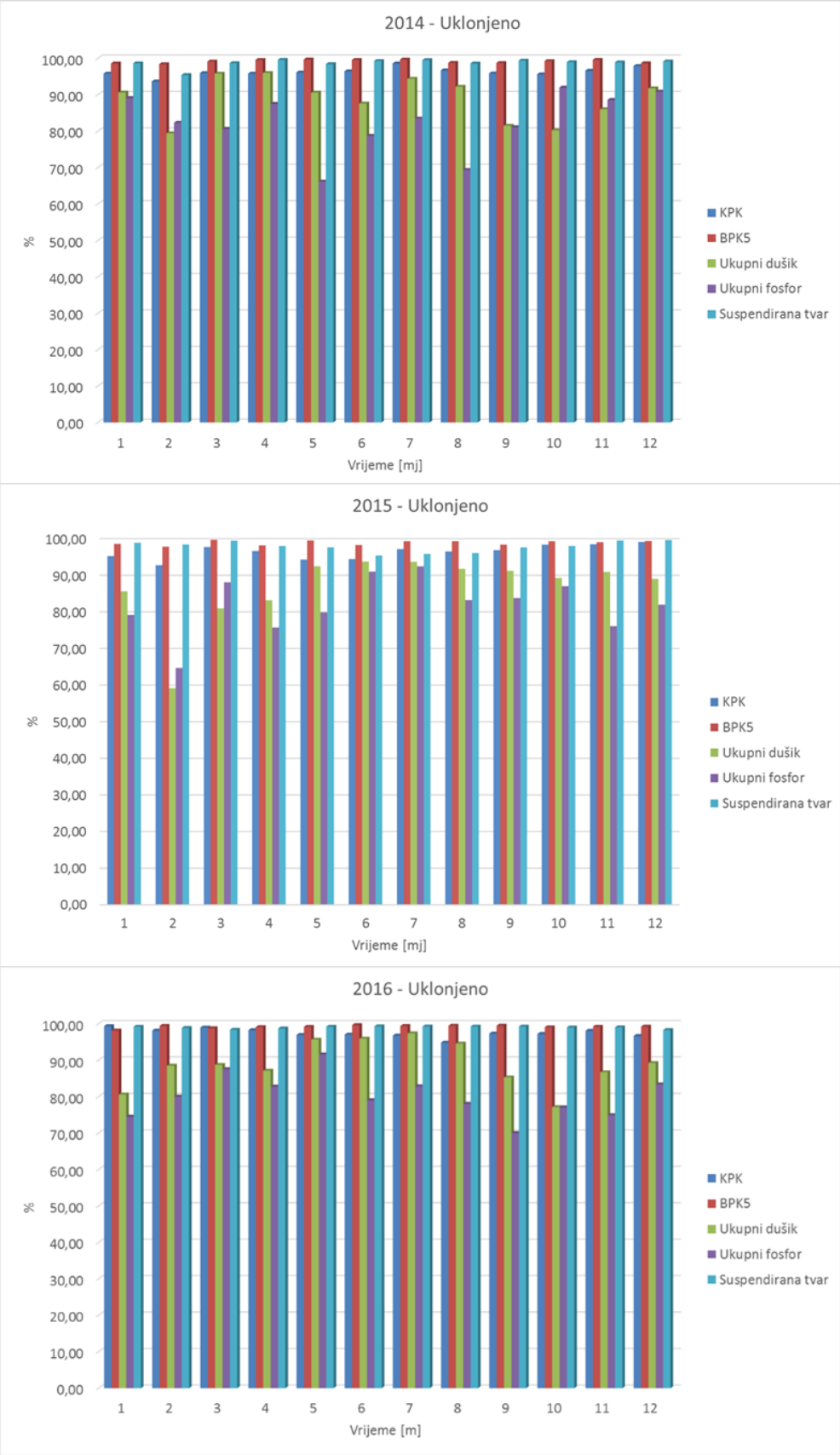


Slika 20. Koncentracije suspendirane tvari kroz 2014., 2015. i 2016. godinu [13]

Oborinske vode, koje ispiru atmosferu kao i površine gradova i naselja, međusobno se bitno razlikuju, ali im je zajednička značajka da su prilikom početnog ispiranja površina, koncentracije suspendiranih tvari ponekad više od koncentracija u kućanskim otpadnim vodama. Nakon dužeg ispiranja površina, koncentracija suspendiranih tvari u oborinskim vodama se smanjuje [22]. Suspendirane tvari uzrokuju zamućenje vode, odnosno uzrokuju estetsko onečišćenje voda. Sprečavaju prodiranje svjetla u vodu čime ograničavaju procese fotosinteze i razvoj algi te antibakterijsko djelovanje svjetla na patogene organizme.

