

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Janova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



Univerzitetni program Vodarstvo in
komunalno inženirstvo

Kandidat:

Jernej Hercog

Ocena možnosti izboljšave delovanja ČN mlekarske industrije

Diplomska naloga št.: 123

Mentor:

izr. prof. dr. Jože Panjan

Somentor:

dr. Darko Drev

Ljubljana, 23. 6. 2009

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
-----------------------	-------------------------	----------------	---------------

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **Jernej Hercog** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom
»Ocena možnosti izboljšave delovanja ČN mlekarske industrije«.

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske
separatoteke FGG.

Ljubljana, 11. 6. 2009

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	628.32(043.2)
Avtor:	Jernej Hercog
Mentor:	izr. prof. dr. Jože Panjan
Somentor:	doc. dr. Darko Drev
Naslov:	Ocena možnosti izboljšave delovanja ČN mlekarske industrije
Obseg in oprema:	82 str., 10 pregl., 5 graf., 14 slik, 20 en., 5 prilog
Ključne besede:	mlekarniška odpadna voda, biološko čiščenje, SBR, encimsko-mikrobiološki preparati

Izvleček

Diplomsko delo obravnava problematiko mlekarniških odpadnih voda z vidika uspešne odstranitve organskih in anorganskih snovi v procesih fizikalno-biološkega čiščenja v čistilnih napravah, ki opravljajo funkcijo predčiščenja. Teoretično obsega definicije in razlage biološkega čiščenja odpadnih voda, podaja razlago procesov čiščenja v sekvenčnem šaržnem bioreaktorju in terciarne stopnje čiščenja, kjer prihaja do odstranitve dušikovih in fosforjevih spojin. V diplomskem delu je obravnavana slovenska zakonodaja, kjer so na kratko povzete določbe o izvedbi obratovalnega monitoringa, izračunu enot obremenitve ter dovoljenih emisijah v kanalizacijsko omrežje ali vodotok. V sklopu diplomskega dela je izveden poskus na čistilni napravi za predčiščenje odpadnih voda v mlekarni Celeia, Arja vas. Z dodajanjem encimsko-mikrobioloških preparatov v proces čiščenja je bilo dokazano izboljšanje učinka čiščenja v primerjavi z dosedanjimi postopki. V zadnjem delu je opravljena stroškovna analiza kontinuirne uporabe encimsko-mikrobioloških preparatov pri obstoječi tehnologiji čistilne naprave in enakih postopkih v procesu biološkega čiščenja.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC:	628.32(043.2)
Author:	Jernej Hercog
Supervisor:	assoc. prof. Jože Panjan, PhD
Cosupervisor:	assistant prof. Darko Drev, PhD
Title:	Assessment of the Possibility of Improvement of Dairy Wastewater Treatment System Operation
Notes:	82 p., 10 tab., 5 diag., 14 fig., 20 eq., 5 add.
Key words:	dairy wastewater, biological treatment, SBR, microbial enzyme preparations

Abstract

The thesis deals with the issue of dairy wastewater from the viewpoint of successful elimination of organic and inorganic components in physical and biological treatment processes in pre-treatment systems. Theoretically, the thesis covers the definitions and explanations of biological wastewater treatment, and deals with treatment processes in the sequencing batch reactor as well as the tertiary treatment level for the removal of nitrogen and phosphorus compounds. Furthermore, the thesis covers applicable Slovene legislation, providing a brief summary of the provisions on operational monitoring, calculation of units of burden and permissible emissions into the sewage system or watercourse. As part of the thesis, an experiment has been conducted on the treatment plant for the pre-treatment of wastewater at the Celeia Dairy in Arja vas. By adding microbial enzyme preparations to the treatment process, I have demonstrated the improvement of the effect of treatment in comparison to the existing procedures. In the final part of the thesis, I have conducted a cost analysis of a continuous use of microbial enzyme preparations in the existing treatment plant technology with the same biological treatment procedures.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomskega dela bi se rad zahvalil mentorju izr. prof. dr. J. Panjanu in somentorju doc. dr. D. Drevu. Hvala tudi vodstvu Mlekarnice Celeia za privolitev v izvedbo poskusa in ge. A. Pristovnik za brezpogojno pomoč pri njegovi izvedbi. Vse zahvale grede tudi g. G. Dordiču iz podjetja Eko Gea, ki je s prispevanjem preparatov omogočil brezplačno izvedbo poskusa.

KAZALO

1 UVOD	1
2 KAKOVOSTNE ZNAČILNOSTI ODPADNIH VODA	2
2.1 Viri odpadnih voda	5
2.2 Fizikalne lastnosti	7
2.2.1 Temperatura	7
2.2.2 Barva	7
2.2.3 Vonj	8
2.2.4 Motnost	8
2.2.5 Nihanja v pretoku	8
2.2.6 Prevodnost	9
2.2.7 Usedljivost	9
2.3 Biološke lastnosti	9
2.3.1 Indikator bakterij za patogene organizme	9
2.3.2 Virusi	10
2.3.3 Mikroskopski pregled	10
2.4 Kemijska sestava	10
2.4.1 pH	10
2.4.2 Alkaliteta	11
2.4.3 Trdne snovi	11
2.4.5 Biokemijska potreba po kisiku v 5 dneh (BPK₅)	12
2.4.6 Kemijska potreba po kisiku	13
2.4.7 Celotni organski ogljik (TOC)	13
2.4.8 Dušik	13
2.4.9 Fosfor	14
2.4.10 Klor	14
2.4.11 Sulfid	14
2.4.12 Maščobe, olja in masti	15
2.4.13 Specifični onesneževalci	15
2.5 Sestava in nekatere lastnosti odpadnih voda	15

2.5.1 Količinske in kakovostne značilnosti mlekarniških odpadnih voda	16
3 ČIŠČENJE ODPADNE VODE	19
3.1 Predčiščenje	19
3.2 Primarno čiščenje	19
3.3 Biološko (sekundarno) čiščenje.....	20
3.3.1 Aerobno biološko čiščenje	21
3.3.1.1 Aerobne reakcije pretvorbe organske snovi.....	22
3.3.1.2 Aktivno blato	23
3.3.1.3 Dejavniki optimalnega delovanja aerobnega procesa	25
3.3.2 Anaerobno biološko čiščenje.....	27
3.3.2.1 Proces mikrobiologije	27
3.3.3 Vrste biološkega čiščenja.....	29
3.3.3.1 Biološko čiščenje s pritrjeno biomaso	30
3.3.3.2 Biološko čiščenje z razpršeno biomaso	30
3.3.4 Vrste bioloških procesov	31
3.3.4.1 Kontinuirni sistem	31
3.3.4.2 Diskontinuirni oziroma šaržni sistem	31
3.3.4.3 Enačbe masne bilance in reakcije v popolnoma premešanem reaktorju	34
3.4 Terciarno čiščenje odpadne vode	35
3.4.1 Biološko odstranjevanje dušikovih spojin	36
3.4.1.1 Posamezne oblike dušika v vodi	37
3.4.1.2 Procesi odstranjevanja dušikovih spojin	39
3.4.2 Odstranjevanje fosforjevih spojin.....	44
3.4.2.1 Posamezne oblike fosforja v vodi	45
3.4.2.2 Postopki za odstranjevanje fosforjevih spojin	45
4 SPLOŠNO O OBDELAVI BLATA.....	47
4.1 Zgoščevanje	47
4.2 Kondicioniranje	48
4.3 Stabilizacija	48
4.3.1 Anaerobna presnova.....	48

4.3.2 Aerobna presnova	49
4.4 Odstranjevanje vode iz suspendiranih snovi.....	49
4.5 Zmanjševanje količine suspendiranih snovi.....	50
4.6 Uporaba blata.....	50
4.6.1 Kompostiranje.....	50
4.6.2 Alkalna stabilizacija	50
5 ZAKONODAJA	51
6 PROBLEMATIKA ČIŠČENJA ODPADNIH VODA ČN MLEKARNE CELEIA	55
6.1 Uvod	55
6.2 Namen dela	56
6.3 Splošni podatki o delovanju podjetja Mlekarna Celeia, d.o.o.	56
6.3.1 Opis območja mlekarne.....	57
6.3.2 Nastajanje odpadnih voda, tehnike čiščenja in njihovo odvajanje	58
6.4 Analiza obstoječega stanja delujoče ČN	60
6.4.1 Opis postopka zaporednih šarž (SBR – sequencing batch reactor)	60
6.4.2 Tehnične in tehnološke značilnosti procesa predčiščenja odpadnih voda.....	61
6.4.2.1 Opis tehnoloških sklopov in opreme	61
6.5 Izvedba poskusnih meritev <i>in situ</i>	64
6.5.1 Predstavitev encimsko-mikrobioloških preparatov.....	64
6.5.1.1 Uporaba mikrobioloških preparatov Bio-complex.....	67
6.5.2 Opis dela	68
6.6 Rezultati.....	68
6.6.1 Ekonomska upravičenost uporabe preparata Bio-complex.....	74
6.7 Diskusija rezultatov in predlagane izboljšave procesa čiščenja	78
7 ZAKLJUČEK.....	80
VIRI.....	81

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1:	Bilanca porabljene vode za leto 2008
Preglednica 2:	Povprečne mesečne vrednosti parametrov
Preglednica 3:	Vrednosti parametrov na iztoku iz ČN
Preglednica 4:	Povprečne vrednosti KPK in BPK ₅ v letih 2006–2009
Preglednica 5:	Prikaz načina obračunavanja stroškov in prejemnikov plačil
Preglednica 6:	Primerjava stroškov za čiščenje odpadne vode
Preglednica 7:	Primerjava zneska okoljske dajatve v letih 2008 in 2009

KAZALO GRAFIKONOV

- Grafikon 1: Primerjava KPK za marec 2007 in 2009
- Grafikon 2: Primerjava KPK za april 2007 in 2009
- Grafikon 3: Primerjava parametra KPK za marec in april 2009
- Grafikon 4: Primerjava povprečnih vrednosti parametrov KPK in BPK₅ v letih 2006–2009
- Grafikon 5: Prikaz gibanja vrednosti KPK in BPK₅ v letih 2006–2009

KAZALO SLIK

- Slika 1: Prikaz razdelitve snovi v odpadni vodi
- Slika 2: Odstranitev organske snovi v procesu aktivnega blata
- Slika 3: Shematski prikaz flokule aktivnega blata
- Slika 4: Metabolizem bakterijskih skupin, vključenih v anaerobni proces gnitja
- Slika 5: Popolnoma premešan reaktor
- Slika 6: Dušikov cikel v bioloških procesih
- Slika 7: Območje mlekarne
- Slika 8: Funkcionalna območja mlekarne Celeia

KAZALO PRILOG

- PRILOGA A: Mejne vrednosti parametrov industrijske odpadne vode
- PRILOGA B: Mejne vrednosti parametrov odpadne vode iz obstoječih naprav za proizvodnjo živil za odvajanje neposredno in posredno v vode in javno kanalizacijo
- PRILOGA C: Vrednosti merjenih parametrov na iztoku ČN za marec 2009
- PRILOGA D: Vrednosti merjenih parametrov na iztoku ČN za april 2009
- PRILOGA E: Shematski prikaz ČN Mlekarne Celeia

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

BPK ₅	biokemijska potreba po kisiku v 5 dneh
CBPK	biokemijska potreba po kisiku ogljikovih spojin
CIP	čiščenje na mestu
ČN	čistilna naprava
EO	enota obremenitve
JKP	javno komunalno podjetje
KČN	komunalna čistilna naprava
KPK	kemijska potreba po kisiku
ORP	oksidacijsko-redukcijski potencial
PE	populacijski ekvivalent
SBR	sekvenčni šaržni bioreaktor
TKN	skupni dušik po Kjeldahlu
TOC	celotni organski ogljik

SLOVAR MANJ ZNANIH BESED IN TUJK

Adhezija	sila, ki privlači molekule različnih snovi
Adsorpcija	oprijemanje plina, tekočine ali raztopljene snovi na površino trdne snovi ali tekočine
Avtotrofni organizmi	organizmi, vključno z nitrifikacijskimi bakterijami in algami, ki za sintezo celic uporabljajo kot vir ogljika ogljikov dioksid, raztopljene nitratre in amonijeve soli
Dispergirane bakterije	proste bakterije
Efluent	iztok
Fermentacija	razgradnja organskih spojin zaradi delovanja mikroorganizmov in njihovih encimov
Heterotrofni organizmi	organizmi, ki se prehranjujejo z organskimi spojinami rastlinskega in živalskega izvora; ti organizmi niso sposobni sami ustvariti organskih spojin iz enostavnih anorganskih spojin
Inertna snov	biološko nerazgradljiva snov
Metemoglobinemija	krvne motnje
Nutrient	hranilo
Populacijski ekvivalent	mera za obremenjevanje vode, ki ustreza onesnaževanju enega prebivalca na dan
Šarža	stopnja

