

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

KRISTINA ŠIMUNKOVIĆ

EFIKASNOST UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH
VODA TVORNICE „DUKAT“

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

EFIKASNOST UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH
VODA TVORNICE „DUKAT“

KANDIDAT:
KRISTINA ŠIMUNKOVIĆ

MENTOR:
Doc. dr. sc. SINIŠA ŠIRAC

VARAŽDIN, 2016.



Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet



ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnica: KRISTINA ŠIMUNKOVIĆ

Matični broj: 2139 - 2011./2012.

Smjer: INŽENJERSTVO OKOLIŠA

NASLOV ZAVRŠNOG RADA:

EFIKASNOST UREDAJA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA
TVORNIČE „DUKAT“

Rad treba sadržati:

1. Uvod
2. Opći dio
3. Rezultati i diskusija
4. Zaključak
5. Literatura
6. Prilozi

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

Zadatak zadan: 30.03.2016.

Rok predaje: 01.09.2016.

Mentor:

Doc.dr.sc. Siniša Širac



Predsjednica Odbora za nastavu:

Doc.dr.sc. Sanja Kovač

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom

Efikasnost uređaja za pročišćavanje otpadnih voda tvornice „Dukat“

(naslov završnog rada)

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom doc. dr. sc. Siniše Širca.

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. rujna 2016.

KRISTINA ŠIMUNKOVIĆ

(Ime i prezime)

86041605441

(OIB)



(Vlastoručni potpis)

Zahvaljujem se svom mentoru, doc. dr. sc. Siniši Šircu na pomoći, strpljenju i organizaciji pri izradi ovog rada.

Zahvaljujem se Dukatu d.d. i gospodinu mr. sc. Damiru Brleku, direktoru Zaštite okoliša i sustava kvalitete na ukazanom povjerenju i pomoći tijekom izrade ovog rada.

Hvala mojim roditeljima i obitelji na podršci i razumijevanju tijekom studija.

SAŽETAK

Otpadne vode mljekarske industrije spadaju u otpadne vode prehrambene industrije. Karakteristično opterećenje su organske tvari poput proteina, laktoze i masti, sirutka te ostaci sredstava za čišćenje pogona. Iz takvog specifičnog sastava slijede velike varijacije pH vrijednosti takvih otpadnih voda.

Rezultati analiza otpadnih voda tvornice „Dukat“ na ulazu i izlazu iz uređaja za pročišćavanje, za period od siječnja do lipnja 2016. godine, uspoređeni su sa maksimalno dozvoljenim koncentracijama utvrđenim Zakonom o gospodarenju vodama te je ocijenjena efikasnost uređaja.

Rezultati pokazuju da su otpadne vode mljekarske industrije veoma opterećene te da je obavezno pročišćavanje prije ispuštanja.

KLJUČNE RIJEČI: otpadne vode mljekarske industrije, pročišćavanje otpadne vode, organsko onečišćenje vode, efikasnost uređaja za pročišćavanje otpadne vode

Tablica sadržaja

1.	UVOD.....	1
2.	OPĆI DIO	2
2.1.	Onečišćenje vode	2
2.2.	Otpadne vode mljekarske industrije.....	2
2.3.	Kakvoća otpadnih voda mljekarske industrije	3
2.3.1.	Kemijska kakvoća otpadnih voda mljekarske industrije	4
2.3.2.	Biološka kakvoća otpadnih voda mljekarske industrije	5
2.3.3.	Fizikalna kakvoća otpadnih voda mljekarske industrije.....	6
2.4.	Pročišćavanje otpadnih voda.....	7
2.5.	Postupci obrade otpadnih voda mljekarske industrije.....	7
2.5.1.	Fizikalno-kemijska obrada otpadnih voda mljekarske industrije	9
2.5.2.	Biološka obrada otpadnih voda mljekarske industrije.....	10
2.6.	Membranski biološki uređaji (MBR).....	11
2.6.1.	Primjena.....	11
2.6.2.	Postupak.....	12
2.7.	Sekvencionalni biološki reaktor (SBR).....	12
2.7.1.	Primjena.....	12
2.7.2.	Postupak.....	13
2.8.	Aerobni postupak s aktivnim muljem	15
3.	REZULTATI I DISKUSIJA.....	17
4.	ZAKLJUČAK.....	24
5.	LITERATURA	25
6.	PRILOZI.....	29

1. UVOD

Otpadne vode iz pojedinih industrija se veoma razlikuju prema sastavu zbog različitosti tehnoloških procesa u industrijama. Takve, industrijske otpadne vode mogu se podijeliti na: biološki razgradive (prehrambena industrija) i biološki nerazgradive otpadne vode (kemijska industrija). [1]

U ovom radu promatrati ćemo problematiku biološki razgradivih otpadnih voda tvornice „Dukat“ te efikasnost uređaja za pročišćavanje istih.

Svaka industrija ima specifičan problem po temeljnim sastojcima u otpadnoj vodi. U ovom slučaju to su masti i sirutka, sastojci koji prirodne vode ne sadržavaju.

Pročišćavanje otpadne vode u tvornici „Sirela“ u Bjelovaru provodi se aerobnom obradom otpadne vode tehnologijom aktivnog mulja.

Svrha rada bila je ispitati efikasnost sustava za pročišćavanje otpadnih voda tvornice „Dukat“ motrenjem stanja otpadne vode na ulazu i izlazu iz uređaja.

2. OPĆI DIO

2.1. Onečišćenje vode

Onečišćenje vode je svaka fizikalna, kemijska ili biološka promjena kakvoće vode koja štetno djeluje na žive organizme i okoliš te vodu čini neupotrebljivom za određenu namjenu.

Onečišćenje vode potječe od različitih izvora, a u vodi se pojavljuje kao: netopive tvari (suspenzije, taloživa tvar, koloidno raspršena i plivajuća tvar), topive tvari (najčešće anorganske tvari: soli, željezo, sumpor i karbonati), organske tvari (ugljikohidrati, bjelančevine i masti), toplinsko onečišćenje (posljedica ispuštanja toplih voda iz industrijskih i energetske postrojenja), otrovne tvari (teške kovine), radioaktivne tvari i mikroorganizmi. [2]

2.2. Otpadne vode mljekarske industrije

Najveće opterećenje otpadne vode u prehrambenoj industriji dolazi od organske tvari, a značajnu ulogu predstavljaju i sredstva za čišćenje pogona. Zbog toga je sastav takve vode vrlo kompleksan, a obrada iste vrlo složena. [3]

KPK-vrijednosti otpadne vode kod proizvodnje mlijeka variraju u vrijednostima od 2500 do 6500 mg O₂/L. Pri preradi mlijeka u sir, dolazi do onečišćenja otpadnih voda sirutkom, a kada dođe do miješanja takvih voda, opterećenje je veće te KPK-vrijednosti variraju od 5000 do 15000 mg O₂/L. [4-7]

U mljekarskoj industriji koriste se značajne količine vode. Primjerice, na jednu tonu prerađenog mlijeka troši se od 0,1 do 5,0 m³ vode za potrebe pranja pogona. [8]

U proizvodnji sira, potrošnja vode za preradu 1 tone usirenog mlijeka iznosi 0,8 do 4,0 m³ [9] (tablica 1.).

Tablica 1. Neki od pokazatelja onečišćenja otpadnih voda mljekara [10]

GLAVNI PROIZVOD	OTPADNA VODA (m³/t mlijeka)	KPK (kg/t mlijeka)	MASNOĆE (kg/t mlijeka)
Maslac	0,07 - 0,10	0,10 - 0,30	0,01 - 0,02
Konzumno mlijeko	0,03 - 0,09	0,10 - 0,40	0,01 - 0,04
Sir	0,16 - 0,23	0,40 - 0,70	0,006 - 0,03
Havarti sir	0,60 - 1,00	1,40 - 2,10	0,20 - 0,30

Specifičnost otpadne vode iz proizvodnje mlijeka je i raznolika pH-vrijednost.

Otpadne vode mljekare mogu se podijeliti na nekoliko skupina prema:

- podrijetlo otpadne vode
- sastav otpadne vode
- mogućnosti obrade
- djelovanje na okoliš

Otpadne vode prema podrijetlu možemo podijeliti na:

- otpadne vode od pranja pogona
- sanitarne otpadne vode
- rashladne vode i kondenzati [10]

2.3. Kakvoća otpadnih voda mljekarske industrije

Onečišćenje otpadne vode ovisi o količini organskih sastojaka u vodi, a razina onečišćenja očituje se količinom suspendiranih čestica te kemijskom (KPK) i biokemijskom potrošnjom kisika (BPK).

Kakvoća otpadnih voda mljekarske industrije razvrstana je prema tipu određivanja na:

- kemijsku kakvoću
- biološku kakvoću
- fizikalnu kakvoću

Za određivanje sastojaka koji čine onečišćenje otpadne vode, koriste se metode propisane ISO standardima te ostalim standardima priznatim u svijetu. [11]

2.3.1. Kemijska kakvoća otpadnih voda mljekarske industrije

Kemijsko onečišćenje otpadnih voda čine sastojci organskog i anorganskog podrijetla. Pojavljuju se kao topljive i netopljive tvari (tablice 2. i 3.). Tablica 4. prikazuje količine otpadnih voda nastale iz poznatih količina prerađenog mlijeka.