Nakon pročišćavanja vidljivo je da su vrijednosti pokazatelja koncentracije suspendiranih tvari unutar GVE odnosno gotovo su konstantne što potvrđuje učinkovit rad UPOV-a.

Na slici 21 prikazan je postotak uklanjanja onečišćujućih tvari odnosno fizikalno-kemijskih pokazatelja kakvoće otpadnih voda. Vidljiv je kontinuiran i vrlo velik postotak uklanjanja odnosno uklonjeno je 80-100 % onečišćujućih tvari tijekom trogodišnjeg razdoblja što ukazuje na kvalitetan proces pročišćavanja otpadne vode. Temeljem analiza fizikalno-kemijskih pokazatelja otpadne vode te pročišćene vode na UPOV-u može se zaključiti da je voda dobre kakvoće i da su promatrani fizikalno-kemijski pokazatelji unutar GVE.



Slika 21. Pojedinačni postotak uklonjenih pokazatelja kroz 2014., 2015. i 2016. godinu [13]

5. ZAKLJUČAK

Voda je izvor života, sastavni element svakog bića na planetu Zemlju te je treba čuvati i o njoj kvalitetno brinuti. Kontinuirano ispitivanje i praćenje fizikalno-kemijskih pokazatelja otpadne vode vrlo je važno jer se u slučaju iznenadnih situacija odnosno povećanih koncentracija pojedinih pokazatelja može pravovremeno reagirati.

U ovom radu analizirani su rezultati fizikalno–kemijskih pokazatelja (KPK, BPK_5, ukupni dušik, ukupni fosfor, suspendirana tvar) za razdoblje od 2014. do 2016. godine. Tijekom promatranog razdoblja, ulazne vrijednosti ispitivanih pokazatelja povećane su u ljetnim mjesecima, ali sve izlazne vrijednosti su unutar graničnih vrijednosti emisija što upućuje na zaključak da je UPOV-a grada Koprivnice vrlo efikasan.

Pročišćavanje otpadnih voda utječe na očuvanje sveukupne biološke raznolikosti i održivo korištenje prirodnih dobara, ali dobrobit sadašnjih i budućih naraštaja ne ovisi samo o pročišćavanju nego i samoj štednji pri direktnom korištenju dragocjenog prirodnog dobra – vode.

6. POPIS LITERATURE

1. Hrvatski zavod za javno zdravstvo. *Svjetski dan voda.* Dostupno na: https://www.hzjz.hr/sluzba-zdravstvena-ekologija/svjetski-dan-voda. Datum pristupa: 26.3.2018.

2. Hrvatske vode. *Projekt zaštite od onečišćenja voda u priobalnom području 2*. Dostupno na: http://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/izvjesce_neovisnogrevizora. Datum pristupa: 7.5.2018.

3. Jurac Z. *Otpadne vode*. Karlovac: Veleučilište u Karlovcu; 2009. str. 55 - 64.

4. Tušar, B. *Pročišćavanje otpadnih voda.* 1. izdanje. Zagreb: Kigen d.o.o.; 2009. str. 73.

5. Hrvatske vode. *Direktiva vijeća o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda.* Dostupno na: http://www.voda.hr/sites/default/files/direktiva_o_odvodnji_i_prociscavanju_komunalnih_otpadnih_voda_-_91_271_eec_-_1991.pdf. Datum pristupa: 24.5.2018.

6. Hrvatske vode. *Okvirna direktiva o vodama.* Dostupno na: http://www.voda.hr/hr/okvirna-direktiva-o-vodama. Datum pristupa: 24.5.2018.

7. Narodne novine. *Pravilniku o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (NN 117/07).* Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_10_114_2184.html. Datum pristupa: 24.5.2018.

8. Vouk, D. Uvod i zakonski okviri. Dostupno na: http://www.grad.hr/rescue/state-of-the-art/uvod-i-zakonski-okviri/. Datum pristupa: 26.3.2018.

9. Eur-lex. *EU Direktiva o otpadu 2008/98/EC.*

Dostupno na: file:///C:/Users/MLINARIC/Downloads/DOC_1.hr.pdf. Datum pristupa 24.5.2018.