1 UVOD

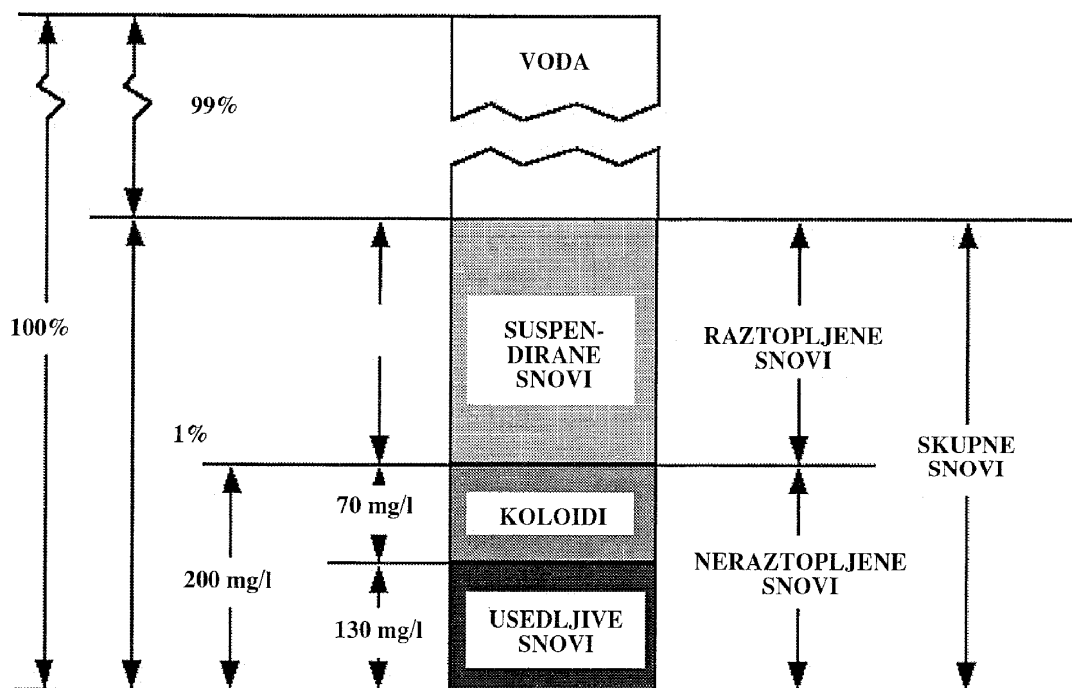
Človek se je v preteklosti z opazovanjem narave in posnemanjem procesov samočiščenja v vodotokih naučil biološkega načina čiščenja vode. Problem odpadnih voda so včasih reševali s postopki, ki so v uporabi še danes, le da so tehnološko izpopolnjeni in nadgrajeni. Zaradi porasta števila prebivalstva in razvoja industrijske dejavnosti je prišlo do povečanja količin odpadne vode in do novih tipov odpadnih voda. Industrijske odpadne vode so po strukturi povsem drugačne od odpadnih voda gospodinjstev, in lahko vsebujejo strupene ter nerazgradljive snovi. S pojavom teh voda in povečanjem količin drugih je okolje pričelo izgubljati ravnovesje in svojo pufrsko sposobnost, kar je začelo voditi v postopno rušenje naravnega ravnovesja. Človek je začel uničevati floro in posledično tudi favno sveta. Skrb za okolje se je v ospredju znova pojavila v zadnjih letih prejšnjega stoletja, ko se je začela množična izgradnja čistilnih naprav ter kanalizacijskih omrežij. Evropska gospodarska skupnost je sprejela 21. maja 1991 *Direktivo 91/271/EGS o čiščenju komunalne vode*. V tej direktivi so postavljene zahteve glede odvajanja in čiščenja komunalnih odpadnih voda ter industrijskih biorazgradljivih odplak, kamor spadajo tudi odpadne vode iz mlekarn. Slovenija je leta 1991 sprejela uredbo o taksi za obremenjevanje voda, pri pristopnih pogajanjih pa je sprejela operativni program odvajanja in čiščenja odpadnih voda. Industrijski onesnaževalci so bili zaradi plačevanja ogromnih zneskov občinam in državi prisiljeni zgraditi lastne čistilne naprave, ki so namenjene postopkom predčiščenja in nadaljnjega izpusta v kanalizacijsko omrežje ali v redkih primerih končnemu čiščenju lastnih odpadnih voda in končnemu izpustu v vodotok. Pri skrbi za okolje je nujen celostni vpogled v problematiko, saj lahko edino na najvišjem nivoju določimo prioriteto reševanja mikroproblema, ki vpliva na porušitev naravnega ravnovesja. Z gospodarskim razvojem sveta je postalo čiščenje odpadnih voda zelo pomembno.

Čiščenje odpadnih voda posledično pomeni čistejše vodotoke, pestrejše zastopanje rastlinskih in živalskih struktur v njih, čistejšo podtalnico in pitno vodo ter uporabo presnovljenega odpadnega blata za potrebe gnojenja in opuščanje umetnih gnojil. Z dvigom človeške zavesti na svetovnem nivoju bomo pripomogli k postopnemu očiščenju planeta in nadaljnjemu ohranjanju življenjskega prostora vseh živečih vrst.

2 KAKOVOSTNE ZNAČILNOSTI ODPADNIH VODA

Onesnaževanje voda se začne v urbanem okolju (komunalna odpadna voda), v kmetijstvu (farmske odpadne vode) ali industriji (tehnološke oz. industrijske odpadne vode). Ohranjanje narave pa se začne tam, kjer začne odpadna voda nastajati, to je pri virih onesnaženja. Zelo pomembno z vidika celostnega upravljanja z odpadnimi vodami je, da na virih nastanka odpadnih voda poskušamo snovi, ki pridejo v odpadno vodo in povzročajo njeno onesnaženje (npr. papir, trdni odpadki, odpadna olja), zadržati in jih odstraniti. Vendar vseh onesnažil ne moremo odstraniti pri virih, bodisi zaradi ekonomičnosti ali pa je to fizično nemogoče.

Običajna komunalna odpadna voda vsebuje približno 1 % raztopljenih snovi, ostalo je voda. Seveda je razmerje odvisno predvsem od načina nastanka odpadne vode, saj je npr. pri tehnoloških odpadnih vodah lahko delež raztopljenih in neraztopljenih snovi bistveno večji.



Slika: Sestava komunalne odpadne vode (Roš, 2001, str. 11)

Snovi, ki se nahajajo v odpadni vodi, lahko močno porušijo ravnotežje v naravi, še posebej če so te snovi strupene ali težko razgradljive. Zato je potrebno te snovi iz odpadne vode

odstraniti, preden ta voda doseže površinske vode ali podtalnico, kjer lahko povzroči opustošenje.

Pri samem čiščenju odpadnih voda uporabljamo vrsto kemijskih, fizikalnih ter bioloških postopkov, ki se med seboj dopolnjujejo, in jih izbiramo glede na vrsto odpadne vode oziroma snov, ki jo želimo iz nje odstraniti. V večini primerov uporabljamo postopke predčiščenja (odstranjevanje večjih delcev), primarnega čiščenja (odstranjevanje usedljivih snovi), biološkega oziroma sekundarnega čiščenja (odstranjevanje biorazgradljivih snovi) in postopke terciarnega čiščenja, kjer gre za odstranjevanje predvsem dušikovih in fosforjevih spojin.

Osnovni cilj čiščenja odpadnih voda je doseči zakonsko predpisane zahteve, ki določajo naslednje:

- preprečitev bolezni,
- spoštovanje predpisov,
- preprečevanje onesnaženja vodovoda oziroma oskrbe z vodo,
- odstranitev vseh onesnaženih izpustov v plovne vode,
- vzdrževanje čistih voda za razmnoževanje in preživetje rib in drugega vodnega življenja,
- zaščita kopaliških voda in voda, ki so namenjene zabavi in sprostitvi,
- ohranitev prvotnih voda za zaščito ekosistemov in
- obvarovanje voda.

V nadaljevanju naloge je podan podrobnejši opis postopkov čiščenja odpadnih voda in njihove funkcije. Poleg hitrega pregleda postopkov predčiščenja in primarnega čiščenja je več pozornosti posvečenega postopkom biološkega (sekundarnega) ter terciarnega čiščenja.

Proizvodnja odpadne vode za večje razvito mesto, vključno z zasebnimi bivališči, trgovskimi ustanovami, malo industrijo in obrtjo, znaša od 380 do 455 litrov na osebo na dan, kjer ni vključena infiltracija (dotok tujih voda) in eksfiltracija (iztekanje odplak iz kanalizacije) (Panjan, 2001).

Za čiščenje nastale odpadne vode torej potrebujemo primerne naprave in postopke, ki jih izbiramo na podlagi lastnosti odpadne vode, pričakovanega učinka čiščenja ter značaja

mikrolokacije, kjer je gradnja čistilne naprave predvidena. V našem prostoru se vedno bolj spogledujemo z naprednimi tehnologijami čiščenja odpadnih voda ali postopki naravnega čiščenja (npr. lagune, rastlinske čistilne naprave), za katere je veliko sredstev namenjenih tudi v evropskih skladih. Te vrste tehnologij in postopkov je smiselno uporabljati predvsem na mestih, kjer imamo opravka s specifičnimi odpadnimi vodami (industrija), ali kjer so okoljske omejitve zelo strogo določene. V večini primerov pri nas še vedno prevladujejo klasične komunalne biološke čistilne naprave, ki so povsem smiselne za večja mesta in naselja.

Čiščenje odpadnih voda v osnovi delimo na:

- mehansko ali primarno čiščenje (sedimentacija, filtracija, centrifugiranje, flotacija, pobiranje maščob),
- kemijsko čiščenje (nevtralizacija, oksidacija, redukcija),
- fizikalno kemijsko čiščenje (obarjanje, koagulacija, flokulacija, adsorpcija, ionska izmenjava),
- biološko čiščenje (aerobno ali anaerobno, pri obeh postopkih je možno čiščenje s pritrjeno ali razpršeno biomaso).

Te postopke lahko uporabljamo posamično ali v povezavah, njihova izbira je odvisna od narave odpadne vode.

vode), ločimo tudi padavinske odpadne vode in odpadne vode, ki nastajajo pri spiranju kmetijskih površin (Panjan, 2001).

Domača odpadna voda iz gospodinjstev ima bolj ali manj enotno sestavo, čeprav se včasih zaradi socialnih, ekonomskih, geografskih in klimatskih razlik med regijami razlikuje. Tako se sestava in količina takšne vrste odpadne vode v nekaterih primerih spreminja sezonsko, zaradi prispevka večjih institucij (npr. univerz), ali zaradi nihanja števila prebivalstva na posameznih območjih (npr. turistični kraji) (Panjan, 2001).

Z vidika vpliva odpadnih voda na odvodnik in načina čiščenja se delijo odpadne vode v pet skupin:

- biološko nerazgradljive odpadne vode,
- biološko razgradljive odpadne vode,
- hladilne odpadne vode,
- odpadne vode, ki vsebujejo strupe in
- odpadne vode, ki vsebujejo kisline, alkalije, soli.

Pred njenim čiščenjem je potrebno odpadno vodo dobro spoznati. Seznaniti se moramo s tehnologijo, kjer odpadna voda nastaja, ogledati si moramo mesto odtoka iz obrata in pravilno zajeti vzorce.

Za natančno kontrolo procesa, analize ali izdajo uporabnega dovoljenja ni dovolj splošno karakteriziranje odpadne vode glede na vir onesnaženja, temveč so potrebni konkretni podatki, ki so odvisni od analiz vtoka, vmesnih tokov in iztoka iz čistilne naprave. Zbranim podatkom moramo najprej določiti njihove fizikalne, biološke in kemijske lastnosti. Za zanesljive rezultate določanja teh lastnosti moramo imeti v laboratoriju vzpostavljeno kontrolo kakovosti in sistem zagotavljanja kakovosti, ki ga v Sloveniji določa standard SIST ISO EN 17025.

Osnovni parametri, ki so potrebni za ovrednotenje odpadnih voda, so:

- pH,
- KPK (kemijska potreba po kisiku),
- BPK (biokemijska potreba po kisiku),

- TOC (celotni organski ogljik),
- neraztopljene in raztopljene snovi,
- usedljive snovi,
- fosforjeve in dušikove spojine.

2.2 Fizikalne lastnosti

Na podlagi opazovanj različnih fizikalnih lastnosti odpadne vode lahko upravljavec čistilne naprave pridobi hitre informacije o dogajanju na vtoku, iztoku in o poteku delovnega procesa v čistilni napravi. V oklepaju so podani standardi, po katerih se izvajajo metode za merjenje lastnosti odpadnih voda. Standardi so podani v prilogi *Pravilnika o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih vod ter o pogojih za njegovo izvajanje (Uradni list RS, št. 74/2007)*.

2.2.1 Temperatura

Temperatura odpadne vode skozi leto niha, ker jo vodimo po kanalih, ki so izpostavljeni temperaturi podlage oz. zemljine. Srednja letna temperatura odpadne vode zajema interval med 10 °C in 20 °C. Temperatura ima velik vpliv na hitrost bioloških procesov, saj se pri njenem naraščanju pospeši razgradnja organskih snovi ter poraba kisika. Na vsakih 10 °C povišanja temperature se reakcijski čas razgradnje podvoji, vse do zaviranja oz. ustavitve bioloških procesov pri visokih temperaturah. Merjenje temperature poteka po metodi, ki jo določa standard SIST DIN 38404-4.

Kratkotrajno povišanje temperature običajno kaže na prisotnost industrijskih izpustov, medtem ko na znatno znižanje temperature vpliva predvsem vdor padavinskih voda.

2.2.2 Barva

Barva odpadne vode je pogojena predvsem s količino in vrsto raztopljenih, suspendiranih in koloidnih snovi v njej. Sveža odpadna voda je sive barve, temnejša postane le v primeru pomanjkanja kisika. Ostale barve običajno nakazujejo vpliv prisotnosti industrijskih izpustov.

Zeleni, modri ali oranžni izpusti nastajajo pri postopkih kovinske obdelave; modra, rdeča in rumena so pogosto znak izpustov iz tekstilne industrije, medtem ko so za mlekaršiško industrijo značilni motno beli izpusti (SIST EN ISO 7887).

2.2.3 Vonj

Sveža odpadna voda ima značilen zatohel vonj, medtem ko so ostale vonjave (npr. po nafti, topilih) lahko posledica industrijskega vpliva. Če ima voda vonj po gnilih jajcih, to nakazuje, da v vodi poteka anaerobna razgradnja, kjer se proizvaja vodikov sulfid. Ta je strupen že v majhnih koncentracijah, koroziven za beton in potencialno eksploziven. V takšnih primerih je potrebno upoštevati varnostne ukrepe ter obenem povečati vsebnost kisika v odpadni vodi (Panjan, 2001).

2.2.4 Motnost

Motnost merimo s instrumentom, imenovanim turbidimeter, in je izrednega pomena v iztoku iz čistilne naprave. Kaže predvsem na prisotnost suspendiranih snovi v odpadni vodi, čeprav nista v neposredni povezavi, saj lahko na motnost vplivata tudi velikost delcev in barva.

2.2.5 Nihanja v pretoku

Nihanje količine odpadne vode se pojavlja dnevno, tedensko, sezonsko ali letno. Odvisno je od velikosti kanalizacijskega sistema (dnevno nihanje), od števila in vrste črpališč, vrste industrijske odpadne vode ter življenjskih navad prebivalstva.

Za manjše čistilne naprave je značilno, da so konice dnevnih pretokov med 8. in 10. uro dopoldan, med 12. in 14. uro ter med 16. in 19. uro. Najmanjši pretoki se pojavijo zgodaj zjutraj in pozno popoldan. Pretok lahko niha od 50 do 200 % srednjega dnevnega pretoka in je odvisen predvsem od velikosti in vrste kanalizacijskega sistema (Panjan, 2001). Metodo za opravljanje meritev pretoka določata standarda SIST ISO 1438-1 in SIST EN ISO 6817.