Tablica 2. Kemijska kakvoća otpadnih voda mljekare [12]

SASTOJCI	KOLIČINA (mg/L)	
	PRIJE OBRADE	NAKON OBRADE
KPK	2000 - 6000	500
BPK5	1200 - 4000	500
Suspendirane čestice	350 - 1000	0
Hlapljive suspendirane čestice	330 - 940	0
Ukupne masnoće	300 - 500	23
Ukupni dušik (Kjeldahl)	50 - 60	25
Ukupni fosfati	20 - 50	
Alkalitet (kao CaCO ₃)	150 - 300	
pH - vrijednost	8 - 11	

Tablica 3. Kemijska kakvoća otpadne vode iz prerade mlijeka; prije i nakon fizikalno-kemijske obrade [12]

SASTOJCI	KOLIČINA (mg/L)	
	PRIJE OBRADE	NAKON OBRADE
KPK	500 - 3000	500
BPK5	300 - 1500	500
Suspendirane čestice	200 - 1200	0
Hlapljive suspendirane čestice	100 - 1000	0
Ukupni fosfor	20 - 600	23
Ukupni dušik	50 - 200	25

Tablica 4. Količina prerađenog mlijeka, nastala količina otpadnih voda i organske tvari izražene kao BPK vrijednost za otpadne vode podrijetlom iz proizvodnje različitih mliječnih proizvoda [8]

VRSTA PROIZVODA	KOLIČINA PRERAĐENOG MLIJEKA (kg/dan)	BPK (kg/t)	KOLIČINA OTPADNE VODE (kg/kg)
Konzumno mlijeko	227 000	0,2	0,1
Svježi sir	272 400	2,0	0,8
Mlijeko i svježi sir	211 110	1,8	1,1
Mlijeko i maslac	135 200	0,9	0,8
Sirutka u prahu	227 000	0,2	5,9
Mlijeko u prahu i maslac	90 800	3,0	2,5

Prema podacima iz tablice 4. jasno se vidi da su otpadne vode iz proizvodnje mlijeka i fermentiranih mliječnih proizvoda znatno manje onečišćene u usporedbi s otpadnim vodama podrijetlom iz proizvodnje sira. [8]

2.3.2. Biološka kakvoća otpadnih voda mljekarske industrije

U otpadnim vodama mljekarske industrije primarno nalazimo lakorazgradljive organske sastojke, a sekundarno dolaze i različite vrste mikroorganizama kao nativna kultura.

Organizme u otpadnim vodama iz mljekarske industrije možemo podijeliti na:

- **Organizmi koji sudjeluju u biološkim procesima razgradnje sastojaka u otpadnoj vodi**

Sastojke otpadne vode razgrađuju koristeći ih kao izvore ugljika, dušika i fosfora, odnosno hranjivog supstrata. To su: bakterije, kvasci, alge, protozoe i metazoe. Njihov rast doprinosi boljoj mikrobiološkoj kakvoći aktivnog mulja.

- **Patogeni organizmi**

Osim organizama nativne kulture, u otpadnoj vodi mljekare nalaze se i patogeni organizmi koji potječu iz sanitarnih otpadnih voda. Razlog je to što se sanitarne otpadne vode miješaju sa otpadnim vodama mljekare. [13]

2.3.3. Fizikalna kakvoća otpadnih voda mljekarske industrije

Fizikalnu kakvoću otpadne vode određuju: koncentracija ukupnih suspendiranih čestica, temperatura, pH-vrijednost, gustoća, mutnoća, boja i miris.

Koncentracija ukupnih suspendiranih čestica predstavlja netopljive i suspendirane krutine i topljive spojeve otopljene u vodi. Organske tvari sastoje se uglavnom od proteina, ugljikohidrata i masti. Između 40 i 65 % od suhe tvari u prosječnoj otpadnoj voda su suspendirani.

Temperatura je vrlo važan fizikalni čimbenik otpadne vode jer o njoj ovisi koncentracija otopljenog kisika, a što izravno utječe na žive organizme u otpadnoj vodi. Pri višoj temperaturi, koncentracija otopljenog kisika se smanjuje. Temperatura potrebna za provedbu bioloških procesa iznosi 25 - 30°C.

pH-vrijednost otpadne vode ovi o podrijetlu iste. Kod otpadnih voda mljekarske industrije pH iznosi od 4 do 8,5. Ukoliko kao nusprodukt nastaje sirutka, tada pH-vrijednost može biti ispod 3. Za provedbu bioloških procesa poželjan pH iznosi od 7 do 8.

Gustoću je važan čimbenik pri provedbi bioloških procesa obrade otpadnih voda, a određuje je količina suspendiranih čestica.

Boja, svježja otpadna voda iz mljekarske industrije ima bijelo-žutu do svjetlo sivu boju od sirutke i mlijeka. Uslijed dužeg ostajanja u otpadnoj vodi, dolazi do fizikalnih i biokemijskih procesa te boja može prijeći do smeđe boje.

Mutnoća je važan pokazatelj otpadne vode, a uzrokovana je prisutnim koloidima i suspendiranim česticama.

Miris otpadne vode iz mljekarske industrije je vrlo specifičan, a posljedica je razgradnje organskih sastojaka. [8]

2.4. Pročišćavanje otpadnih voda

Pročišćavanje otpadnih voda je proces smanjenja onečišćenja otpadnih voda do onih količina ili koncentracija s kojima pročišćene otpadne vode ispuštene u prijemnike ne uzrokuju neželjene promjene u okolišu te postaju neopasne za konačnu, ponovnu upotrebu.

Otpadne vode je prije ispuštanja u prijemnike potrebno pročistiti kako bi se uklonile plivajuće, lebdeće i otopljene tvari. [2]

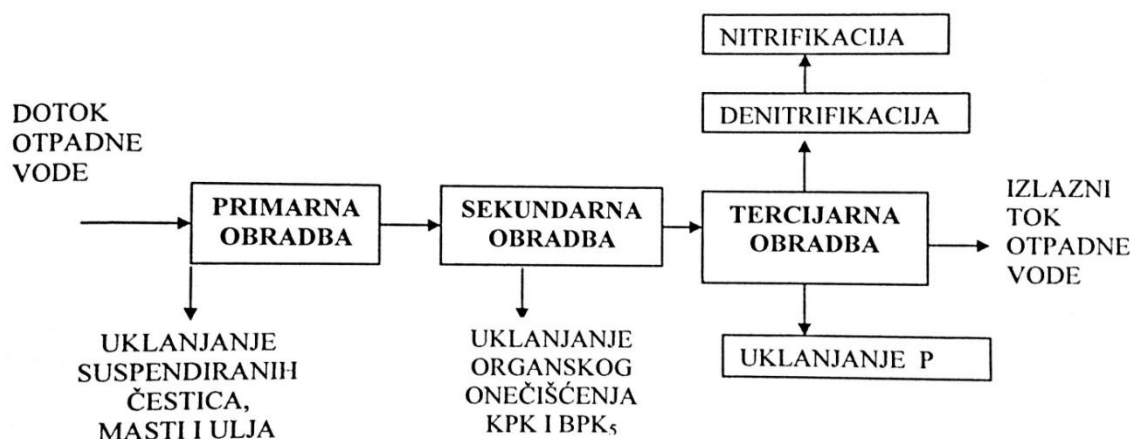
Otpadnu vodu je neophodno pročistiti do stupnja koji je određen normama u Pravilniku o izmjeni i dopuni Pravilnika o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda [14].

Nakon obrade, takva se voda koristi kao: voda za piće i domaćinstva, voda za napajanje termoelektrana, rashladna voda, protupožarna voda u industrijskim postrojenjima, voda za medicinsku upotrebu i ostalo. [2]

2.5. Postupci obrade otpadnih voda mljekarske industrije

Postupke obrade otpadne vode dijelimo na: fizikalne, kemijske i biološke. Specifičnost otpadnih voda mljekarske industrije zahtijeva provedbu svih postupaka obrade. [15]

Postupci obrade otpadne vode shematski su prikazani slikom 1.



Slika 1. Shematski prikaz postupaka obrade otpadne vode [8] [17]

Svrha postupaka obrade jest smanjiti koncentraciju otopljenih organskih sastojaka koji su izraženi KPK i BPK5 vrijednošću uz smanjenje koncentracije suspendiranih čestica i patogenih organizama. Ukoliko se obrađena otpadna voda ispušta u osjetljivi ekosustav, potrebno je provoditi i procese uklanjanja hranjivih tvari (dušik i fosfor). [16]

Otpadnu vodu je prije ispuštanja u ekosustav potrebno pročistiti do Zakonom propisanih razina.

Da bi učinkovito provela obrada otpadne vode potrebno je poznavati:

- dnevnu količinu otpadne vode
- minimalne i maksimalne satne protoke
- kakvoću otpadne vode
- dinamiku proizvodnog procesa
- količinu i vrijeme nastajanja onečišćenja
- mogućnosti razdvajanja otpadnih voda prema stupnju onečišćenja (oborinska, sanitarna i tehnološka otpadna voda)
- mogućnost obrade na mjestu nastanka („in situ“). [9]

2.5.1. Fizikalno-kemijska obrada otpadnih voda mljekarske industrije

Pod fizikalno-kemijske postupke spadaju: neutralizacija, koagulacija, flotacija i taloženje. Tim postupcima uklanjaju se netopiva, a djelomično i koloidna onečišćenja. [15]

- **Predobrada**

Predobradom se smanjuje količina suspendiranih čestica, odvaja se sloj masnoće s površine otpadne vode i ujednačavaju se koncentracije sastojaka otpadnih tvari u vodi. Predobrada obuhvaća cijedenje preko rešetaka, uklanjanje čestica pijeska i šljunka, uklanjanje masti te ujednačavanje protoka i onečišćenja. [15]

- **Izjednačavanje**

Otpadne vode potrebno je izjednačiti kako bi se spriječio tzv. „protočni val“ koji može uzrokovati probleme u radu uređaja. Uzrok „protočnog vala“ je dnevno mijenjanje količine i sastava otpadne vode. Izjednačavanje omogućuje izjednačavanje pH otpadne vode i razrjeđenje onečistila u otpadnoj vodi. [15]

- **Neutralizacija**

Postupak podešavanja pH-vrijednosti na vrijednost povoljnu za odvijanje bioloških procesa (neutralno). Podešavanje se provodi dodatkom: NaOH, NH₄OH, Na₂CO₃, H₂SO₄, HCl. [15] [21]

- **Odstranjivanje zrnatih, pahuljastih i plivajućih čestica**

Zrnate i pahuljaste čestice se talože na dno, a plivajuće isplivaju na površinu. Neometano taloženje: prema teoriji taloženja ubrzava se do momenta kada se gravitacijska sila ne izjednači sa silom trenja. Nakon toga, brzina taloženja je konstantna, a ovisi o obliku čestica.