10. Tedeschi, S. *Zaštita voda.* 1. izdanje. Zagreb: HDGI; 1997.

11. Koprivničke vode d.o.o. *UPOV*. Dostupno na: http://www.kcvode.hr/upov/. Datum pristupa: 15.2.2018.

12. Tušar, B. Centralni uređaj za pročišćavanje otpadnih voda grada Koprivnice. *Hrvatska vodoprivreda.* 2011. str. 16-19.

13. Zavod za javno zdravstvo Koprivničko - križevačke županije. *Izvješće o ispitivanju.*

14. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.* 1999.

15. Pharmatech. *Shimadzu's TOC-V series.*

Dostupno na: http://www.pharmtech.com/shimadzus-toc-v-series. Datum pristupa: 23.5.2018.

16. Camlab.*UV-VIS Spectrophotometer DR 5000.* Dostupno na: https://www.camlab.co.uk/dr5000-spectrophotometer-uv-vis-p17184.aspx. Datum pristupa: 23.5.2018.

17. WTW. *WTW – ove upute za rad sa Oxitop-om.* 2017.

18. Ru-Ve. *Biološka potrošnja kisika (BPK) samo-testiranje.* Dostupno na: http://www.ru-ve.hr/proizvod/biolo-scaron-ka-potro-scaron-nja-kisika-bpk-samo-testiranje-90-198. Datum pristupa: 23.5.2018.F

19. Sačer, P. *Utjecaj komunalnih otpadnih voda na kvalitetu vode u Bednji kod Ludbrega.* Diplomski rad: Geotehnički fakultet Varaždin; 2012.

20. ISO. *Water quality - Determination of suspended solids by filtration through glass-fibre filters (ISO 11923:1997).*

21. Narodne novine. *Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 80/2013).* Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_06_80_1681.html. Datum pristupa: 23.5.2018.

22. Fujs, N. *Ispitivanje fizikalno kemijskih parametara kvalitete voda.* Diplomski rad: Geotehnički fakultet Varaždin; 2015.

7. POPIS SLIKA

Slika 1. Životni ciklus otpadne vode i mulja u Hrvatskoj nakon 2018. godine

Slika 2. Sustav odvodnje grada Koprivnice

Slika 3. Centralni uređaj za pročišćavanje grada Koprivnice

Slika 4. Stari uređaj za pročišćavanje

Slika 5. Shema postrojenja UPOV-a (1. Gruba rešetka, 2. Mehanički predtretman, 3. Biofilter, 4. Obrada fosfora, 5. SBR, 6. Obrada mulja, 7. MID – MIX)

Slika 6. Automatska gruba rešetka

Slika 7. Biofiltar za pročišćavanje zraka

Slika 8. Tank za obradu fosfora

Slika 9. SB – reaktori na uređaju u Koprivnici

Slika 19. a) faza aeracije, **b)** faza miješanja

Slika 11. Spremanje solidifikata u tzv. „yumbo“ vreće

Slika 12. Uređaj TOC Shimadzu/TOC-VCPN

Slika 13. UV/VIS spektrofotometar HACH DR 5000

Slika 14. Oxitop uređaj

Slika 15. Tijek razgradnje ugljikovih i dušikovih spojeva tijekom biološke potrošnje kisika

Slika 16. Koncentracije KPK kroz 2014., 2015. i 2016. godinu

Slika 17. Koncentracije BPK_5 kroz 2014., 2015. i 2016. godinu

Slika 18. Koncentracije ukupnog dušika kroz 2014., 2015. i 2016. godinu

Slika 19. Koncentracije ukupnog fosfora kroz 2014., 2015. i 2016. godinu

Slika 20. Koncentracije suspendirane tvari kroz 2014., 2015. i 2016. godinu

Slika 21. Pojedinačni postotak uklonjenih pokazatelja kroz 2014., 2015. i 2016. godinu

8. POPIS TABLICA

Tablica 1. Fizikalno kemijska ispitivanja koja se vrše na UPOV-u grada Koprivnice

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

Tablica 3. Granične vrijednosti emisija onečišćujućih tvari u otpadnim vodama

9. POPIS I OBJAŠNJENJE KRATICA KORIŠTENIH U RADU

1. UPOV – uređaj za pročišćavanje otpadnih voda
2. ES – ekvivalent stanovnika
3. KPK – kemijska potrošnja kisika
4. BPK – biološka potrošnja kisika
5. TOC – totalni organski ugljik
6. SBR – tehnologija sekvencijalnih šaržnih reaktora
7. GVE – granična vrijednost emisije
8. BPK_5 – petodnevna biološka potrošnja kisika