2.2.6 Prevodnost

Pri odpadni vodi govorimo o normalnem območju prevodnosti, ki je neposredno povezana s koncentracijo raztopljenih snovi v vodovodni vodi. Znatno povečanje prevodnosti ima običajno vzrok v izpušnih iz industrijskih virov.

2.2.7 Usedljivost

Trdne snovi v odpadni vodi razvrščamo v raztopljene, koloidne, plavajoče in usedljive. Pri usedljivosti merimo količino usedljivih snovi z enournim (preskus za surovo odpadno vodo in iztok iz primarnega čiščenja) ali 30-minutnim volumetričnim preskusom (določitev lastnosti usedanja aktivnega blata v prezračevalniku). Raztopljene, koloidne in plavajoče snovi štejemo v isto skupino, znano kot neusedljive snovi, in jih določamo (razen plavajočih snovi) po standardnih metodah s filtriranjem na filtrih velikosti 0,45 µm (SIST ISO 11923, DIN 38409-9).

2.3 Biološke lastnosti

Biološke lastnosti določamo na podlagi bakterioloških analiz, ki pokažejo prisotnost patogenih organizmov v odpadni vodi. Splošno uporabljen indikator bakterij so celotne fekalne (*Escherichia coli*, enterokoki) in koliformne bakterije. Za določitev virusov v odpadni vodi lahko se izvajajo neposredni preskusi, vendar so za to potrebne zahtevne analize, posebna oprema in specialno strokovno znanje (Roš, 2001).

2.3.1 Indikator bakterij za patogene organizme

Kot indikatorski organizmi v odpadni vodi se uporabljajo celotne fekalne in koliformne bakterije, ki same po sebi niso patogene. Kot indikator se jih uporablja predvsem zato, ker so bolj odporne proti razkuževanju, so številčnejše od patogenov in jih je lažje šteti. Celotne fekalne in koliformne bakterije izražamo v enotah kolonij na 100 ml, če uporabljamo tehniko filtriranja, ali kot najbolj verjetno število (MPN) na 100 ml, če uporabljamo metodo z več epruvetami (Predpisi s področja kopalnih voda).

2.3.2 Virusi

Virusi se v odpadni vodi praviloma pojavljajo manj pogosto kot bakterije, vendar so bolj odporni proti razkuževanju. Zato jih večkrat uporabljamo za oceno učinkovitosti tehnike razkuževanja.

2.3.3 Mikroskopski pregled

Zelo pomemben del preverjanja kakovosti procesa čiščenja, predvsem pregleda aktivnega blata, je mikroskopski pregled odpadne vode in procesnih tokov. Mikroskopski pregled blata tako lahko razkrije sposobnost (kondicijo) blata in opozori na probleme pri procesu čiščenja. Tako lahko pridobimo informacijo o videzu kosmov, čistosti supernatanta (čiščene vode), vrsti in porazdelitvi praživali ter prisotnosti nitastih (filamentoznih) bakterij.

2.4 Kemijska sestava

S pomočjo kemijskih analiz pridobivamo informacije o lastnostih odpadne vode, ki nam jih določajo koncentracije posameznih specifičnih snovi, in pogojih procesov čiščenja. Nekatere analize določamo na enostaven način, za druge so potrebna posebna strokovna znanja in dobro opremljeni laboratoriji.

2.4.1 pH

pH je merilo za kislost ali alkalnost raztopine. Območje pH skale pri 25 ° C je od 1 do 14, nevtralnno področje ima pH 7. Raztopine, ki imajo pH pod 7, so kisle, tiste s pH nad 7 pa so alkalne. pH je zelo pomemben pri biološkem čiščenju, ker ostanejo mikroorganizmi dovolj aktivni samo v ožjem območju pH, med 6,5 in 9. Zunaj tega območja se biološka aktivnost lahko zavira ali celo ustavi. Reakcije nitrifikacije so še posebej občutljive na pH. Biološka aktivnost aktivnega blata v prezračevalniku čistilne naprave pri pH pod 6 pri neprilagojenih razmerah pojema skoraj do ničle (SIST ISO 10523).

Surova odpadna voda ima pH približno 8. Velika odstopanja od te vrednosti kažejo na prisotnost industrijskih ali nekomunalnih izpustov. Anaerobne razmere zmanjšajo pH

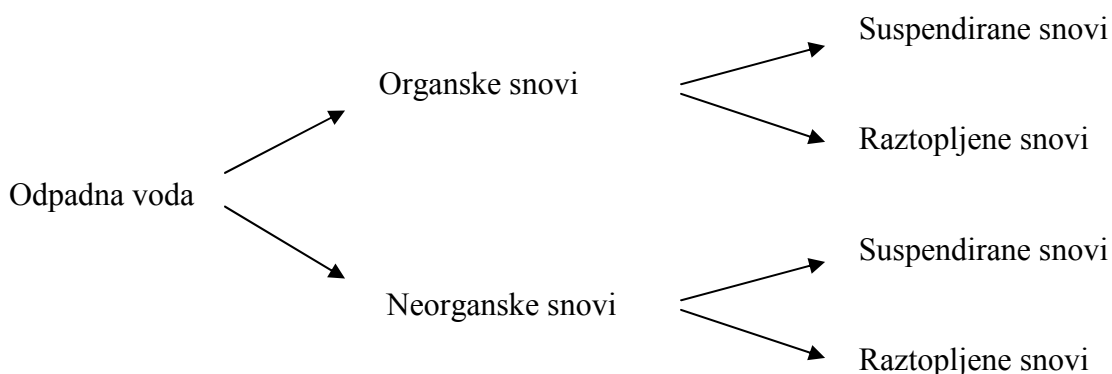
odpadne vode. Zato nizke vrednosti pH, povezane z drugimi znamenji, kot sta vonj po sulfidu ali črna barva, kažejo na septične reakcije v zbiralnem sistemu (kanalizaciji) ali pri procesu čiščenja. Nitrifikacija v prezračevalniku lahko zniža pH do take mere, da zavira biološko aktivnost (Panjan, 2001).

2.4.2 Alkaliteta

Alkaliteta je merilo sposobnosti odpadne vode, da nevtralizira kislino, in je ne smemo mešati s pojmom alkalnosti (glej pH). Zaradi prikladnosti izražamo alkaliteto v mg/l kalcijevega karbonata (CaCO_3). Visoka alkaliteta odpadne vode v čistilni napravi omogoča, da kisli industrijski vtoki v čistilno napravo ne vplivajo občutneje na procese čiščenja. Pod kisle industrijske vtoke štejemo predvsem mlekarniške odpadne vode. Nekateri procesi, npr. nitrifikacija v sekundarni stopnji čiščenja, alkaliteto porabljajo.

2.4.3 Trdne snovi

Celotne trdne snovi lahko razdelimo v suspendirane in raztopljene. Vsako od teh skupin lahko nadalje razdelimo v njihovo hlapno in fiksno (nehlapno) frakcijo. Skupna prisotnost trdnih snovi je masa snovi, ki ostane na filtru po izparevanju odpadne vode pri 103°C , do konstantne teže. Celotne hlapne trdne snovi so masa snovi, ki ostane po sežigu snovi pri 550°C . Čas žarenja je odvisen od mase prisotnih snovi. Žareti je potrebno do konstantne mase. Suspendirane snovi so tiste snovi, ki ostanejo na steklenem filtru po filtraciji in sušenju pri 103°C . Hlapne suspendirane snovi so del suspendiranih snovi, ki izhlapijo pri žarenju pri 550°C (SIST ISO 11923). Raztopljene snovi, imenovane tudi filtrabilni preostanek, in hlapne trdne snovi lahko določimo bodisi z razliko med celotnimi in suspendiranimi snovmi istega vzorca bodisi z izparevanjem filtrata, dobljenega pri preizkusu določanja suspendiranih snovi.



Slika 1: Prikaz razdelitve snovi v odpadni vodi

2.4.5 Biokemijska potreba po kisiku v 5 dneh (BPK₅)

S preskusom biokemijske potrebe po kisiku (BPK₅) določamo množino kisika, ki je potrebna za biološko razgradnjo (stabilizacijo) vzorca v 5 dneh. Ker je razmerje biološke aktivnosti odvisno od temperature in ker zahteva končna razgradnja (stabilizacija) več kot 20 dni, je preskus standardiziran za pogoje 20 ° C in 5 dni. S tem preskusom posredno določamo množino organske snovi, ki je biološkemu sistemu na voljo za razgradnjo odpadne vode in prihodnji vpliv iztoka na vodotok (SIST EN 1899-1, SIST EN 1899-2).

BPK₅ je značilen parameter, ki je osnova za določanje obremenitve in za projektiranje čistilne naprave. Pri dimenzioniranju je BPK₅ merilo za potrebno množino kisika za oksidacijo organskih snovi v vzorcu. Množina potrebnega kisika samo za oksidacijo ogljikovih organskih snovi (ne dušika) imenujemo ogljikov BPK (CBPK). Če dovolimo, da potekajo reakcije v vzorcu naprej, se pojavi druga faza oksidacije, znana kot nitrifikacija. Med to fazo druga vrsta bakterij spreminja amonij v nitrit in nitrat. Čas, ki je potreben za prehod iz ogljikovih v dušikove reakcije, je odvisen od vzorca. Če so nitrifikacijski organizmi prisotni že na začetku na osnovnem nivoju, določimo včasih dušikovo potrebo po kisiku, še preden poteče 5 dni. Čistilne naprave za sekundarno čiščenje so navadno dimenzionirane za odstranjevanje CBPK, ne pa za dušikov BPK. BPK₅ za domače odpadne vode je v območju od 100 do 250 mg/l. Ker daje oksidacija dušika včasih višji BPK₅ kot oksidacija samih ogljikovih spojin, določamo CBPK z dodatkom inhibitorja nitrifikacije, da zaustavimo nitrifikacijo med določanjem BPK₅ (Roš, 2001).

2.4.6 Kemijska potreba po kisiku

Določanje kemijske potrebe po kisiku (KPK) zagotovi hitro oceno celotne organske snovi v vzorcu (razgradljive in nerazgradljive). Ta postopek, katerega osnova je kemijska oksidacija, nam da rezultat v 3-4 urah namesto v 5 dneh. Rezultati KPK so običajno višji od BPK₅ (SIST ISO 6060). Razmerje med BPK₅ in KPK je v različnih čistilnih napravah različno. Zato izvajamo oba preskusa vzporedno. To razmerje se spreminja tudi od vtoka do iztoka. Običajno razmerje BPK₅ : KPK je 1 : 2 za surovo odpadno vodo in se zmanjša do 1 : 10 pri dobro stabiliziranem sekundarnem iztoku (Roš, 2001).

2.4.7 Celotni organski ogljik (TOC)

Parameter, znan kot celotni (totalni) organski ogljik (TOC), je alternativni parameter za oceno BPK₅. Z njim določimo koncentracijo organsko vezanega ogljika v odpadni vodi. Ker je analiza celotnega organskega ogljika v primerjavi z določanjem KPK hitra, se pri znanih odpadnih vodah TOC nadomešča s KPK (Roš, 2001).

2.4.8 Dušik

V odpadni vodi se dušik pojavlja v štirih oblikah: organski dušik, amonij (ionizirani in prosti amoniak), nitrit in nitrat. Oblike dušika, prisotne v odpadni vodi, kažejo na nivo stabilizacije (mineralizacije) organskih snovi. Surova odpadna voda ima na primer običajno večjo koncentracijo organskega dušika in amonija kot nitrita in nitrata. Ko se organski dušik presnavlja, se spremeni najprej v amonij, nato pa, če so razmere ugodne, v nitrit in nitrat. Poleg tega se del dušika porabi za tvorbo nove biomase. Spremembe in porazdelitev dušika lahko dajejo odlično informacijo o pogojih, v katerih poteka proces v posameznem delu čistilne naprave. Naraščajoča koncentracija amonija med primarnim usedanjem pogosto napoveduje razvoj septičnih pogojev, zaradi kopičenja odvečnega blata. Naraščanje nitrita in nitrata pri iztoku iz sekundarnega usedalnika označuje nitrifikacijo.

Značilno območje koncentracije dušika v surovi odpadni vodi je 20 do 85 mg/l za celotni dušik (vsota organskega, amonijevega, nitritnega in nitratnega dušika), 8 do 35 mg/l za organski in 12 do 50 mg/l za amonijev dušik. Prisotne so zelo nizke koncentracije nitrita in nitrata. Če se v čistilni napravi čisti večje količine industrijskih odpadnih voda z visokim

BPK₅, lahko pride do pomanjkanja dušika. V takem primeru moramo za mineralizacijo (stabilizacijo) BPK dušik dodajati (Roš, 2001).

Za določevanje dušikovih spojin je razvitih veliko postopkov in tehnik. Organski dušik določamo s t. i. Kjeldahlovo analizo, kjer določimo oba, organski dušik in amonij, skupaj ter odštejemo amonij, ki ga določamo posebej. Nitrit in nitrat določimo v posebnih vzorcih neposredno.

2.4.9 Fosfor

Fosfor se pojavlja v odpadni vodi v različnih oblikah in je osnovni element za biološko rast in reprodukcijo. Čezmerna množina fosforja v površinskih vodah vodi do čezmerne rasti alg in eutrofikacije. Zato imajo čistilne naprave predpisane mejne vrednosti fosforja v iztoku. Fosfor je lahko prisoten kot ortofosfat, polifosfat in organsko vezan fosfor. Določamo jih kot celotni fosfor. Ortofosfat je za biološko rast in reprodukcijo mikroorganizmov najprimernejši. Nekatere spojine polifosfata se v kislem pretvorijo v ortofosfat. Običajna koncentracija celotnega fosforja v domači odpadni vodi je od 2 do 20 mg/l, od tega 1 do 5 mg/l organskega fosforja in 1 do 15 mg/l neorganskega fosforja (Roš, 2001).

2.4.10 Klor

Proste ga klora v surovi odpadni vodi običajno ne najdemo, ker je zelo reaktiven, lahko pa je prisoten v manj reaktivnih oblikah, kot so kloramini. Klor se navadno uporablja za razkuževanje.

2.4.11 Sulfid

Vodikov sulfid (H₂S) je pogosto povezan z neprijetnimi zdravstvenimi učinki in korozijo kanalizacijskih cevi in opreme na čistilni napravi, zato moramo redno kontrolirati njegovo koncentracijo. Da bi preprečili potencialno močno korozijo, je potrebno imeti izdelan program meritev za stalno kontrolo sulfida (SIST ISO 10530).