Neometano taloženje flokulirajućih čestica: većina suspendiranih čestica se povezuju u veće nakupine (flokule) koje se brže talože. Taj fenomen se naziva flokulacija. [15]

Slojevito taloženje: ukoliko su koncentracije suspendiranih čestica više, flokulirajuće čestice se međusobno povezuju i talože formirajući sloj sa jasno vidljivim slojem taloga i bistre tekućine. Aktivni mulj ima ovo svojstvo.

Taloženje uz dodatak sredstva za flokulaciju: cilj je poboljšanje taloženja, a u otpadnu vodu se dodaju: Aluminijsulfat, željezo-sulfat, željezo-klorid i vapno kao sredstva za koagulaciju.

Flotacija predstavlja isplivavanje plivajućih čestica na površinu vode. Na taj način se odstranjuju plivajuće čestice (masti i ulja) i neke od suspendiranih čestica istih svojstava. [18]

2.5.2. Biološka obrada otpadnih voda mljekarske industrije

Učinkovitost biološkog postupka pročišćavanja otpadnih voda ovisi o mikroorganizmima u otpadnoj vodi i o njenom sastavu. Razlikujemo:

- Aerobni postupci

Mikroorganizmi za izmjenu tvari koriste kisik koji se dovodi zrakom (posebno ako ih čine bjelančevine). Pri tome heterotrofni mikroorganizmi razgrađuju organske sastojke, upotrebljavaju otopljene sastojke otpadne vode kao izvore ugljika i energije prevodeći ih u mikrobnu biomasu, CO_2 , NH_4^+ i vodu. Dok autotrofni mikroorganizmi razgrađuju anorganske sastojke – amonijak u nitrit i nitrat.

- Anaerobni postupci

Anaerobnim postupcima odvija se anaerobna razgradnja organskih sastojaka (ugljikohidrata, proteina i masti). Heterotrofni mikroorganizmi, fakultativno anaerobni i obvezatno anaerobni mikroorganizmi hidrolizom razgrađuju organske sastojke složene kemijske strukture u otpadnoj vodi. Fakultativni mikroorganizmi sudjeluju u stvaranju octene kiseline, CO_2 i H_2 , a metanogene kulture kao obvezatni anaerobi reduciraju sastojke sa metilnom skupinom (metanol, octena kiselina, metil-amin) prevodeći ih u metan (bioplin). Tada nastaje mala količina biomase anaerobnih mikroorganizama.

Obzirom na potrebu za kisikom, mikroorganizmi se dijele na:

obvezatni aerobi – trebaju puno otopljenog kisika (prozračivanje)

fakultativni aerobi – ne trebaju kisik, ali u njegovoj prisutnosti bolje rade
 anaerobi – ne koriste slobodan kisik
 obvezatni anaerobi – rastu bez kisika, kisik djeluje toksično na njihov rast. [15]

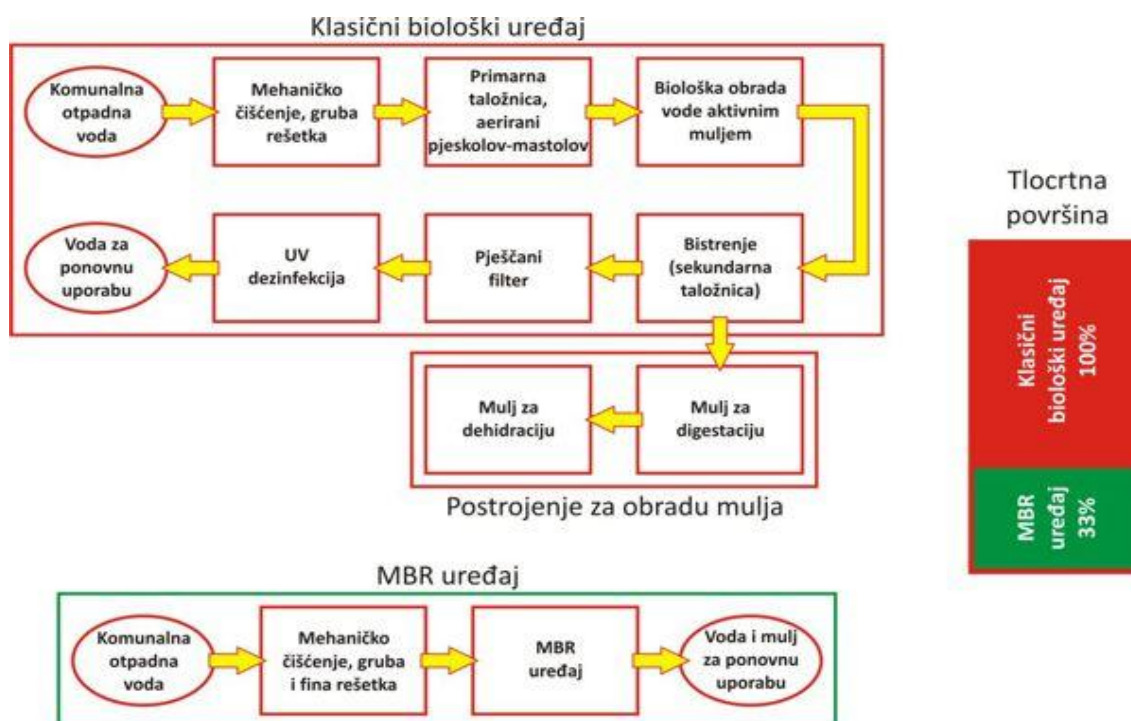
2.6. Membranski biološki uređaji (MBR)

2.6.1. Primjena

Membranski biološki uređaji se primjenjuju za: kondicioniranje vode za piće, obradu komunalnih i industrijskih otpadnih voda te ponovnu uporabu vode kao tehnološke vode, vode za natapanje u poljodjelstvu ili za prihranjivanje podzemne vode.

MBR tehnologija se koristi za proširivanje postojećih konvencionalnih uređaja za pročišćavanje otpadne vode. [2]

Na slici 2. prikazana je razlika između klasičnog biološkog uređaja i MBR uređaja.



Slika 2. Usporedba klasičnog biološkog uređaja i MBR uređaja [18]

2.6.2. Postupak

Otpadne vode je prvo potrebno obraditi propuštanjem kroz rešetke, pjeskolov i mastolov, a zatim prolaze kroz biološki reaktor u kojem se nalaze membrane.

Membrane najčešće imaju oblik cjevčica, veličine promjera 1 μm – 2 μm , veličine pora u granicama 10^{-7} μm . Unutar membrana stvara se podtlak te se primjenjuje razlika u hidrostatskom tlaku od 0,1 bar do 2,0 bar. Zbog razlike tlakova, voda prolazi kroz membranu ostavljajući dio svojih primjesa kao koncentrat.

Separacijske membrane slažu se u procesne jedinice, elemente ili module, a koriste se različiti oblici kao što su: modul u obliku spiralnog namota, modul sa šupljim vlaknima ili cijevni moduli. [2]

Membranski procesi su procesi kod kojih se tvar izdvaja uz pomoć selektivne propusnosti membrane, a razlikujemo ih prema svojstvima membrana. Vrlo je bitna prethodna obrada otpadne vode, odnosno potrebno je iz nje ukloniti suspendirane tvari i koloidne čestice. Membranski procesi koji se primjenjuju u tehnologiji pročišćavanja otpadne vode su: reverzna osmoza, ultrafiltracija i mikrofiltracija te elektrodijaliza. [2]

2.7. Sekvencionalni biološki reaktor (SBR)

2.7.1. Primjena

Tehnologija SBR radi na principu sekvencionalnog načina pročišćavanja, rastapanje krutog otpada i u kombinaciji s aktivnim muljem i sedimentacijskom zonom rezervoara. Za rad sistema potrebne su dvije komore. [19]

SBR uređaj je jedna od izvedbi biološkog sustava pročišćavanja sanitarno-fekalnih otpadnih voda s aeracijom. Način primjene je definiran prema HRN EN 12566-3 i u nadopuni 2. dijela DIN 4261.

SBR uređaji primjenjuju se u slučajevima kada hidrauličko opterećenje varira (restorani, objekti turističkih destinacija itd.). [20]

Osnovna razlika između konvencionalnih sustava s kontinuiranim protokom i SBR-a je u činjenici da se u SBR sustavu svi koraci pročišćavanja odvijaju u jednom bazenu te su odvojeni vremenski. U sustavu s kontinuiranim protokom upotrebljavaju se različiti bazeni za prostorno razdvajanje različitih koraka procesa pročišćavanja.

SBR sustav je vrlo učinkovit u uklanjanju nutrijenata, biorazgradnji organskih spojeva i snižavanju koncentracije dušika i fosfora do ispod dozvoljene razine. Dodatna prednost je što se različite faze ciklusa pročišćavanja lako prilagođavaju potrebama korisnika. [21]

2.7.2. Postupak

SBR sustav općenito uključuje sljedeću opremu:

- bazen izgrađen od čelika ili betona (ovisno o upotrebi)
- oprema za miješanje i aeraciju (zrak se u bazen dovodi pomoću „puhala“, a dio opreme koji omogućuje miješanje sadržaja naziva se „aerator“. Ukoliko je puhalo isključeno, aerator će omogućiti miješanje bez kisika i pri nižim frekvencijama)
- Dekanter, čija je uloga ispuštanje efluenta iz reaktora, nakon završetka procesa biorazgradnje. Razlikujemo plutajući i fiksni dekanter
- Oprema za mjerenje (pH, koncentracija kisika, razina pjene, razina biološke faze – bakterije, ukupna razina sadržaja u reaktoru)
- Oprema za doziranje koja omogućuje prilagodbu pH-vrijednosti te koncentracije dušika i fosfora
- Sustav kontrole (računalni sustav) za nadzor postrojenja koji omogućuje aktivaciju alarma, odgovora, kontrole i prikupljanja podataka u svrhu praćenja i prilagodbe procesa pročišćavanja. [21]

Faze pročišćavanja SBR sustavom:

- **Faza punjenja**

Otpadna voda se prikuplja u prvoj komori te se vrši njezina stabilizacija i otapanje. Otpadna voda se prebacuje u drugu komoru (reaktorski dio).

- **Faza aeracije**

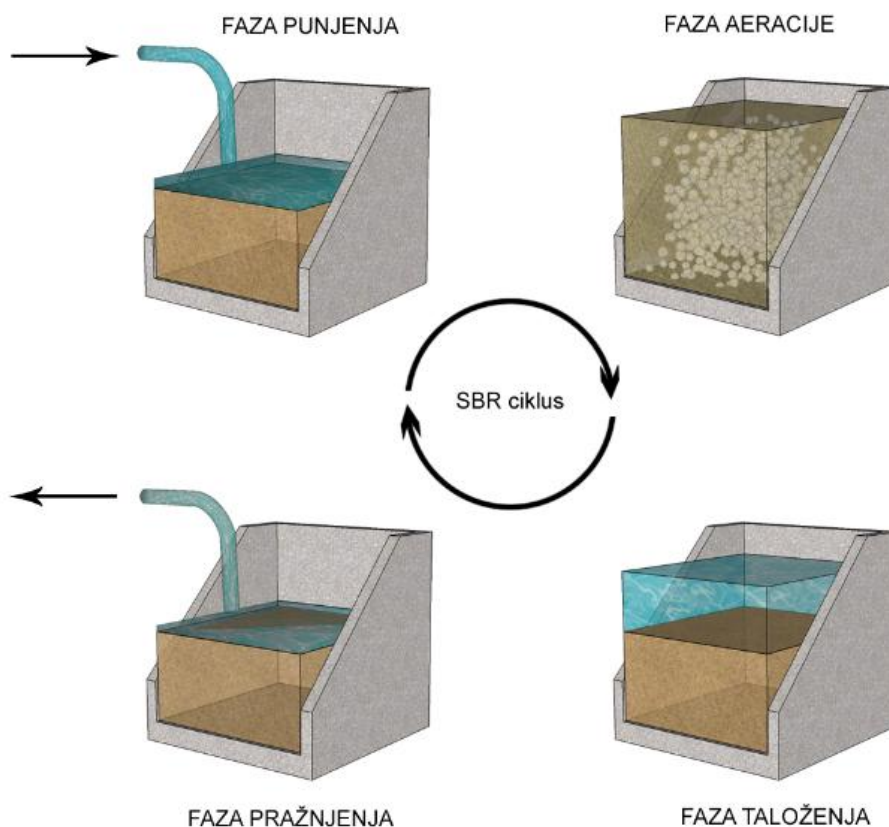
Biološka obrada otpadne vode pomoću mikroorganizama se odvija u SBR reaktoru. Kratke faze ozračivanja i mirovanja se izmjenjuju u kontroliranom procesu pročišćavanja. Aktivni mulj se na taj način razvija. S pomoću milijuna mikroorganizama otpadna voda se temeljito pročisti.

- **Faza taloženja**

Slijedi faza mirovanja, u kojoj aktivni mulj tone na dno. Tada pročišćena otpadna voda ostane pri površini SBR reaktora.

- **Faza pražnjenja**

Pročišćena otpadna voda sada se ispušta iz rezervoara. Dio aktivnog mulja se prebacuje iz SBR reaktora u prvu komoru uređaja. [21]



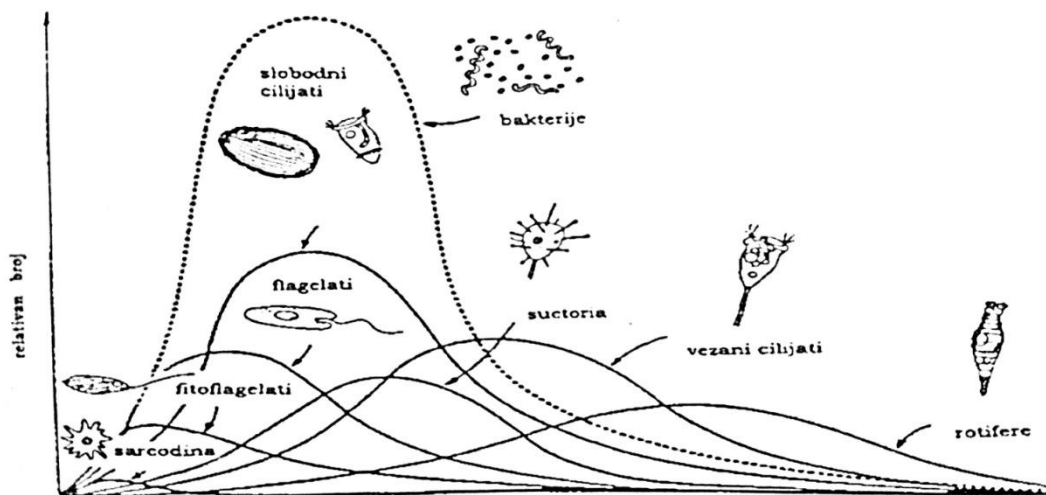
Slika 3. Grafički prikaz ciklusa tipičnog SBR sustava [21]

2.8. Aerobni postupak s aktivnim muljem

Tehnologija aktivnog mulja temelji se na principu rasta mikroorganizama u aktivnom mulju.

Aktivni mulj nastaje međusobnim povezivanjem bakterija, kvasaca, algi, protozoa i metazoa koje imaju različit naboj sa suspendiranim česticama u veće ili manje nakupine, flokule.

Otopljene organske i anorganske sastojke iz otpadne vode mikroorganizmi aktivnog mulja upotrebljavaju kao izvore ugljika – energije i hranjivih tvari – dušika i fosfora za svoj rast i razmnožavanje. [22]



Slika 4. Relativni broj i zastupljenost različitih vrsta organizama u aktivnom mulju [23]

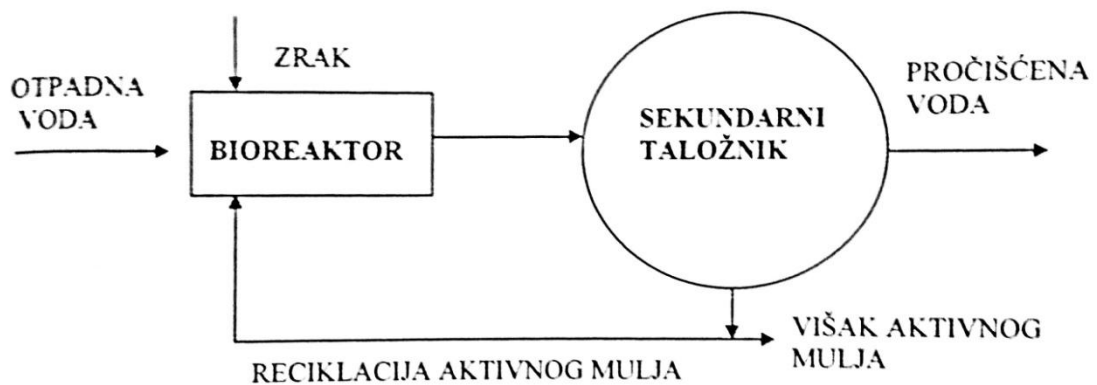
Učinkovitost aerobnog postupka obrade otpadnih voda aktivnim muljem ovisi o:

- sastavu otpadne vode (minimalna koncentracija sastojaka sa ugljikom, dušikom i fosforom je dana omjerom: C : N : P = 100 : 5 : 1)
- koncentraciji otopljenog kisika (2 mg O₂/L je dovoljno za odvijanje procesa)
- pH-vrijednost (6,5 – 8,5)
- temperaturi (25 - 30°C)
- vođenju i praćenju procesa
- prisutnosti toksičnih tvari (detergenti i druge kemikalije) [22] [12]

Uobičajena koncentracija biomase aktivnog mulja u procesima obrade iznosi 5g/L. [16]

Postupak obrade aktivnim muljem osjetljiv je na udare onečišćenja pri čemu se pojavljuju pjenjenje, filamentozne bakterije u aktivnom mulju (tzv. „napuhavanje mulja“) te ispiranje čestica mulja u izlazni tok pročišćene vode. [18] [22] [24]

Postupak obrade otpadne vode aktivnim muljem je energetski vrlo zahtjevan, pri čemu se 50-60% potrebite energije troši za aeraciju. [25]



Slika 5. Shematski prikaz sustava za aerobnu obradu otpadnih voda aktivnim muljem [26]

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Motrenje rada sustava za pročišćavanje otpadnih voda Dukat d.d., tvornice Sirela Bjelovar provodilo se šest mjeseci. Od siječnja do lipnja 2016. godine.