2.4.12 Maščobe, olja in masti

Maščobe, olja in masti v iztoku iz čistilne naprave povzročajo onesnaženje površine na vodotoku. V čistilno napravo lahko pridejo kot fini plavajoči delci (npr. v obliki emulzij) ali kot raztopina. Razdelimo jih lahko v polarne in nepolarne. Polarne maščobe, olja in masti, ki so običajno biorazgradljive, so živalskega izvora; nepolarne pa so mnogo težje razgradljive ter izvirajo iz naftnih derivatov. V primeru, da se ne odstranijo povsem v postopku primarnega čiščenja in prehajajo v sekundarno stopnjo čiščenja (v sistem z aktivnim blatom), se združijo z biomaso. To združevanje lahko povzroča slabo usedljivost aktivnega blata in izplavljanje odvečnega blata v iztok (SIST ISO 9377-2).

2.4.13 Specifični onesneževalci

Specifični polutanti je splošen izraz za kemijske spojine, ki so v široki uporabi in so lahko strupene. Strupene snovi, ki izhajajo predvsem iz industrijskih virov, lahko delimo v dve kategoriji: strupene organske spojine (vključno z organskimi topili in pesticidi) in ostale strupene snovi (vključno s težkimi kovinami, cianidi in fenoli). Za analizo večine teh snovi je običajno potrebna zahtevna analizna oprema in instrumentacija. Poleg tega je koncentracija teh snovi v surovi domači vodi izredno nizka (v $\mu\text{g/l}$; ppb). Potrebna je tudi posebna tehnika vzorčenja in priprava vzorcev. Večina strupenih snovi pri določeni koncentraciji zavira biološko aktivnost. Izpust strupenih snovi lahko poškoduje vodno okolje, poleg tega se nekatere snovi (npr. Hg) v okolju kopičijo (Roš, 2001).

Za vse zgoraj naštetih snovi je podana ocena prisotnosti samo v komunalnih odpadnih vodah, ker je slednjo lažje okarakterizirati. To ne pomeni, da v industrijskih vodah teh snovi ni zaznati. Seveda so prisotne, vendar je njihova zastopanost odvisna od vrste industrije. Za mlekaršiško odpadno vodo so njene lastnosti podane kasneje v nalogi.

2.5 Sestava in nekatere lastnosti odpadnih voda

Odpadne vode nastajajo v vseh urbanih okoljih kot posledica uporabe vode za transport nezaželenih snovi iz gospodinjstev, industrije, obrti, kmetijstva in družbenih ter služnostnih

dejavnosti. Na sestavo in lastnosti odpadne vode vplivajo številni dejavniki, kot so število priključenih prebivalcev, njihov način življenja, priključena industrija, obrt in prometne površine. Hišna odpadna voda ima povprečno temperaturo med 10 in 20 °C, nižjo temperaturo pozimi, višjo poleti. Sveža hišna odpadna voda ima svetlo sivo barvo ter rahel zadušljiv, zatohel, trohneč vonj. V primeru razkrajanja je barva vode temno siva do črna in ima vonj po gnilih jajcih (značilen za H₂S). Popolnoma drugačen vonj in barvo pa imajo praviloma priključki industrijskih odpadnih voda ali voda iz kmetijskih površin.

Sestavo vode najprej obravnavamo glede na njen izvor (organski ali anorganski) in na možnost čiščenja (usedljive, lebdeče, koloidne in raztopljene snovi). Primesi v odpadni vodi razdelimo na suspendirane (to so usedljive, plavajoče in lebdeče snovi skupaj), koloidne in raztopljene snovi. Slednje povzročajo motnost kanalske odpadne vode. Koloidne ter nekatere raztopljene snovi povzročijo v odpadni vodi izrazito motnost ali barvo in jih lahko iz vode izločimo le z biokemijskimi postopki čiščenja.

2.5.1 Količinske in kakovostne značilnosti mlekarniških odpadnih voda

Pri predelavi mleka nastanejo velike količine zelo obremenjenih odpadnih voda. Razlog za to je osnovna surovina mleko, ki povzroča veliko obremenitev voda. Z uporabo modernih tehnologij za predelavo mleka se bistveno zmanjša količina in obremenjenost odpadnih voda. Količino in obremenjenost odpadnih voda se lahko ugotavlja z monitoringi ali pa prek inženirskih normativov. Nemški normativi ATV in VDI podajo razmeroma dobro sliko o obsegu onesnaževanja okolja, ki nastane pri predelavi mleka. *Direktiva 96/61/ES* z dne 24. septembra 1996 (direktiva IPPC) je uvedla za industrijske obrate »okoljevarstvena dovoljenja« ter ocenjevanje tehnologije glede na stanje tehnike (BAT: Best Available Techniques). Normativi BAT so v bistvu nadgradnja normativov ATV in VDI, s to razliko, da vsaka država samostojno oceni, kaj zanjo pomeni BAT. Ocenjevanje tehnologije vključuje tako tehnološki postopek kot tudi način načrtovanja, gradnje, vzdrževanja, upravljanja in razgradnje obrata. Razpoložljiva tehnologija pomeni tehnologijo na takšni ravni, ki omogoča njeno uporabo v posamezni industrijski panogi pod ekonomsko in tehnično izvedljivimi pogoji (Drev, Panjan).

Mlekarska industrija je eden izmed večjih virov industrijskih odpadnih voda v Evropi. Tipična evropska mlekarne proizvede približno 500 m³ odpadne vode dnevno (Wheatley v Arvanitoyannis, 2008). Povprečna vrednost parametra BPK odpadne vode mlekarske industrije znaša 2300 g/l, vrednost skupnih suspendiranih snovi 1500 mg/l, vsebnost maščob, olj in masti pa 700 mg/l (Liu, 2007). Mlekarniške odpadne vode ponavadi vsebujejo beljakovine, soli, maščobe, laktozo in ostanke kemikalij, ki se uporabljajo v procesih čiščenja proizvodnih linij. Količina in obremenitev odpadnih voda v mlekarški industriji je vezana na izbor tehnoloških postopkov, ki so vezani na proizvodni program.

Preglednica: Struktura osnovnih surovin in njihov vpliv na BPK₅ (Drev in sod. v Zborniku referatov s posvetovanja, 1998, str. 433).

Surovina	voda [%]	maščobe [%]	beljakovine [%]	sladkor [%]	pepel [%]	BPK ₅ [mg O ₂ /l]
Polno mleko	87,8	3,9	3,2	5,1	0,7	110.000
Posneto mleko	92,3	0,1	3,3	4,3	0,8	70.000
Pinjenec	92,3	0,5	3,4	4,3	0,7	70.000
Sirotko	93,9	0,3	0,9	4,9	0,6	32.000

Preglednica: Obremenitve, ki nastajajo v posameznih fazah proizvodnje (Drev in sod. v Zborniku referatov s posvetovanja, 1998, str. 433).

Tehnološka faza	min BPK ₅ [kg O ₂ /l]	max BPK ₅ [kg O ₂ /l]	povprečni BPK ₅ [kg O ₂ /l]
Sprejem mleka, pranje posod pri sprejemu	0,13	0,80	0,31
Pranje rezervoarjev	0,14	0,48	0,30
Pasterizacija mleka in hranjenje	0,12	0,65	0,35
Pasterizacija in polnjenje smetane			0,95
Izdelava masla in pranje masla	0,30	0,96	0,55
Proizvodnja sira	0,28	2,40	1,07
Kondenzacija sveže sirotke			0,30
Kondenzacija stare sirotke	0,36	1,80	0,90

Iz preglednic je razvidno, da v posameznih fazah proizvodnje nastajajo odpadne vode, ki so različno obremenjene. Od učinkovitosti in racionalizacije proizvodnje sta odvisni količina in kvaliteta mlekarniških odpadnih voda, zato je za zmanjšanje količine in obremenitve treba reševati problem že v proizvodnem procesu.

Preglednica: Podatki o obremenjevanju odpadne vode iz mlekarn (ATV-Handbuch, 2000)

Parameter	Enota	Vrednost
količina odpadne vode	m ³ /1000 kg mleka	0,8 – 2,0
BPK ₅ – obremenitev	kg BPK ₅ /1000 kg	0,8 – 2,0
BPK ₅ – koncentracija	mg O ₂ /l	500 – 2000
BPK ₅ /KPK	-	1,3 – 2,2
TKN – Kjeldahl	mg N/l	30 – 50
N – NO ₃	mg N/l	20 – 130
BPK ₅ /TKN	-	12 – 20
BPK ₅ /cel. dušik	-	3 – 14
P – celotni	mg P/l	10 – 100
lipofilne snovi	mg/l	20 – 250
usedljive snovi	ml/l	1 – 2
vrednost pH	-	9 – 10,5

3 ČIŠČENJE ODPADNE VODE

3.1 Predčiščenje

Postopek predčiščenja je prva stopnja čiščenja odpadne vode, kjer se izločijo vsi večji delci, ki se nahajajo v vodi (veje, kamenje, steklenice, obleke, koščki kovin itd.). Ti predmeti lahko povzročijo oviranje zbiralnega sistema, poškodbe črpalk, mašenje cevi, zmanjšujejo pa tudi volumen odpadne vode, ki teče v čistilno napravo. Vse naštetu lahko povzroči zmanjšanje učinka delovanja čistilne naprave in odtekanje neprečiščene odpadne vode v odvodnik. Posledice so lahko evtrofikacija odvodnika ali pa septične razmere v njem, ki vodijo v odmiranje biotsko raznovrstnih organizmov.

Postopek predčiščenja poteka s pomočjo grabelj (fine in grobe grablje), sit ter peskolova in ga v tem kontekstu razumemo kot mehanski postopek za odstranjevanje delcev, namenjen preprečevanju motenj pri nadaljnjih stopnjah čiščenja.

3.2 Primarno čiščenje

Z izrazom primarno čiščenje označujemo fizikalne in kemijske postopke čiščenja vode, ki zagotavljajo takšno kakovost, da se lahko nadaljuje čiščenje z biološkimi postopki, ali pa teh zaradi dosežene kakovosti sploh ne potrebujemo. Ti postopki so običajno fizikalni, včasih pa tudi kemijski. Odpadna voda na dotoku na biološko čistilno napravo (komunalno čistilno napravo ali skupno čistilno napravo) mora ustrezati kriterijem za izpust v javno kanalizacijo. Ker posamezni onesnaževalci teh kriterijev pogosto ne dosegajo, morajo zagotoviti ustrezno stopnjo predhodnega čiščenja pred izpustom svojih odpadnih voda v javno kanalizacijo. Pri industrijskih onesnaževalcih zajema primarno čiščenje:

- nevtralizacijo,
- odstranjevanje masti in olj (lovilci olj, flotacija, cepljenje oljnih emulzij, membranska filtracija itd.),

- odstranjevanje kovinskih ionov (obarjanje, ionska izmenjava itd.),
- odstranjevanje trdnih delcev (sedimentacija, filtracija itd.),
- odstranjevanje problematičnih organskih snovi (AOX, BTX itd.).

Tudi za komunalne odpadne vode je potrebno zagotoviti ustrezno primarno čiščenje, preden vode dosežejo biološko stopnjo čiščenja. Primarno čiščenje komunalne in meteorne odpadne vode se običajno zagotovi delno v samem kanalizacijskem omrežju, dokončno pa na dotoku v komunalno čistilno napravo. Pri komunalni odpadni vodi se s primarnim čiščenjem odstranjujejo:

- različni delci s pomočjo sedimentacije (peskolovi itd.),
- maščobe s pomočjo oljnih lovilcev,
- grobi plavajoči delci s pomočjo mrež.

S primarnim čiščenjem odstranjujemo iz odpadne vode lahko usedljive in plavajoče snovi. To storimo s pomočjo usedalnikov, tj. bazenov, skozi katere se zmanjša hitrost toka odpadne vode. Suspendirane snovi, ki se v odvisnosti od njihove velikosti usedajo z različno hitrostjo, s pomočjo strgal in zbiralnih verig na dnu usedalnika odstranimo. Maščobe, olja in masti, ki spadajo v kategorijo plavajočih snovi, so zelo nezaželene, saj preprečujejo nadaljnje procese v čistilni napravi in poslabšajo tudi videz iztoka. Odstranjujemo jih s pomočjo posebne naprave za posnemanje šele, ko splavajo na površino.

Na stopnji predčiščenja in primarnega čiščenja se lahko razgradi do 30 % organskih snovi, prisotnih v odpadni vodi (Urbanič, Toman, 2003).

3.3 Biološko (sekundarno) čiščenje

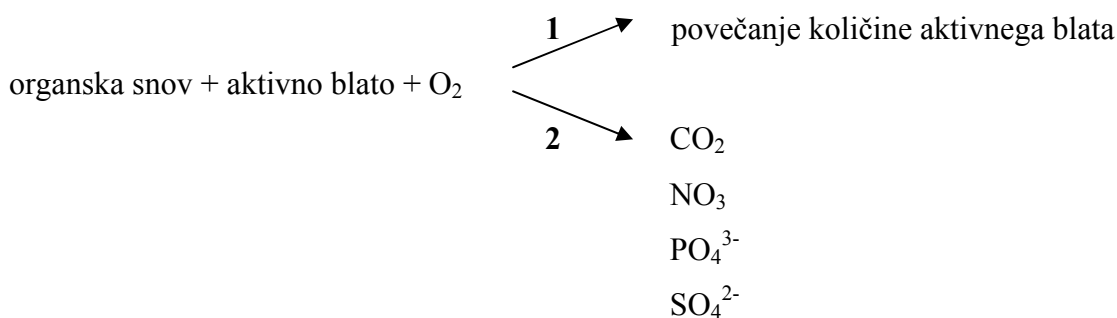
Biološki način čiščenja odpadnih voda vključuje predvsem biokemijske procese razgradnje in temelji na življenjski dejavnosti mikroorganizmov, ki razgrajujejo organske snovi v raztopljenem in koloidnem stanju. Pretvorba snovi se dogaja s pomočjo biološke rasti, hidrolize in razpada. V postopkih biološke rasti bakterije izkoriščajo hranilne snovi z

namenom, da bi se razmnoževale. Bakterijski mikroorganizmi naj bi bili za rast sposobni uporabljati samo majhne in enostavne molekule, kot so glukoza, očetna kislina, etanol, metanol, propionska kislina, amonij, nitrit (Panjan, 2001). V procesu hidrolize se večje molekule pretvorijo v manjše, neposredno razgradljive molekule. Procesi hidrolize so v primerjavi s procesi biološke rasti počasni in lahko predstavljajo omejitev v procesih biološkega čiščenja odpadne vode. V procesu razpada oziroma odmrtja živečih bakterij ne pride do spremembe količine snovi v napravi z biološkim čiščenjem, ampak to pomeni, da se v sistem dodaja počasni razgradljiv material, ki hidrolizira in posledično povzroča novo rast in porabo kisika ali nitrata (Henze in sod. v Panjan, 2001). Cilj postopkov biološkega čiščenja je torej zmanjšati količino vseh organskih snovi v vodi. Glede na to, ali mikroorganizmi razgrajujejo snovi v prisotnosti ali odsotnosti kisika, razlikujemo:

- aerobno biološko čiščenje,
- anaerobno biološko čiščenje.