Čimbenici rada sustava koji se mjere kontinuirano su: pH u egalizacijskom bazenu, koncentracija otopljenog kisika u bioeracijskim bazenima i temperatura. Ovi se čimbenici očitavaju neposredno na automatskim mjeracima. Oni su spojeni na sustav za automatsku regulaciju kojim se upravlja i provodi nadzor nad procesom i to motrenjem pH u egalizacijskom bazenu te koncentracije otopljenog kisika u dva bioeracijska bazena.

Praćeni su pokazatelji u neobrađenoj otpadnoj vodi i u otpadnoj vodi nakon primarnog i biološkog postupka pročišćavanja. Određivane su vrijednosti slijedećih pokazatelja:

- pH vrijednost
- KPK vrijednost
- Suspendirane čestice
- Proizvodnja mulja

Dobiveni rezultati prikazani su u tablici 5 i 6.

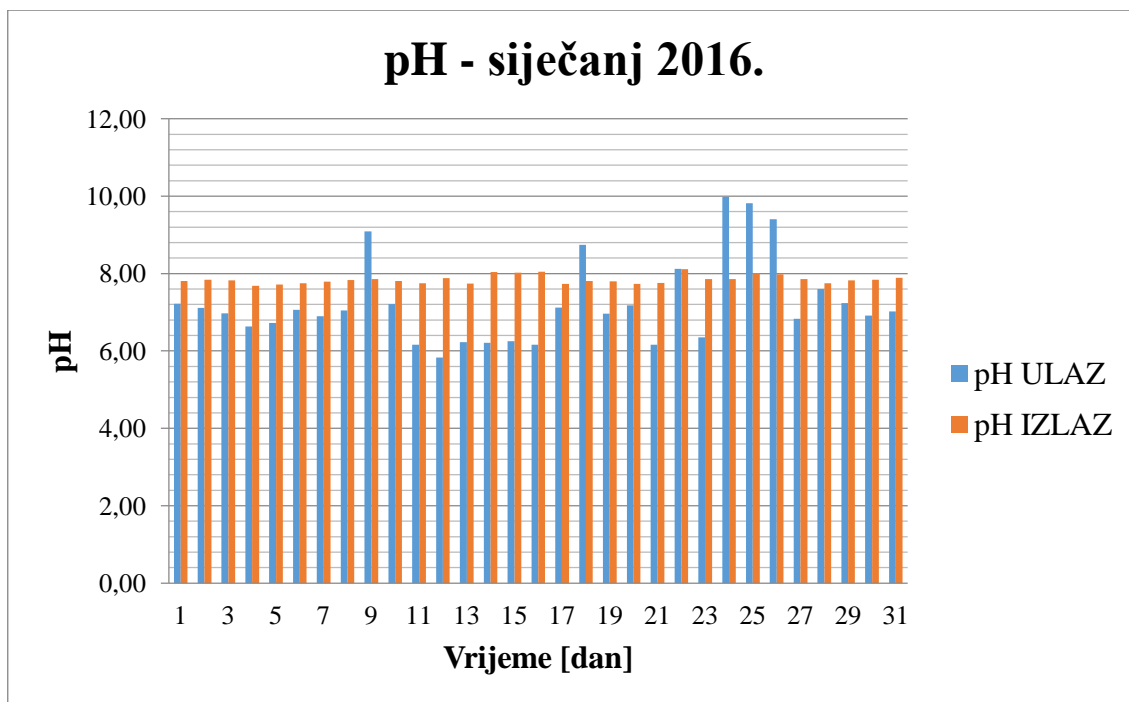
Tablica 5. Prosječne vrijednosti mjerenih parametara na ulazu i izlazu iz uređaja za pročišćavanje za period od siječnja do lipnja 2016.

MJESEC	Prepupna stanica pH	Prepupna stanica KPK	L OXI MLTSS	pH IZLAZ	KPK IZLAZ	Suspendirana tvar	Kol. mulja (m3)
Siječanj	7,23	3461	3850	7,85	112	80,97	41
Veljača	6,56	3349	3238	7,62	168	98,28	37
Ožujak	6,79	3057	3407	7,69	129	105,81	42
Travanj	6,39	3172	2797	7,69	194	93,67	30
Svibanj	6,35	2922	2874	7,80	64	64,52	34
Lipanj	6,06	2935	3087	7,79	44	53,67	32

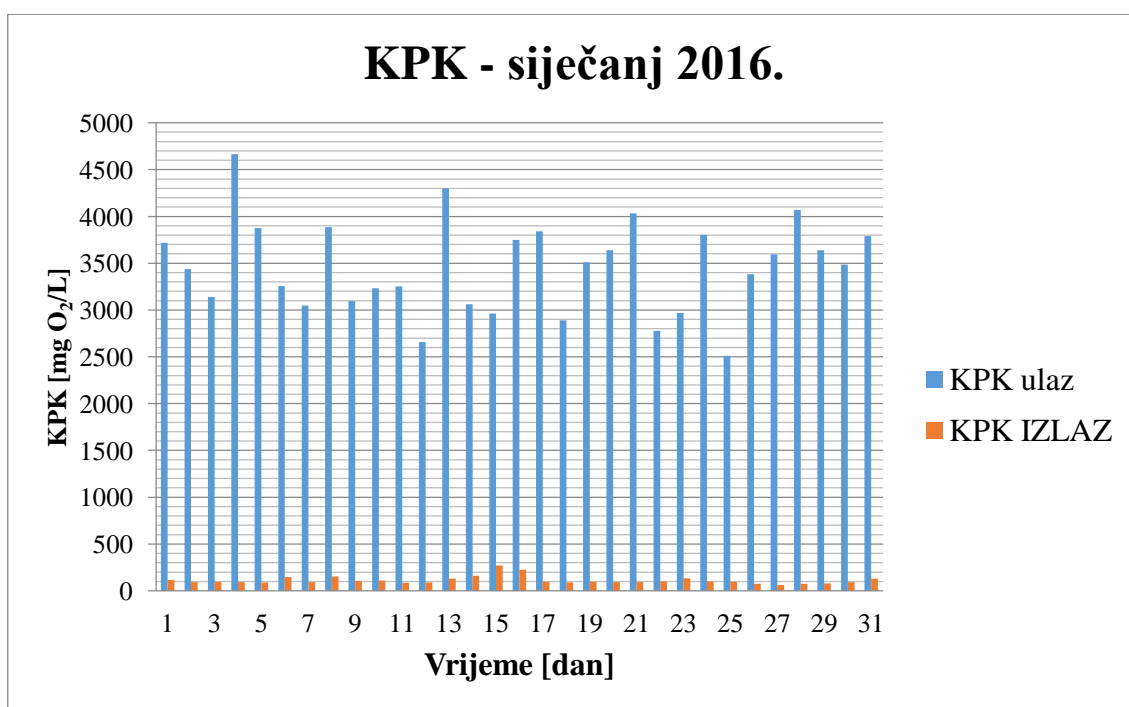
Tablica 6. Vrijednosti mjerenih parametara na ulazu i izlazu iz uređaja za pročišćavanje za mjesec siječanj 2016.

DATUM	Prepupna stanica pH	Prepupna stanica KPK	L OXI MLTSS	pH IZLAZ	KPK IZLAZ	Suspen-dirana tvar	Kol. mulja (m ³)
1.1.2016	7,22	3717	3730	7,81	116,00	70	30
2.1.2016	7,11	3437	3660	7,84	93,40	70	45
3.1.2016	6,97	3141	3710	7,82	97,10	70	15
4.1.2016	6,63	4667	4480	7,68	91,40	80	15
5.1.2016	6,72	3874	4660	7,72	87,60	80	45
6.1.2016	7,06	3256	4970	7,75	146,00	100	45
7.1.2016	6,90	3048	4760	7,79	93,00	100	45
8.1.2016	7,05	3884	4660	7,83	153,00	100	45
9.1.2016	9,09	3095	4710	7,86	105,00	120	45
10.1.2016	7,21	3234	4530	7,81	109,00	90	45
11.1.2016	6,16	3254	4230	7,75	86,50	80	45
12.1.2016	5,83	2658	4250	7,88	90,10	80	45
13.1.2016	6,23	4298	4550	7,74	130,00	100	45
14.1.2016	6,21	3062	4390	8,04	162,00	120	45
15.1.2016	6,25	2962	4020	8,02	272,00	120	45
16.1.2016	6,16	3749	3650	8,05	225,00	110	45
17.1.2016	7,12	3840	3550	7,73	96,00	30	45
18.1.2016	8,74	2892	3660	7,81	89,00	40	45
19.1.2016	6,96	3509	3470	7,80	96,10	90	45
20.1.2016	7,18	3641	3440	7,73	91,40	80	45
21.1.2016	6,16	4034	3780	7,76	92,50	60	30
22.1.2016	8,12	2779	3960	8,11	99,30	80	45
23.1.2016	6,35	2968	3830	7,86	135,00	90	45
24.1.2016	9,98	3805	3730	7,86	100,00	100	45
25.1.2016	9,82	2511	3350	8,01	96,00	60	45
26.1.2016	9,40	3384	2880	7,98	77,00	50	45
27.1.2016	6,83	3594	3120	7,86	62,00	60	45
28.1.2016	7,60	4070	2800	7,75	77,00	50	45
29.1.2016	7,24	3641	2870	7,82	79,10	60	30
30.1.2016	6,91	3487	2930	7,84	93,40	70	30
31.1.2016	7,02	3790	3020	7,89	131,00	100	30
PROSJEK	7,23	3461	3850	7,85	112,00	81	41
UKUPNO							1260