3.3.1 Aerobno biološko čiščenje

V postopkih aerobnega biološkega čiščenja mikroorganizmi biokemijsko razgradijo organske snovi v nizkomolekularne organske snovi in jih v končni fazi oksidirajo do anorganskih. Biološko čiščenje s kulturo mikroorganizmov, ki jo imenujemo aktivno blato, je v biološki čistilni napravi umetno povečano samočiščenje, ki dejansko poteka v naravi. Mikroorganizmi, ki so v naravnih vodotokih, so prisotni tudi pri biološkem čiščenju, le da je njihova koncentracija mnogo večja. V naravi je biološko samočiščenje popolno, saj sodelujejo vse skupine organizmov: primarni producenti, porabniki in razgrajevalci. Biološko čiščenje v čistilnih napravah pa zaradi odsotnosti primarnih producentov ni popolno. Očiščena voda je razbremenjena le organskih snovi, vsebuje pa nutriente anorganskega izvora. Nutrienti se lahko odstranijo s postopki denitrifikacije v terciarni stopnji čiščenja.



1 – biosinteza

2 – biodegradacija

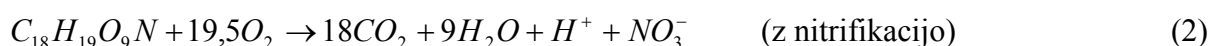
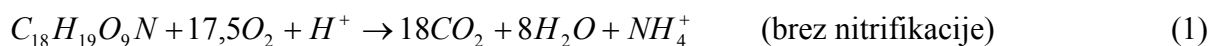
Slika 2: Odstranitev organske snovi v procesu aktivnega blata

3.3.1.1 Aerobne reakcije pretvorbe organske snovi

Organska snov, ki vstopi v aerobni proces biološke ČN, je izpostavljena:

- oksidaciji do CO₂ ali do različnih hranil v obliki spojin N, P in S,
- asimilaciji v biomaso,
- nespremenjenemu prehodu, če je snov inertna,
- pretvorbi v drugo organsko snov.

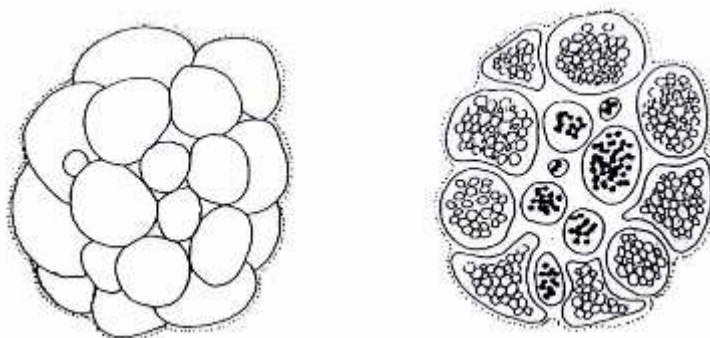
Pri biološkem čiščenju odpadnih voda nas zanima količina organske snovi, ki naj bi se odstranila. V primerih industrijskih odpadnih voda nas zanima še odstranitev specifičnih snovi (cianidi, fenoli, klorirani ogljikovodiki) v aerobnem procesu čiščenja. Če mikroorganizmi oksidirajo organsko snov (C₁₈H₁₉O₉N) do CO₂, lahko potek zapišemo s spodnjima enačbama (Panjan, 2001):



Iz zgornjih enačb lahko preračunamo, da mikrobiološka poraba kisika znaša 1,42 (proces brez nitrifikacije) in 1,59 kg O₂/kg organske snovi (proces z nitrifikacijo).

3.3.1.2 Aktivno blato

Procesi biološkega čiščenja potekajo s pomočjo mikroorganizmov, naseljenih v aktivnem blatu. Osnovni del združbe aktivnega blata je kosem (slika 3), ki ga oblikujejo bakterijske populacije in poseljujejo organizmi spremljajoče združbe. Kosem je nepravilno kroglast ali razvejan, porozen in vsebuje kanale ter votla mesta, skozi katere se prenašata nutrient in kisik, ki sta pomembna za rast mikroorganizmov. Notranji sloj oziroma jedro kosma sestavljajo bakterije (izkosmičene bakterije), ki so sposobne tvoriti kosme, ter lipidi in beljakovine, ki jih proizvedejo bakterije, praživali in mnogoceličarji. V notranjosti kosmov najdemo tudi koloidne delce, težke kovine, olja in maščobe, ki se nahajajo v komunalnih in industrijskih odpadnih vodah. Vse te sestavine pripomorejo, da se s staranjem blata kosmi večajo. Zunanjo plast kosma predstavljajo aerobne populacije mikroorganizmov, mednje spadajo predvsem nitaste bakterije, glive in praživali (Kurbus, 2008). Velikost anaerobnega dela, ki je v večini jedro kosma, poseljenega s fakultativnimi anaerobnimi mikroorganizmi, je odvisna od velikosti kosma in prehajanja raztopljenega kisika v njegovo notranjost. Med kosmi se nahaja intersticijska tekočina, ki jo poseljujejo dispergirane bakterije, prosto plavajoči bičkarji, migetalkarji in nekateri mnogoceličarji (Urbanič, Toman, 2003).



Slika 3: Shematski prikaz flokule aktivnega blata

Bakterije in glive ob prisotnosti kisika povzročijo razgradnjo organskih snovi v anorganske snovi in novo biomaso ter pri tem rastejo, se razmnožujejo in tvorijo kosme. Produkti razgradnje so še razni plini, predvsem metan in ogljikov dioksid. Proces poteka tako, da organske molekule prodrejo skozi celično steno v citoplazmo, tam pa jih encimi razgradijo do osnovnih komponent. Snovi, ki se lahko dobro razgradijo pod vplivom aerobnih mikroorganizmov, so polisaharidi, beljakovine, maščobe, alkoholi, maščobne kisline, alkani,

alkeni, cikloalkani, nekateri aromati, izoalkani, halogenirani ogljikovodiki. Katere bakterije bodo v sistemu biološkega čiščenja prevladovali, je odvisno od substrata oziroma odpadne vode, ki jo dovajamo v sistem, razmer (aerobne, anoksične, anaerobne razmere), hitrosti rasti bakterij, sposobnosti usedanja blata in temperature.

V aerobnih razmerah ob prisotnosti kisika nastopi tudi proces nitrifikacije, ki ga izvedejo avtotrofne bakterije, kot so *Nitrosomonas* in *Nitrobacter*. Amoniak, prisoten v odpadni vodi, se oksidira do nitrita in nadalje v nitrat. Razkrojni produkti pri aerobnem čiščenju so anorganske snovi in nova biomasa. Za učinkovito izvedbo biološkega čiščenja mora biti zagotovljena zadostna količina raztopljenega kisika.

Razgrajevalci

Življenjsko združbo v biološki čistilni napravi lahko razdelimo na dve po delovanju različni skupini. To so razgrajevalci in porabniki. V prvo skupino spadajo predvsem bakterije in glive (pojavi se pri nizki vrednosti pH), ki opravljajo pri čiščenju neposredno vlogo, to je biokemijsko oksidacijo organskih snovi. V prezračevalni del čistilne naprave pridejo z odpadno vodo in se ob zadostni množini substrata in raztopljenega kisika hitro razmnožujejo. Poleg avtohtonih vodnih bakterij z manjšim številom različnih vrst se v biološki čistilni napravi nahajajo še zemeljske saprofitne bakterije, bakterije iz zraka, rastlin, živali in človeka. V suspenziji aktivnega blata so bakterijske celice proste (dispergirane), izkosmičene (flokulirane) in nitaste (filamentozne). Dispergirane bakterije v tekočini med kosmi imajo najugodnejše razmerje med površino in volumnom, zato je izmenjava snovi med zunanostjo in notranostjo celice najučinkovitejša. Zaradi majhne specifične teže povzročajo težave, ker se ne usedajo in skupaj z očiščeno vodo iztekajo iz čistilne naprave. Znano je, da imajo bakterije veliko adhezijsko sposobnost, in ravno v bioloških čistilnih napravah z aktivnim blatom je kosmičenje bakterij pogoj za uspešno čiščenje. Najpogosteje tvorijo zmetke kosmov bakterije vrste *Zoogloea ramigera*. Bolj kot je bakterijska združba kosma vrstno različna, večja je verjetnost, da se bodo specifične odpadne snovi razgradile. Raznolikost bakterijskih združb zagotavlja tudi hitrejšo prilagajanje na različne substrate v odpadni vodi. Značilen tip bakterij v odpadni vodi so tudi nitaste (filamentozne) bakterije, ki imajo veliko aktivno površino in so v biološki čistilni napravi nezaželene, saj povzročajo napihovanje

blata, ki skupaj z očiščeno vodo izteka iz čistilne naprave in tako zmanjšuje njen učinek. Značilen predstavnik teh vrst bakterij je *Sphaerotilus natans* (Toman, 1992).

Porabniki

Druga skupina življenjske združbe v biološki čistilni napravi, imenovana spremljajoča združba, so porabniki. Njihova vloga pri čiščenju je posredna, vendar kljub temu prispevajo do 30 % k zmanjšanju obremenitve čistilne naprave. Vključujejo se v raznovrstne prehranjevalne verige ter tako sodelujejo pri pretvorbi snovi. Sesalni sekundarni producenti predvsem drobno filtrirajo in s tem bistrijo efluent, prosto živeči pa požirajo nastalo biomaso in manjše organske delce. Najznačilnejše skupine so bičkarji (*Flagellata*), korenonožci (*Rhizopoda*), migetalkarji (*Ciliata*), kotačniki (*Rotatoria*), maloščetinci (*Oligochaeta*) in gliste (*Nematoda*). Najpomembnejši organizmi spremljajoče združbe so migetalkarji, ki odstranjujejo posamezne delce, in bakterije, ki so njihov najvažnejši del hrane. Delimo jih na prosto plavajoče bakteriovorne vrste, sesilne kolonijske in solitarne vrste, prosto gibljive plenilske vrste in suktorije. Poznavanje dinamike vrst je pomembno za kontrolo delovanja čistilnih naprav z aktivnim blatom. Kazalci dobrega blata so številni pritrjeni migetalkarji, tako kolonijski kot tudi solitarni s številnimi vrstami. Med mnogoceličarji (kotačniki, maloščetinci in gliste) so najštevilčnejši kotačniki, ki imajo podobno vlogo kot ena izmed vrst migetalkarjev, saj so predvsem konzumenti dispergiranih bakterij (Toman, 1992).

Primarna vloga organizmov spremljajoče združbe v procesu biološkega čiščenja je kontrola populacij dispergiranih bakterij. Kvaliteta iztoka in njegova bistrost sta v veliki meri odvisni od prisotnosti in koncentracije različnih vrst organizmov v biocenozii. Poznavanje teh organizmov ima praktičen pomen pri kontroli delovanja bioloških čistilnih naprav (Toman, 1992).

3.3.1.3 Dejavniki optimalnega delovanja aerobnega procesa

Vpihovanje kisika v aeracijski bazen ali reaktor je potrebno za predelavo organske snovi v mikrobiološko biomaso. Aeracija v splošnem opravlja dvojno funkcijo: oskrbuje aerobne mikroorganizme s kisikom in neprestano meša flokule aktivnega blata, s čimer zagotavlja primeren stik med njimi in odpadno vodo. Za ustrezno dejavnost mikroorganizmov je povprečna dnevna koncentracija raztopljenega kisika približno 2 do 3 mg/l. Koncentracija pod

1 mg/l povzroča tvorbo nitastih mikroorganizmov, kar povzroča slabo usedljivost blata. Vrednosti nad 3 mg/l raztopljenega kisika učinka čiščenja ne izboljšajo bistveno, saj lahko čezmerno vpihovanje zraka povzroča turbulenco in lahko zdrobi biološke kosme, to pa povzroči slabše usedanje blata in posledično povečanje suspendiranih snovi v iztoku. Obenem pa prekomerno prezračevanje povečuje tudi obratovalne stroške čistilne naprave (Panjan, 2001).

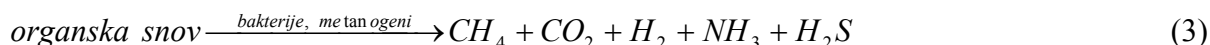
Pri nižanju stopnje kisika v odpadni vodi se število aktivnih aerobnih bakterij zmanjšuje, velikost flokul pa povečuje (Hanel v Bitton, 2005). Odvisno od koncentracije raztopljenega kisika se znotraj flokul pojavijo anoksična področja. Ta povsem izginejo, ko koncentracija raztopljenega kisika preseže 4 mg/l (Li in Bishop v Bitton, 2005). V aerobnih razmerah poteka tudi proces nitrifikacije, le da je koncentracija raztopljenega kisika nižja od potrebne za razgradnjo organskih snovi in zajema interval od 0,5 do 0,7 mg/l. Če se koncentracija raztopljenega kisika zniža pod 0,2 mg/l, se proces nitrifikacije ustavi in se prične denitrifikacija (Dart in Stretton v Bitton, 2005). Proces opravljajo heterotrofne bakterije, ki vežejo kisik iz nitrata. Denitrifikatorji ob prisotnosti organske snovi reducirajo nitrat v plinasti dušik (N_2), ki okolju ni nevaren.

Za optimalno delovanje mikroorganizmov je potrebna tudi primerna vrednost pH (med 8 in 9) in temperatura (20–23 °C). V reaktorju mora biti zadostna koncentracija biomase in optimalno razmerje hranil, izogniti pa se moramo strupenim snovem, ker lahko zavirajo biološko aktivnost mikroorganizmov (ATV-Handbuch, 2000).

Bakterije potrebujejo za izgradnjo celic poleg organskega ogljika še dušikove in fosforjeve spojine. V splošnem naj bi zadostovalo naslednje razmerje – C : N : P = 100 : 5 : 1. V komunalnih odpadnih vodah je fosforja in dušika dovolj, medtem ko pri nekaterih industrijskih odpadnih vodah primanjkuje in ju je potrebno dodajati. Ostali so še mikroelementi, ki so nujno potrebni: K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, S itd., ti so ponavadi prisotni v odpadni vodi v dovolj velikih količinah (ATV-Handbuch, 2000).

3.3.2 Anaerobno biološko čiščenje

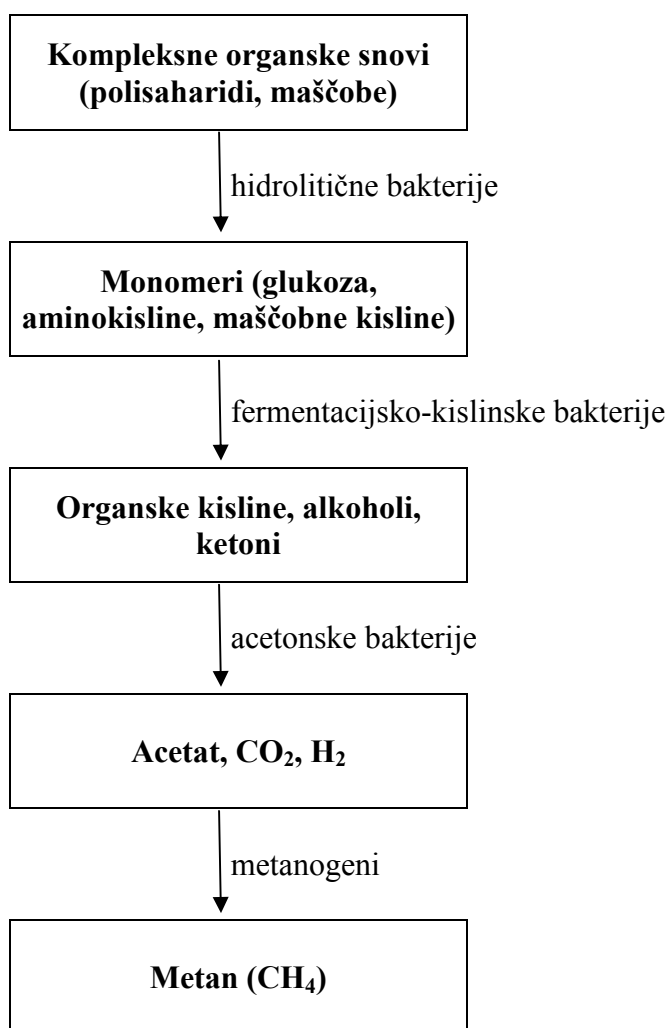
Anaerobni postopki, imenovani tudi anaerobna digestija oziroma anaerobno gnitje, potekajo v odsotnosti kisika in temeljijo na metanogenezi. Produkti biokemijske razgradnje so nizkomolekularne organske snovi, anorganske snovi, novo nastala biomasa in v končni fazi plini, imenovani tudi bioplina, med katerimi sta najpomembnejša CH_4 in H_2 .



Za vzdrževanje učinkovitega anaerobnega gnitja mora biti odpadna voda uravnovešena z nutrienti. Optimalno razmerje C : N : P za anaerobne bakterije je 700 : 5 : 1 (Lettinga, 1995 in Sahm, 1984 v Bitton, 2005), medtem ko Polprasert za optimalno proizvodnjo plina prisega na razmerju C : N, ki se giba od 25-30 : 1. Pri transformaciji kompleksnih, visoko molekularnih organskih produktov odpadne vode sodeluje skupek mikroorganizmov, med katerimi nedvomno prevladujejo metanogeni mikroorganizmi ter bakterije. V transformacijo kompleksnih materialov so vključene štiri skupine mikroorganizmov.

3.3.2.1 Proces mikrobiologije

Bakterije (**hidrolitične bakterije**) na prvi stopnji anaerobnega čiščenja v postopku hidrolize razgrajujejo kompleksne organske molekule (beljakovine, celuloza, lipidi) v topljive monomere (aminokislina, maščobne kisline, glukoza, glicerol), ki so na razpolago naslednji skupini bakterij. **Fermentacijsko-kislinske bakterije** nato pretvorijo sladkorje, aminokislina in maščobne kisline v organske kisline, alkohol, ketone, acetat, CO_2 in H_2 . Število in raznolikost naštetih produktov se spreminjata v odvisnosti od delujočega tipa bakterij in pogojev, v katerih delujejo (temperatura, pH, redoks-potencial). Nadaljnja razgradnja poteka s pomočjo **acetonskih bakterij**, ki pretvarjajo maščobne kisline in alkohole v produkte, kot so acetat, vodik (H_2) in ogljikov dioksid (CO_2), ki jih lahko uporabi skupina metanogenov. V tej fazi razgradnje je potrebno ohranjati nizko koncentracijo H_2 , saj se pri visokih vrednostih zmanjša tvorba acetata in prihaja do spremembe substrata v masleno kislino in etanol namesto v metan. Ločimo dve vrsti **metanogenih bakterij**. Ena vrsta bakterij uporablja za produkcijo metana (CH_4) vodik in ogljikov dioksid, druga pa za pretvorbo v končni produkt potrebuje acetat (CH_3COOH) (Bitton, 2005).



Slika 4: Metabolizem bakterijskih skupin vključenih v anaerobni proces gnitja



Prednost anaerobnega čiščenja pred aerobnimi čistilnimi napravami je predvsem v naslednjem:

- majhna produkcija biomase,
- aktivni mikrobi imajo skromne potrebe po hranilih,
- med procesi nastaja metan kot uporaben energent v bioplinu,

- aktivno blato je mogoče brez hranil ohraniti več mesecev.

Slabosti te metodologije so:

- daljši čas, potreben za optimalno obratovanje čistilne naprave, kot pri aerobnih čistilnih napravah,
- občutljivost mikrobov anaerobnih procesov na nekatere strupene snovi v odpadni vodi.

Anaerobni metanogeni postopki so se uveljavili kot sekundarni postopki stabilizacije blata z aerobnih čistilnih stopenj in kot primarni postopki čiščenja industrijskih odplak, predvsem z močnim organskih onesnaženjem (Urbanič, Toman, 2003).

Uspešnost čiščenja z aktivnim blatom je odvisna od štirih glavnih karakteristik biomase:

- sposobnost flokul, da adsorbirajo substrat,
- sposobnost asimilacije in oksidacije organskih snovi,
- sposobnost oksidacije dušikovih spojin,
- sposobnost dobre flokulacije za sedimentacijo aktivnega blata.

Podobno kot pri drugih postopkih je tudi pri biološkem čiščenju glavni cilj ohranitev kakovosti naravnih voda. Biološki postopki imajo posebno nalogo: odstraniti raztopljene biorazgradljive snovi ali pa izničiti njihovo hranljivost.

3.3.3 Vrste biološkega čiščenja

Z biološkimi postopki lahko čistimo le razgradljive odpadne vode, ki vsebujejo substrat. Ta predstavlja vir energije za pestro združbo razgrajevalcev, ki substrat biokemijsko oksidirajo do nizkomolekularnih organskih snovi in v končni fazi do anorganskih spojin. Zaradi posnemanja ciklusa naravnega biološkega samočiščenja, kot ga poznamo v vodotokih, lahko poimenujemo biološke čistilne naprave kot umetne vodne ekosisteme s specifično biocenozo, ki jo upravlja in vodi človek. Nosilci biološkega čiščenja so vodni mikroorganizmi, znani pod imenom aktivno blato oziroma aktivna biomasa, ki se v čistilnih napravah pojavlja v različnih oblikah (Toman, 1992).

Tehnično poznamo dva osnovna načina biološkega čiščenja odpadnih voda:

- biološko čiščenje s pritrjeno biomaso,
- biološko čiščenje z razpršeno biomaso.

3.3.3.1 Biološko čiščenje s pritrjeno biomaso

To je eden od starejših načinov čiščenja odpadnih voda, vendar pa je razvoj v zadnjem času ravno na tem področju zelo izrazit. Pri takšnem tipu čistilne naprave se izvaja čiščenje s pomočjo nosilca, ki ga predstavljajo drobci materiala ali profiliran umetni material z veliko površino in poroznostjo (aktivno oglje, premog, kremenčev pesek, steklo, keramika ali plastika različnih oblik), na katerega se pritrdi biomasa in tvori biofilm. Biofilm sestavljajo sprva pretežno bakterije, nato se v njem naselijo praživali, nazadnje pa še mnogoceličarji. Odpadna voda priteka v reaktor in teče prek nosilca z biofilmom, pri tem kisik in substrat prehajata v biomaso in tam poteka biološko čiščenje. Naloga nosilca je doseči čim boljši stik med odpadno vodo in mikroorganizmi, kar dosežemo z optimalno obliko, velikostjo in poroznostjo nosilca. Sistemi s pritrjeno biomaso so precejalniki, rotirajoči biološki kontaktorji in različni biofiltri.

3.3.3.2 Biološko čiščenje z razpršeno biomaso

Pri postopku čiščenja z razpršeno biomaso se uporabljajo v vodi prosto plavajoči mikroorganizmi, ki se združujejo v kosmičaste tvorbe. Ti naraščajoči kosmi se nahajajo v umetno prezračevanem čistilnem bazenu in se nato v usedalniku ločijo od očiščene vode. Del teh kosmov pa se lahko vrača nazaj in uporablja za vzdrževanje konstantne koncentracije aktivnega blata (recikel blata). Substrat in kisik prehajata v biomaso po principu difuzije, ki pa pri določeni velikosti kosma ni več učinkovit, saj je poraba kisika v njem večja od dovedenega in takrat zavladajo anaerobni pogoji.

Med sisteme z razpršeno biomaso spadajo konvencionalni sistemi z aktivnim blatom, ki so lahko različnih izvedb (s popolnim premešanjem, s kontaktno stabilizacijo, s postopnim dovajanjem in procesi s čepastim tokom) in šaržni biološki reaktor, ki ga sestavlja en bazen oziroma reaktor, v katerem potekajo vse faze biološkega čiščenja.

Za sisteme z razpršeno biomaso je zelo pomembno, da se aktivno blato hitro useda. Takšno stanje dosežemo pri optimalnih razmerah delovanja, kjer se mikroorganizmi med seboj združijo v večje kosme, kar povzroči hitrejše usedanje. Tako preprečimo uhajanje blata iz reaktorja. Če želimo doseči boljšo kakovost čiščene vode, lahko za biološkim čiščenjem sledi še obdelava vode z membransko tehnologijo, s pomočjo katere odstranimo iz odpadne vode še preostanek suspendiranih snovi, ki so ušle iz reaktorja. Membranska tehnologija temelji na filtraciji, kamor spadajo mikrofiltracija, ultrafiltracija in reverzna osmoza (ATV-Handbuch, 2000).

V praksi se večina čistilnih naprav približuje enemu ali drugemu načinu čiščenja odpadnih voda. Mogoča je prilagoditev enega ali drugega postopka čiščenja, lahko pa ju tudi kombiniramo.

3.3.4 Vrste bioloških procesov

3.3.4.1 Kontinuirni sistem

Kontinuirni sistem je prevladujoč sistem čiščenja odpadnih voda, ki poteka v neprekinjenem zaporedju določenih faz. Izgradnja naprave je dražja in zapletenejša od polšaržnih ter šaržnih sistemov. Slaba stran kontinuirnih procesov je predvsem v slabi prilagoditvi spremembam lastnosti odpadnih voda, saj so takšne naprave dimenzionirane za določene količine in lastnosti odpadnih voda, zato večje spremembe niso mogoče oziroma so težje sprejemljive.

3.3.4.2 Diskontinuirni oziroma šaržni sistem

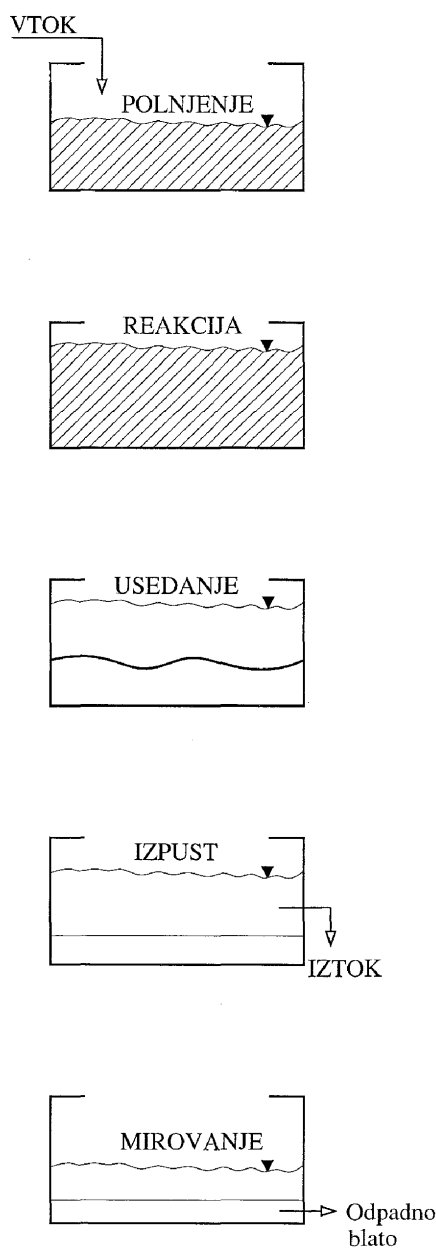
Šaržni biološki reaktor (Sequencing Batch Reactor) se je prvič pojavil okoli leta 1914 pod imenom "napolni in izprazni" (fill-and-draw), toda intenzivneje so ga pričeli razvijati šele po letu 1970. Od takrat dalje se uspešno uporablja za čiščenje komunalnih in industrijskih odpadnih voda v manjših in srednje velikih obratih, kot so mlekarne, papirnice, strojarne in prašičje farme (Kurbus, 2008). Spada med napredne postopke biološkega čiščenja odpadnih voda in se uporablja za odstranjevanje ogljikovih, dušikovih in fosforjevih spojin iz odpadne vode.