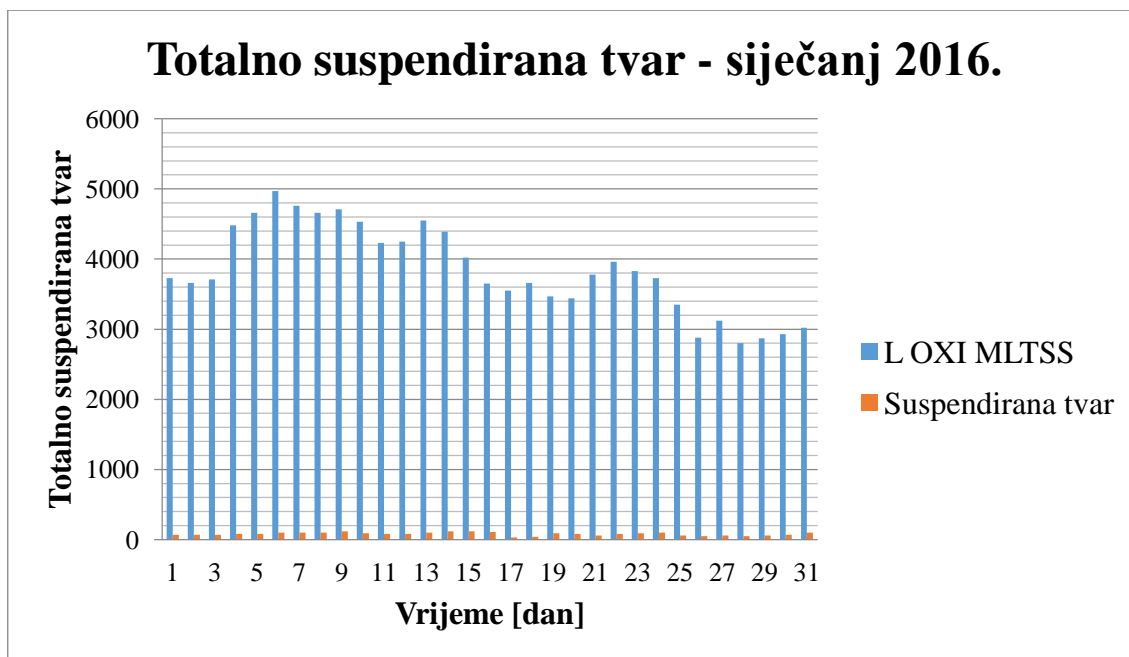
Ukupna izmjerena količina otpadne vode na ulazu na uređaj za pročišćavanje otpadne vode za mjesec siječanj 2016. iznosi 26 826 m³.



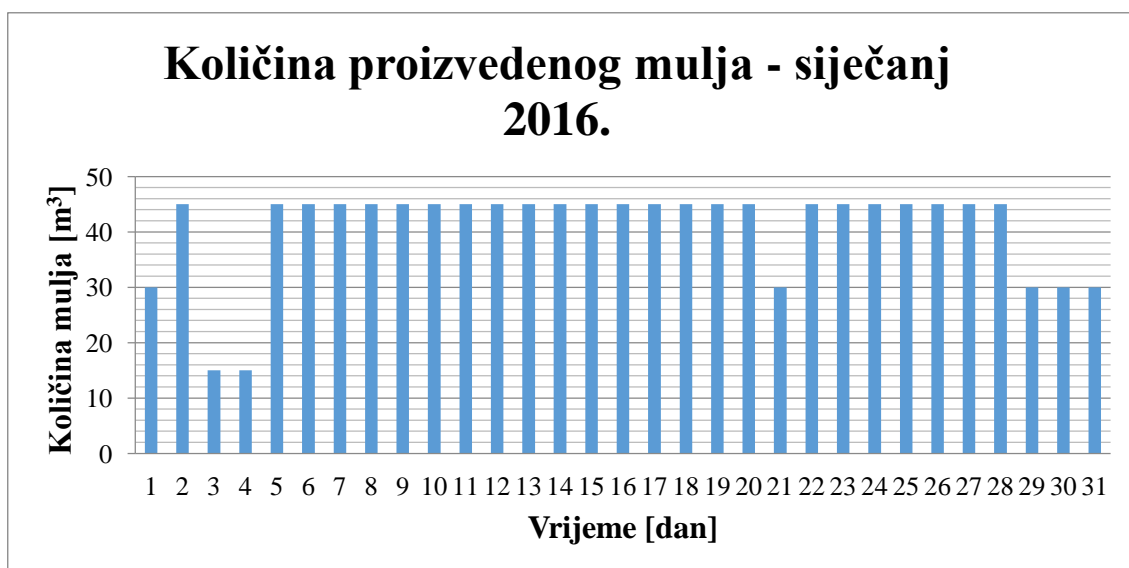
Slika 6. Usporedba pH vrijednosti na ulazu i izlazu iz uređaja za pročišćavanje otpadne vode za mjesec siječanj 2016.



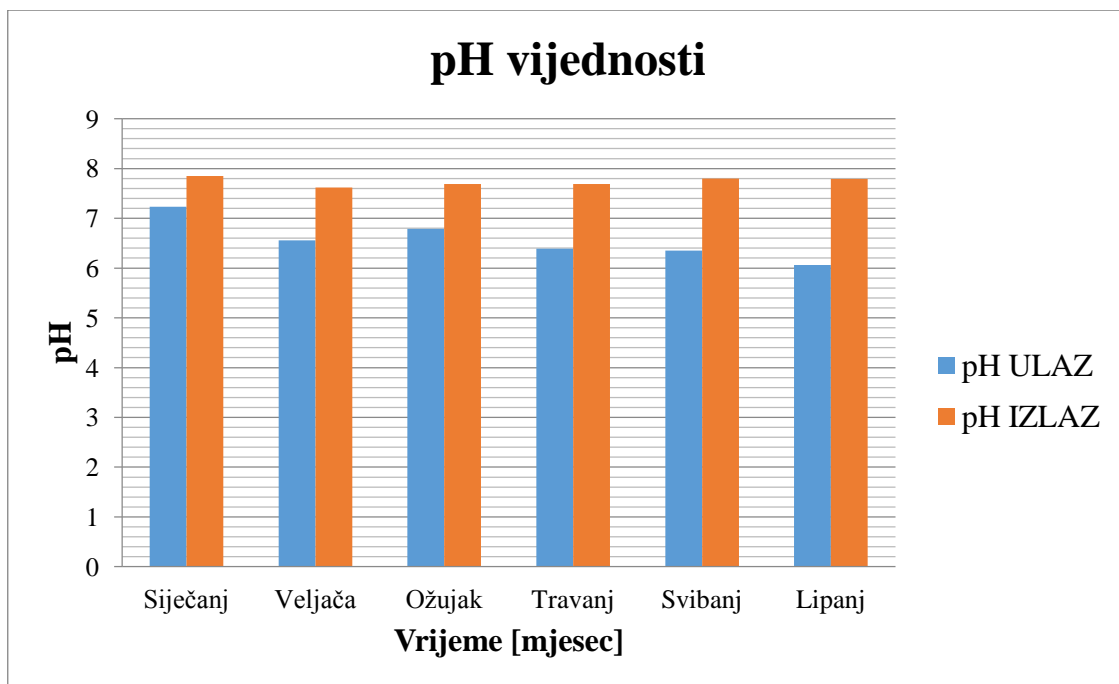
Slika 7. Usporedba KPK vrijednosti na ulazu i izlazu iz uređaja za pročišćavanje otpadne vode za mjesec siječanj 2016.



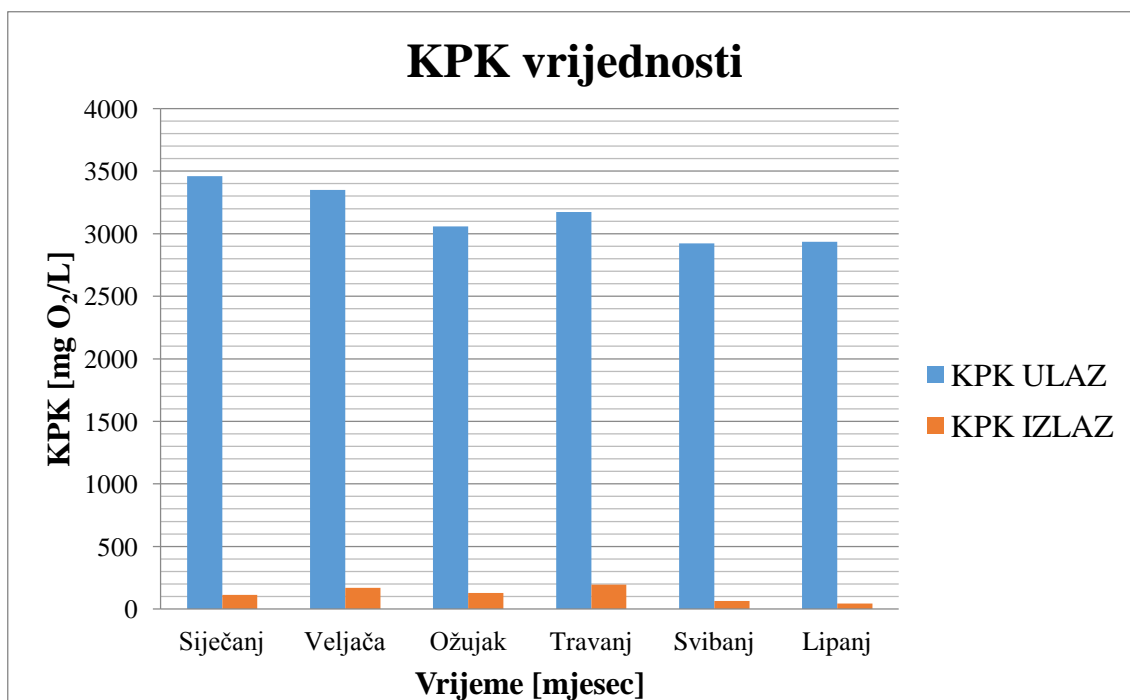
Slika 8. Usporedba vrijednosti totalno suspendirane tvari na ulazu i izlazu iz uređaja za pročišćavanje otpadne vode za mjesec siječanj 2016.