V primerjavi s kontinuirnim čiščenjem odpadnih voda je SBR razmeroma preprost, ker vse čiščenje poteka v enem reaktorju. Procesi v šaržnem bioreaktorju, s katerimi odstranjujemo organske snovi ter dušikove in fosforjeve spojine, zahtevajo stalen nadzor in avtomatizacijo procesa, pri čemer so obratovalni stroški nižji od tistih pri običajnih kontinuirnih sistemih. Pri upravljanju s sistemom SBR lahko spreminjamo pretoke in obremenitve, ni posebej ločenih sistemov za usedanje in vračanje blata, obenem pa imamo kontroliran iztok. Delovanje reaktorja je zelo prilagodljivo in ga lahko uravnavamo glede na stanje aktivnega blata in spremenljive vhodne obremenitve. S spreminjanjem poteka polnjenja reaktorja in zaporedjem reakcijskih faz lahko optimiziramo proces delovanja ter ga prilagodimo trenutnemu stanju. Delovanje reaktorja spremljamo z merjenjem parametrov, kot so: temperatura, vrednost pH, ORP (oksidacijsko-redukcijski potencial), koncentracija raztopljenega kisika in motnost. Te parametre merimo z ustreznimi sondami, po navadi povezanimi z računalniškim programom, ki avtomatsko beleži podatke v določenih časovnih intervalih.

Glavne prednosti, ki jih navajajo za to tehnologijo, so:

- široka uporabnost: od precej koncentriranih do razredčenih odpadnih voda,
- zmožnost primarnega in sekundarnega čiščenja ter biooksidacije v enem samem reaktorju,
- možnost natančnega nadziranja sistema, kar je pomembno za optimiziranje procesa,
- dopušča razne prilagoditve, ki omogočajo zadovoljivo odstranjevanje dušikovih in fosforjevih spojin pri aerobnih, anaerobnih in anoksičnih pogojih,
- zaradi svoje preprostosti zagotavlja nizke investicijske in obratovalne stroške.

Delovanje šaržnega biološkega reaktorja je sestavljeno iz petih delovnih faz, ki sestavljajo delovni cikel reaktorja.



A) POLNJENJE

Reaktor napolnimo z odpadno vodo do vnaprej določene največje prostornine. Polnimo ob mešanju, ki zagotovi, da se odpadna voda enakomerno porazdeli v reaktorju in omogoči hiter stik z mikroorganizmi. Če med polnjenjem ni prezračevanja, nastopijo v reaktorju anoksični ali anaerobni pogoji.

B) REAKCIJA

V fazi reakcije začnejo mikroorganizmi presnavljati organske snovi in jih pretvarjati v anorganske snovi, novo biomaso in energijo. Reakcija lahko potече pri anaerobnih (brez prisotnosti prostega ali raztopljenega kisika), anoksičnih (brez prisotnosti prostega kisika, prisoten samo kisik v vezani obliki) in aerobnih razmerah (prisotnost prostega in raztopljenega kisika). Če je prisoten kisik, se v reaktorju izvede proces nitrifikacije, v nasprotnem primeru (anaerobne razmere) pa proces denitrifikacije. Med fazo reakcije se izvaja mešanje, ki zagotovi boljši stik mikroorganizmov z odpadno vodo, sprijemanje bakterij ter tvorbo kosmov.

Slika: Delovni cikel šaržnega biološkega reaktorja (Roš, 2001, str. 89)

C) USEDANJE

V tej fazi delovnega cikla se loči aktivno blato od čiščene odpadne vode. Za sisteme SBR je pomembno, da se blato hitro useda, za kar se morajo tvoriti veliki in težki kosmi. Problem se lahko pojavi, če predhodno iz reaktorja ne izločimo maščob, olj in masti, ki se povežejo s kosmi, povzročijo naplavljanje blata in njegovo izhajanje na iztoku iz reaktorja.

D) PRAZNJENJE

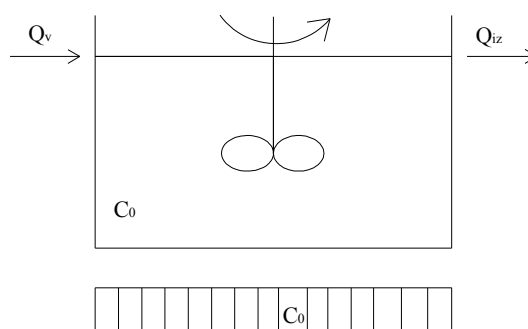
Ko se blato usede, nad usedenim blatom izteka čiščena odpadna voda. Takšna voda mora na iztoku ustrezati zakonsko predpisanim vrednostim, preden jo odvedemo v kanalizacijski sistem ali v odvodnik.

E) MIROVANJE

To je čas po iztoku čiščene vode iz reaktorja in pred ponovnim polnjenjem.

Čas celotnega ciklusa je čas od začetka polnjenja pa do konca mirovanja v reaktorju.

3.3.4.3 Enačbe masne bilance in reakcije v popolnoma premešanem reaktorju



Slika 5: Popolnoma premešan reaktor

Kontinuirni potek reakcije

Splošna enačba kontinuirnega poteka reakcije je:

$$\pm V \cdot \frac{dC}{dt} = V \cdot r_i - Q \cdot C_i - Q \cdot C_0 \quad (6)$$

Razlaga simbolov:

V	prostornina reaktorja [m ³]
C	koncentracija reaktanta [mg/l]
t	čas [s]

r_i	hitrost reakcije [$\text{mg}/\text{m}^3 \cdot \text{dan}$]
Q	pretok [m^3/s]
C_i	koncentracija na iztoku [mg/l]
C_0	začetna koncentracija v času $t = 0$ [mg/l]

Enačba lahko poteka v stacionarnem ali nestacionarnem režimu. Stacionarni režimi veljajo večinoma v industrijskih reaktorjih, medtem ko v naravi in na čistilnih napravah za odpadno vodo praviloma velja nestacionarni režim, ki pa ga v odvisnosti od natančnosti in narave procesa lahko poenostavljeno obravnavamo kot stacionarni režim.

Rešitev enačbe za kontinuirni reaktor pri zadrževalnem času t_d je:

$$t_d = \Theta = \frac{V}{Q} \quad (7)$$

$$\frac{C_{kont}}{C_0} = \frac{1}{1 + \Theta \cdot K} \quad (8)$$

Diskontinuirni potek reakcije

$$V \cdot r_i = -V \cdot \frac{dC}{dt} \quad (9)$$

$$r_i = -\frac{dC}{dt} \quad (10)$$

Rešitev te enačbe je:

$$\frac{C_{disk}}{C_0} = e^{-K \cdot t} \quad (11)$$

3.4 Terciarno čiščenje odpadne vode

Ker hranila v odpadni vodi povzročajo procese evtrofikacije v odvodniku, moramo v sklopu terciarnega čiščenja odstraniti dušikove in fosforjeve spojine, ki do tega privedejo.

3.4.1 Biološko odstranjevanje dušikovih spojin

Dušik je eden najvažnejših elementov biosfere in bistvena komponenta živih organizmov. Odločilno vlogo ima v vseh celičnih jedrih, v nukleinskih kislinah ter aminokislinah in beljakovinah v celici. Skupaj z ogljikom in fosforjem predstavlja glavne nutiente, ki vplivajo na primarno produkcijo v vodnih ekosistemih. Za razliko od fosforja nastopa v več anorganskih spojinah, ki so različno uporabne za organizme. V tem tiči eden od vzrokov, da je dušik v okolju redko omejujoča hranilna snov. V vodnih ekosistemih, tekočih in stoječih, lahko večina primarnih producentov izkorišča dušik, ko je ta v raztopini, predvsem v obliki nitratov. Redki – pa vendarle zelo pomembni – so tudi primeri izrabe atmosferskega dušika, ki ga lahko vežejo nekatere bakterije in modrozelenke alge, imenovane tudi cianobakterije. Mikrobne populacije na drugem koncu dušikovega cikla izkoriščajo dušik, ki je vezan v beljakovinah. V pitnih in površinskih vodah je dušik eden od kazalcev sanitarnega onesnaženja in je seveda nezaželen. Sveže sanitarno onesnaženje predstavlja večjo nevarnost za okužbe s povzročitelji bolezni. Povišane vrednosti nitrita in nitrata povzročajo bolezen metemoglobinemijo. Nitriti namreč povzročajo spremembo hemoglobina v methemoglobin in nitrohemoglobin, ki ne prenašata kisika v krvi. Metemoglobinemija nastopa tudi ob povišani koncentraciji nitratov, ker bakterije v prebavilih spreminjajo nitrat v nitrit. Ti v kislem mediju ali ob segrevanju reagirajo z amini do nitrozaminov. Te spojine so kancerogene in mutagene. Glede na navedene pogoje nastajanja lahko nastajajo tudi v človeškem želodcu. Prisotnost dušikovih spojin v vodi je eden največjih in najbolj razširjenih problemov ekologov v razvitih državah. V preteklih letih so ugotovili jasno povezavo med emisijo dušika v vode in povečano rastjo alg. To je bil še dodaten razlog za zmanjševanje dušikovih spojin v vodah. Redukcija dušika se lahko izvede s procesoma nitrifikacije in denitrifikacije, ki potekata v bioloških procesih.

Za odstranjevanje dušika iz vode so primerni še fizikalno-kemijski procesi, ki se uporabljajo pri odpadnih vodah z zelo visokimi vrednostmi organskega dušikovega onesnaženja in imajo določene prednosti pred biološkimi procesi.

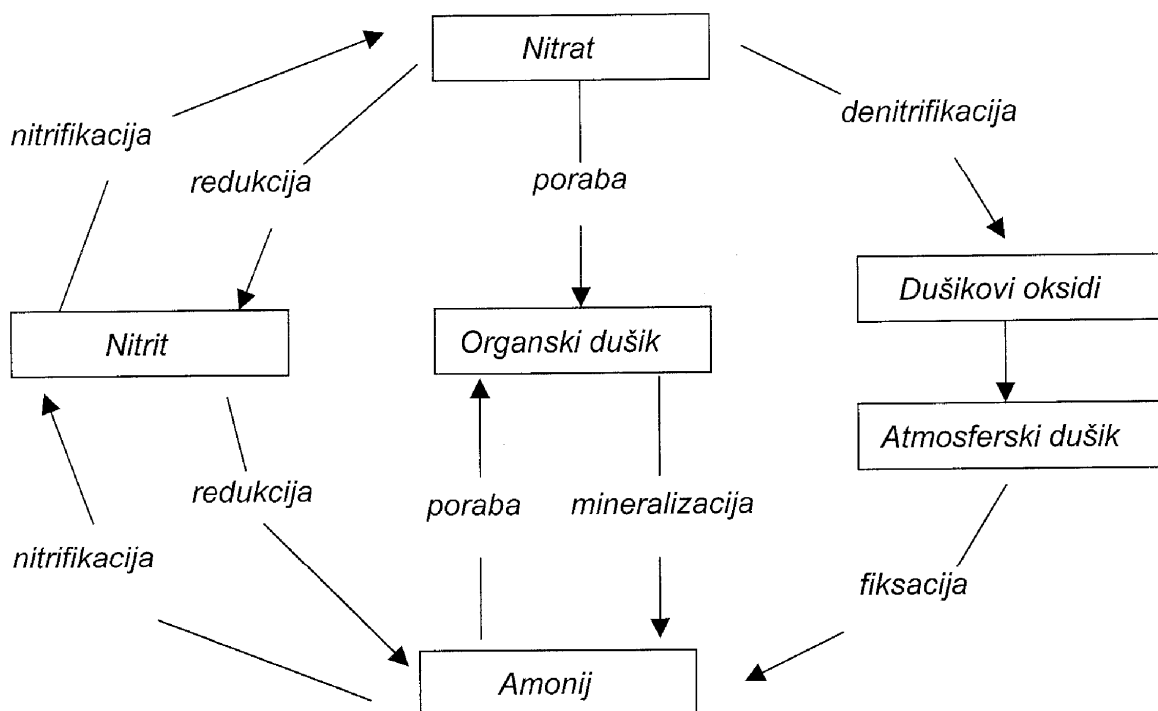
3.4.1.1 Posamezne oblike dušika v vodi

Dušik je lahko v vodi prisoten v naslednjih oblikah:

- **CELOTNI DUŠIK** obsega vse vrste dušikovih spojin (organski dušik, amonijev dušik, nitritni in nitratni dušik).
- **KJELDAHLOV DUŠIK (N-Kj)** je vsota organskega in amonijevega dušika.
- **AMONIJEV DUŠIK (NH_4^+ -N)** je dušik, ki se pojavlja v obliki amonijevega iona in v obliki prostega amoniaka. Razmerje med obema oblikama je odvisno od vrednosti pH.
- **NITRITNI DUŠIK (NO_2^- -N)** je v obliki nitritnih ionov in ga je mogoče pri določenih pogojih oksidirati v nitratno obliko ali pa reducirati v elementarni dušik.
- **NITRATNI DUŠIK (NO_3^- -N)** je v obliki nitratnih ionov, ki so najvišja oksidacijska oblika dušika. Pri določenih pogojih ga je mogoče reducirati do elementarnega dušika.
- **ELEMENTARNI DUŠIK (N_2)** se pojavlja v vodi v raztopljeni obliki. Je končna reducirana oblika dušika. Za biološke procese je nevtralen, zato praktično nima škodljivega vpliva na vodne organizme.

Mogoče so pretvorbe ene oblike dušika v drugo, največkrat s pomočjo mikroorganizmov. Tako poznamo v bioloških procesih dušikov cikel. Organski (beljakovinski) dušik se s pomočjo bakterij prevede v amonij, ta pa se pri aerobnih pogojih postopoma oksidira v nitrit in nitrat. Dušikove spojine vstopajo v vodno okolje s točkovnim onesnaženjem (industrijske in komunalne odpadne odplake), z razpršenim onesnaženjem (spiranje kmetijskih površin), s padavinami in iz atmosfere. Znano je, da je dotok dušika z industrijskimi in komunalnimi odplakami v naravno okolje majhen, medtem ko po tej poti pride kar 90 % vsega fosforja. Dodaten vnos dušika v vode predstavlja njegova fiksacija iz atmosfere, obenem pa se dušik kot plin iz vodnega okolja sprošča v procesih denitrifikacije (Bitton, 2005).