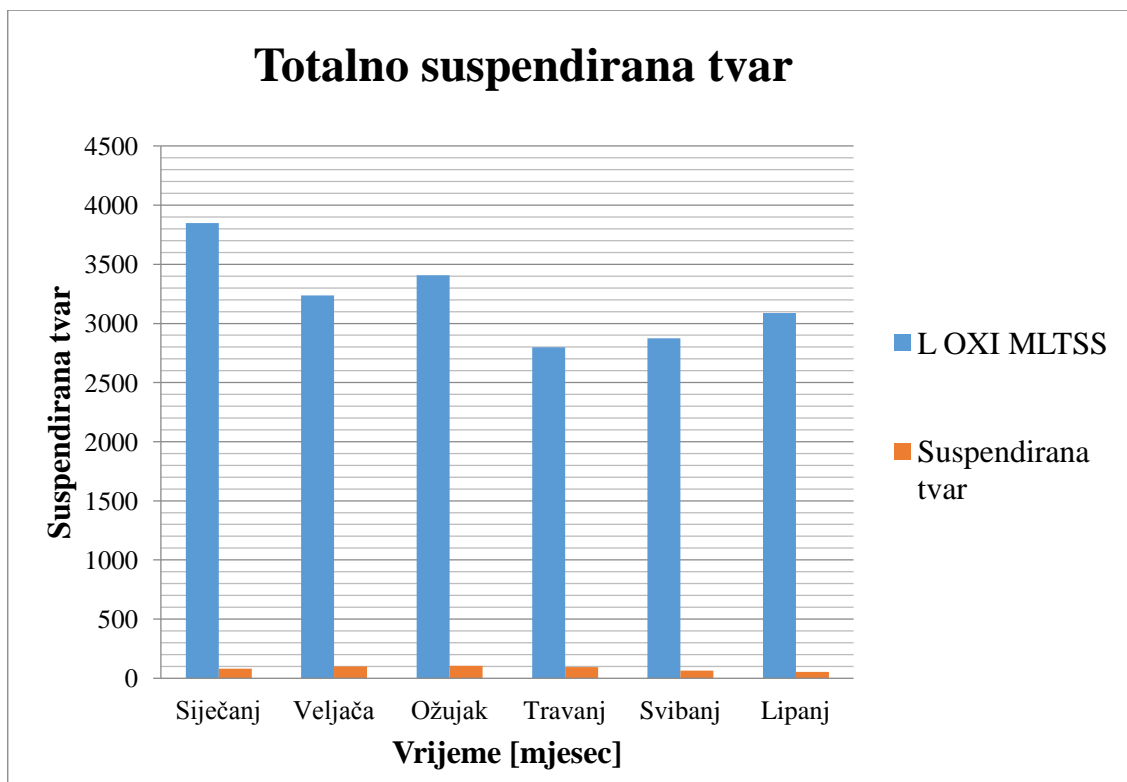
Slika 9. Prikaz količine proizvedenog mulja na uređaju za pročišćavanje otpadne vode za mjesec siječanj 2016.



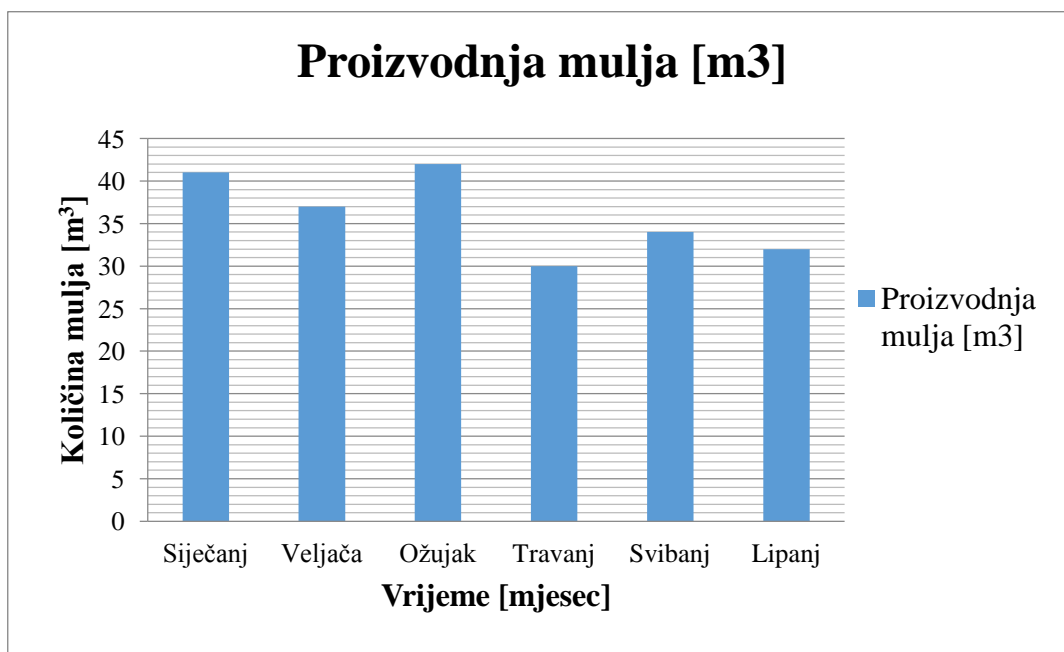
Slika 10. Usporedba prosječnih vrijednosti pH na ulazu i izlazu iz uređaja za pročišćavanje otpadne vode za period od siječnja do lipnja 2016.



Slika 11. Usporedba prosječnih vrijednosti KPK na ulazu i izlazu iz uređaja za pročišćavanje otpadne vode za period od siječnja do lipnja 2016.



Slika 12. Usporedba prosječnih vrijednosti totalno suspendirane tvari na ulazu i izlazu iz uređaja za pročišćavanje otpadne vode za period od siječnja do lipnja 2016.



Slika 13. Prikaz količine proizvedenog mulja na uređaju za pročišćavanje otpadne vode za period od siječnja do lipnja 2016.

Motrenjem pokazatelja otpadne vode tijekom 6 mjeseci, utvrđena je efikasnost uređaja za pročišćavanje istih.

Ukupna količina pročišćene otpadne vode u prvih 6 mjeseci 2016. godine iznosi 166 130 m³, što u prosjeku iznosi 923 m³/dan. Kapacitet uređaja iznosi 1100 m³/dan.

Otpadne vode mljekarske industrije mogu se smatrati biološki lako razgradljivim otpadnim vodama. Prema početnim vrijednostima KPK, koje su iznosile od 1933 do 5447 mg O₂/L možemo zaključiti da je prisustvo organske tvari vrlo visoko. Nakon obrade te vrijednosti padaju na vrijednosti od 10,4 do 406 mg O₂/L. Prosječna vrijednost izlaznog KPK iznosi 118,5 mg O₂/L, što je 52 % manje nego u 2015. godini kada je prosjek KPK vrijednosti iznosio 249 mg O₂/L. [27]

Specifičnost otpadnih voda mljekarske industrije je i veliko kolebanje pH vrijednosti, u ovom slučaju od 5,20 do 9,98. To ima značajan utjecaj na održavanje mikroorganizama aktivnog mulja. Nakon obrade pH se izjednačava na vrijednost od oko 7,70. [25]

Također, otpadne vode mljekarske industrije sadrže velike količine suspendirane tvari koje je prije provedbe bioloških procesa potrebno ukloniti iz otpadne vode. Prije obrade L OXI MLTSS iznosio je od 2290 do 4970, a nakon obrade ti iznosi su umanjeni na vrijednosti od 20 do 260.

Nakon provedenih postupaka obrade možemo zaključiti da uređaj radi efikasno te da otpadne vode nakon pročišćavanja zadovoljavaju granične vrijednosti iz vodopravne dozvole.

Izlazne otpadne vode se nakon postupka pročišćavanja ispuštaju u javnu kanalizaciju grada Bjelovara.

4. ZAKLJUČAK

Otpadne vode mljekare predstavljaju potencijalno onečišćenje za okoliš zbog svog specifičnog sastava. Prisustvo sirutke u otpadnoj vodi povećava opterećenje otpadne vode. Uz sirutku, glavno opterećenje predstavljaju i: masti, proteini, mliječni šećer i ostaci sredstava za pranje.

Vrlo je bitno kod projektiranja i izgradnje uređaja za pročišćavanje otpadne vode imati na umu da se pojedine otpadne vode ne miješaju jer je tehnologija aktivnog mulja specifična za otpadnu vodu prehrambene industrije (primjerice, odvajati fekalnu otpadnu vodu od pogonske otpadne vode). Također je potrebno poznavati onečišćenje na ulazu i izlazu iz uređaja te pretpostavke za ispuštanje pročišćenih otpadnih voda (koncentraciju, temperaturu i ostale parametre).

Pročišćavanje otpadnih voda je apsolutno neophodno jer voda iz mljekarske industrije može sadržavati visoko organsko onečišćenje te vrlo kisele komponente koje dolaze od sredstava za pranje pogona.

Efikasnost uređaja za pročišćavanje otpadnih voda ocijenjena je zadovoljavajućom ocjenom jer otpadne vode zadovoljavaju kriterije određene u vodopravnoj dozvoli.

Onečišćenje površinskih i podzemnih vodenih tokova može se spriječiti smanjenjem količina otpadnih voda i otpada i to: smanjenjem potrošnje vode i energije te racionalnim korištenjem kemikalija.

5. LITERATURA

1. Dostupno na:
[https://www.grad.unizg.hr/download/repository/2.6. Prociscavanje otpadnih voda%5B8%5D.pdf](https://www.grad.unizg.hr/download/repository/2.6.Prociscavanje_otpadnih_voda%5B8%5D.pdf)
Datum pristupa: 5.8.2016.
2. Tušar, B. (2009)
Pročišćavanje otpadnih voda. Kigen, Zagreb
3. Andreottola, P., Foladori, P., Ragazzi, M., Villa, R. (2002)
Dairy waste water treatment in a moving biofilm reactor. *Water Science Technology*, **45**, str. 321-328
4. Danalewich, J.R., Papagiannis, T. G., Belyea, R. L., Tumbleson, M.E., Raskin, L. (1998)
Characterization of dairy waste streams, current treatment practices and potential for biological nutrient removal. *Water Research*, **32**, str. 3555-3568
5. Rajeshkumar, K., Jayachandrin, K. (2004)
Treatment of dairy wastewater using a selected bacterial isolate, *Alcaligenes* sp. MMRR7. *Applied Biochemistry Biotechnology*, **118**, str.65-72
6. Farizoglu, B., Keskinler, B., Yildiz, E., Nuhoglu, A. (2004)
Cheese whey treatment performance of an aerobic jet loop membrane bioreactor. *Process Biochemistry*, **39**, str. 2283-2291
7. Yu, H. Q., Fang, H. H. P. (2002)
Acidogenesis of dairy wastewater at various pH levels. *Water Science Technology*, **45**, str. 201-206
8. International Association on Water Quality (IAWQ) (1997)
The key to the design of Biological wastewater Treatment Systems: Microbial Community Analysis. (Cloete T. E., Muyima N. Y. O. ured.), Scientific and

Technical Report 5., University Press, Cambridge (GB), str. 320-418

9. Spreer, E. (1999)
Technologie der milchverarbeitung, Behr's, GMBH CO, Hamburg & CO,
Hamburg
10. Ban, S. (1978)
Biokemijsko-inženjerski pristup rješavanja otpadnih voda prehrambene i
fermentacijske industrije. Zbornik radova savjetovanja, Otpadne vode
prehrambene i fermentacijske industrije, Portorož, str 149-153
11. Michael, E., Hummelose, B. (1999)
Cleaner Production Assessment in Dairy Processing. United Nation
Environment Programme, Danish Ministry of Environment and Energy
12. Sudson, D. W., Klei, H. E. (1979)
Waste water treatment, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J.
13. Grady, C. P. L., Daigger, G. T., Lim, H. C. (1999)
Biological Wastewater Treatment. Second Edition, Marcel Dekker, New York,
Basel, str. 1076-1128
14. Pravilnik o izmjeni i dopuni Pravilnika o graničnim vrijednostima emisija
otpadnih voda
Narodne novine br.: 27, 11.03.2015.
15. EPA (1971)
Dairy food plant wastes and waste treatment practices, EPA 12060 EGUO 3/71,
US Environmental Protection Agency, Washington D.C.
16. Ince, O. (1998)
Performance of a two-phase anaerobic digestion system when treating dairy
wastewater, Water Research, **32**, str. 2707-2713

17. Arrojo, B., Mosquera-Corral, A., Garido, J. M., Mendez, J. (2004)
Aerobic granulation in a sequencing batch reactor fed with industrial wastewater.
Proceedings of European Symposium on Environmental Biotechnology,
(Verstraete W. ured.) Taylor & Francis Group, Oostende, Belgium, str.451-454
18. Dostupno na: <http://www.almes.hr/mb-reaktor/opis-tehnologije>
Datum pristupa: 30.03.2015.
19. Dostupno na: http://otpadnevode-kisnica.com.hr/?option=com_content&view=article&id=6&Itemid=218
Datum pristupa: 25.04.2015.
20. Dostupno na: <http://www.bor-plastika.hr/bioloski-procistaci/sbr-uredaji/#>
Datum pristupa: 25.04.2015.
21. Dostupno na: <http://www.ips-konzalting.hr/index.php/hr/usluge-menu-hr/prociscavanje-voda-menu-hr?id=138:sbr-tehnologija&catid=14>
Datum pristupa: 25.04.2015.
22. Argaman, Y. (1991)
Biological nutrient removal, Biological degradation of Wastes, A. M. Martin
(ured.)
Elsevier Applied Science, London, str. 85-101
23. Jones, G. L. (1991)
Exploiting computers in Biological Waste Treatment, Biological degradation of
Wastes, A. M. Martin (ured.)
Elsevier Applied Science, London, str. 133-144
24. Degremont (1979)
Water Treatment Handbook, 5th Edition, John Wiley & Sons, New York
25. Posavac S. (2008)

Učinkovitost sustava za obradu otpadne vode mljekare motrenjem čimbenika vođenja, kakvoće otpadne vode, aktivnog mulja i obrađene otpadne vode.
Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb

26. Borchardt, J. A. (1971)

Biological Waste Treatment, Biotechnology & Bioengineering Symposium No2,
R. P. Canale (ured.), John Wiley & Sons, Inc., New York, str. 131-140

27. Dostupno na: <http://www.dukat.hr/media/929363/izvjestaj-o-napretku-za--2015--hrvatska-verzija.pdf>

Datum pristupa: 20.8.2016

6. PRILOZI

POPIS SLIKA

- Slika 1. Shematski prikaz postupaka obrade otpadne vode
- Slika 2. Usporedba klasičnog biološkog uređaja i MBR uređaja
- Slika 3. Grafički prikaz ciklusa tipičnog SBR sustava
- Slika 4. Relativni broj i zastupljenost različitih vrsta organizama u aktivnom mulju
- Slika 5. Shematski prikaz sustava za aerobnu obradu otpadnih voda aktivnim muljem
- Slika 6. Usporedba pH vrijednosti na ulazu i izlazu iz uređaja za pročišćavanje otpadne vode za mjesec siječanj 2016.
- Slika 7. Usporedba KPK vrijednosti na ulazu i izlazu iz uređaja za pročišćavanje otpadne vode za mjesec siječanj 2016.
- Slika 8. Usporedba vrijednosti totalno suspendirane tvari na ulazu i izlazu iz uređaja za pročišćavanje otpadne vode za mjesec siječanj 2016.
- Slika 9. Prikaz količine proizvedenog mulja na uređaju za pročišćavanje otpadne vode za mjesec siječanj 2016.
- Slika 10. Usporedba prosječnih vrijednosti pH na ulazu i izlazu iz uređaja za pročišćavanje otpadne vode za period od siječnja do lipnja 2016.
- Slika 11. Usporedba prosječnih vrijednosti KPK na ulazu i izlazu iz uređaja za pročišćavanje otpadne vode za period od siječnja do lipnja 2016.
- Slika 12. Usporedba prosječnih vrijednosti totalno suspendirane tvari na ulazu i izlazu iz uređaja za pročišćavanje otpadne vode za period od siječnja do lipnja 2016.
- Slika 13. Prikaz količine proizvedenog mulja na uređaju za pročišćavanje otpadne vode za period od siječnja do lipnja 2016.

POPIS TABLICA

- Tablica 1. Neki od pokazatelja onečišćenja otpadnih voda mljekara

- Tablica 2. Kemijaska kakvoća otpadnih voda mljekare
- Tablica 3. Kemijaska kakvoća otpadne vode iz prerade mlijeka; prije i nakon fizikalno-kemijaska obrade
- Tablica 4. Količina prerađenog mlijeka, nastala količina otpadnih voda i organske tvari izražene kao BPK vrijednost za otpadne vode podrijetlom iz proizvodnje različitih mliječnih proizvoda
- Tablica 5. Prosječne vrijednosti mjerenih parametara na ulazu i izlazu iz uređaja za pročišćavanje za period od siječnja do lipnja 2016.
- Tablica 6. Vrijednosti mjerenih parametara na ulazu i izlazu iz uređaja za pročišćavanje za mjesec siječanj 2016.

POPIS KRATICA

KPK	Kemijaska potrošnja kisika
BPK	Biokemijaska potrošnja kisika
ISO	Međunarodna udruga za standardizaciju (International Organization for Standardization)
BPK5	Biokemijaska potrošnja kisika za period od 5 dana
MBR	Membranski bio reaktor (Membrane bio reactor)
SBR	Diskontinuirani fazni reaktor (Sequence batch reactor)
MLTSS	Suha tvar aktivnog mulja