Dušikov cikel, ki je važen za biosfero, je biokemičen mikroben proces, saj različne vrste bakterij oksidirajo ali reducirajo dušikove spojine. Oksidacija in redukcija sta v neposredni povezavi s fotosintetsko aktivnostjo zelenih rastlin oziroma primarnih producentov v vodah ter njihovo presnovo. Vloga živali v teh procesih je posredna in manj pomembna. Prav zaradi omenjenih dejstev spremljamo vlogo dušikovih spojin v vodnih ekosistemih v prvi vrsti v povezavi z mikrobnimi in rastlinskimi populacijami. Obenem pa je dušikov cikel dober primer kompleksnosti in hkrati ranljivosti narave.



Slika 6: Dušikov cikel v bioloških procesih

Biološko odstranjevanje dušikovih spojin poteka v različnih pogojih:

- aerobni pogoji,
- anoksični pogoji,
- anaerobni pogoji.

Aerobni pogoji

O aerobnih pogojih govorimo takrat, ko je v sistemu prisoten raztopljen kisik. Koncentracija raztopljenega kisika je odvisna od temperature, vnosa kisika (intenzivnosti prezračevanja), množine prisotnih mikroorganizmov itd. Običajno je v prezračevalnih bazenih nad 1 mg/l raztopljenega kisika. V aerobnih pogojih lahko odstranjujemo iz odpadne vode razgradljive organske spojine. Istočasno pa poteka v sistemu pretvorba organskega dušika naprej v amonijevo obliko, nato pa oksidacija amonijevega iona v nitrit in nato v nitrat, le da proces nitrifikacije poteka optimalno pri vrednostih raztopljenega kisika, nižjih od 1 mg/l.

Anoksični pogoji

Do anoksičnih pogojev v čistilni napravi pride takrat, ko sistem z biomaso prenehamo prezračevati. Prisotni raztopljeni kisik se porabi zaradi lastnega dihanja mikroorganizmov, nato pa začnejo nekatere bakterije porabljati kisik iz nitrata in nitrita. Pri takšnih pogojih se iz sistema odstranjujejo oksidirane dušikove spojine v postopku denitrifikacije. Anoksični pogoji so pogoji brez raztopljenega kisika in z vsebnostjo nitritov in nitratov.

Anaerobni pogoji

Če v sistemu dalj časa ni raztopljenega kisika, začnejo delovati anaerobne bakterije, ki najprej predelajo kompleksnejše organske spojine v nižje maščobne kisline, te pa v metan (bioplin) in stranske produkte. V sistemu sodelujeta tudi dušik in žveplo. Pri biološkem čiščenju odpadnih voda se uporabljajo anaerobni pogoji predvsem za razgradnjo organskih spojin, kjer kot stranski produkt nastaja bioplin, ali pa za anaerobno stabilizacijo blata.

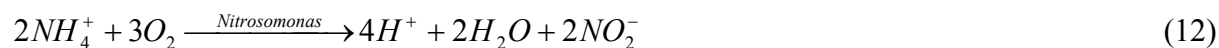
3.4.1.2 Procesi odstranjevanja dušikovih spojin

Biološko odstranjevanje dušikovih spojin se izvaja v dvostopenjskih procesih. Prva stopnja je nitrifikacija, v kateri se oksidira amonij prek nitrita v nitrat, druga stopnja pa je denitrifikacija, v kateri prihaja do redukcije nitrata v elementarni dušik.

I) Nitrifikacija

Nitrifikacija je dvostopenjska biokemijska reakcija, pri kateri se amonijevi ioni s pomočjo nitrificirajočih bakterij rodu *Nitrosomonas* in *Nitrobacter* prevedejo v nitrit in nato v nitrat po naslednjih enačbah:

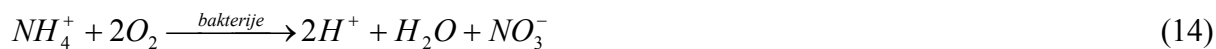
I. stopnja:



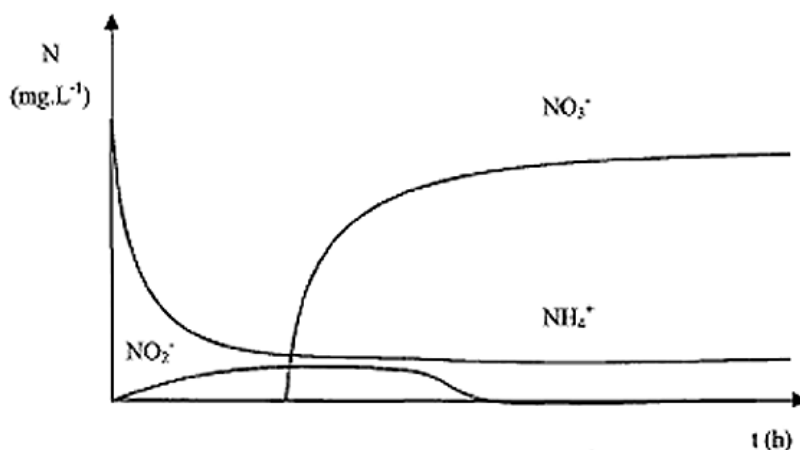
II. stopnja:



Celotno reakcijo tako zapišemo:



Nitrifikacija je zelo občutljiva reakcija, njena hitrost pa je odvisna od raznih dejavnikov. Najpomembnejši so: raztopljen kisik, pH, temperatura in inhibitorji.



Slika: Spreminjanje koncentracije dušikovih spojin pri procesu nitrifikacije (Kurbus, 2008, str. 22)

Na začetku nitrifikacije se začne zaradi prve stopnje nitrifikacije, tj. pretvorbe amonija v nitrit, zmanjševati koncentracija amoniaka. Na račun tega se poveča koncentracija nitrita. V naslednji fazi se prične druga stopnja, pretvorba nitrita v nitrat, zato je opazno povečanje koncentracije nitrata, ki se do konca nitrifikacije povišuje, in zmanjšanje vrednosti koncentracije nitrita.

a) Mikroorganizmi in vplivi na delovanje procesa nitrifikacije

Bakterije so nosilci posameznih stopenj nitrifikacije. *Nitrosomonas* oksidira amonijev dušik v nitritnega, *Nitrobacter* pa oksidira nitritni dušik v nitratnega. Nitrifikatorji so kemolitotrofne bakterije, ki svojo potrebo po ogljiku zadovoljujejo s CO_2 oz. HCO_3^- . Glede na vir ogljika so torej nitrifikatorji avtotrofne bakterije, ki se hranijo z amoniakom in v vodi raztopljenim CO_2 , s pomočjo katerega izgrajujejo nove celične substance. Nitrifikacija je dokaj problematičen proces, ker je rast mikroorganizmov zelo počasna. Pod normalnimi pogoji je generacijski čas

nitrificirajočih bakterij okrog 15 ur, medtem ko je ta pri heterotrofnih mikroorganizmih 20 do 40 minut. Zato je jasno, da nitrifikacija poteka ustrezno počasneje. Če pogoji niso optimalni, npr. nizke zimske temperature, je proces še bolj problematičen. Ravno zaradi počasnejše rasti se lahko nitrifikatorji uveljavijo le pri starejšem aktivnem blatu. Ker pa je starost aktivnega blata odvisna od BPK, iz tega sledi, da so nitrifikatorji odvisni od obremenitve aktivnega blata. Nitrifikacija je torej proces, na katerega vplivajo mnogi dejavniki, kot npr. temperatura, pH, raztopljeni kisik, zahtevani zadrževalni čas blata in razmerje organske snovi proti dušiku (C : N) (Bitton, 2005).

Vpliv temperature in pH

Ker je nitrifikacija biokemijska reakcija, v kateri sodelujejo bakterije, je logično, da je zelo odvisna od temperature, saj ima vsak mikroorganizem svoj temperaturni minimum, optimum in maksimum. *Nitrosomonas* je mezofilna bakterija s širokim temperaturnim razponom (od 1 ° C do 37 ° C) in optimalno rastjo pri nevtralnem pH. *Nitrobacter* je precej manj odporen na nizke temperature in še manj na visok pH. Procesi nitrifikacije potekajo v temperaturnem območju od 4 ° C do 45 ° C s temperaturnim optimumom od 25 ° C do 35 ° C za *Nitrosomonas* in okoli 35 ° C za *Nitrobacter*. Optimalni pH za nitrifikacijo se giblje od 6 do 7,5 (Bitton, 2005).

Vpliv raztopljenega kisika

O vplivu kisika na nitrifikacijo so mnenja deljena. Različni strokovnjaki menijo, da zahteva nitrifikacija višjo vsebnost kisika, kot je potrebna za razgradnjo ogljikovih spojin. Wuhrmann in Downing sta iz raziskav sklepala, da vsebnost kisika nad 1 mg/l nima več nobenega vpliva na nitrifikacijo. Za varnost pa naj bi bila vsebnost raztopljenega kisika vsaj 2 mg/l, še posebej, če je temperatura nižja in starost aktivnega blata minimalna. Vsekakor pa je nujno, da vsebnost raztopljenega kisika ne pade pod 1 mg/l, saj se lahko v sistemu čezmerno razmnožijo nitaste bakterije, ki povzročijo napihovanje aktivnega blata in posledično njegovo slabše posedanje.

Ostali vplivi

Iz reakcije (14) se vidi, da oksidacijo dušikovih spojin spremlja tvorba vodikovih ionov. Ti ioni lahko reagirajo po spodnji enačbi s hidrogenkarbonatnimi ioni, pri čemer dobimo CO₂ in vodo.



Pri nekaterih vrstah odpadnih voda, ki imajo visoko izhodno koncentracijo amoniaka (klavnice, predelovalnice mesa ...), lahko pride do zaviranja bakterij rodu *Nitrobacter*, zaradi česar pride do povečane koncentracije nitrita. Zato za zelo visoke koncentracije NH₄⁺ zadostuje zelo staro aktivno blato in konstanten pH od 7 do 7,2 (z dodatkom NaHCO₃). Inhibitorji nitrifikacijskega procesa so nizka temperatura, nizka vrednost pH ter nizka koncentracija prostega amoniaka. Prisotnost strupenih snovi, kot so težke kovine, cianid, fenol, acetilen, kalijev klorid, pa lahko celo ustavi proces (Bitton, 2005).

II) Denitrifikacija

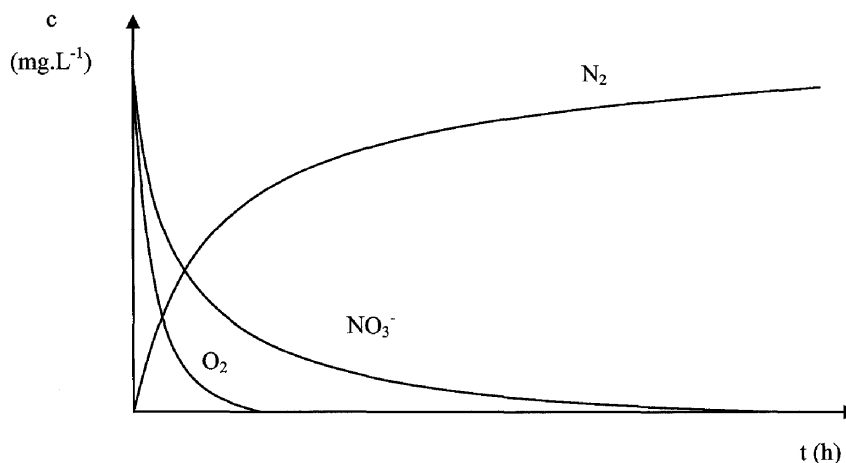
Proces denitrifikacije temelji na pretvorbi oziroma redukciji nitratnega dušika v elementarni dušik, ki za okolje ni škodljiv. V vodnih ekosistemih se nitrat reducira na dva načina: asimilacijsko in disimilacijsko. V procesu asimilacijske redukcije sodelujejo alge in višje rastline, ki reducirajo nitrat v amonij in ga nato uporabijo za sintezo celic. Disimilacijsko redukcijo ali denitrifikacijo izvajajo heterotrofne bakterije (denitrifikatorji), ki ob pomanjkanju raztopljenega kisika porabljajo vezan kisik iz nitrata, kot donor elektronov pa potrebujejo organski vir ogljika, npr. metanol, etanol, glukozo ali acetat. Sam proces poteka v anoksičnih razmerah, kjer mora biti koncentracija raztopljenega kisika nižja od 0,5 mg/l.



S procesom denitrifikacije lahko:

- odstranimo nad 90 % dušikovih spojin,
- preprečimo motnje biološkega čiščenja zaradi zniževanja pH,

- preprečimo energetske stroške zaradi uporabe nitrita v oksidacijskih procesih (ni potrebno dovajati kisika).



Slika: Spreminjanje koncentracije dušikovih spojin pri procesu denitrifikacije (Kurbus, 2008, str. 24)

Na začetku procesa denitrifikacije se koncentracija nitrata znižuje vse do konca anoksične faze. Znižuje se tudi koncentracija raztopljenega kisika. Slednji ima vpliv na hitrost denitrifikacije, saj deluje zaviralno na rast heterotrofnih denitrifikacijskih bakterij. Na račun znižanja koncentracije nitrata se povečuje koncentracija elementarnega dušika v plinski obliki.

a) Mikroorganizmi in vplivi na delovanje procesa denitrifikacije

Denitrifikacijo razumemo kot metabolizem bakterij, kot biokemično redukcijo nitratov, torej kot "nitrarno dihanje". Je encimski proces in poteka v prisotnosti encima nitrat-reduktaze in kofaktorjev železa ter molibdena. Pri reakcijah sodelujejo specifične heterotrofne bakterije iz rodov *Achromobacter*, *Acetobacter*, *Acinetobacter*, *Agrobacterium*, *Chromobacter*, *Flavobacterium*, *Bacillus*, *Halobacterium*, *Pseudomonas* in druge, ki ob primanjkljaju raztopljenega kisika reducirajo nitratni dušik, nekatere pa celo pretvarjajo nitritnega v dušikov oksid.



Vpliv koncentracije organske snovi

Denitrifikacija poteka pri anoksičnih pogojih s pomočjo organske snovi. Ta je bistvenega pomena za potek denitrifikacije. Bakterije jo dobijo iz notranjih (endogenih) virov, vključno z odpadno vodo in lastnimi rezervami. Raziskave so pokazale, da denitrifikacija poteka slabo, če je razmerje $KPK : NO_3^- - N$ zelo nizko, kajti organski ogljik služi mikroorganizmom kot donor elektronov in kot vir energije, pri čemer je nitratni ion elektronski akceptor. Ugotovili so, da je optimalno razmerje $KPK : NO_x - N$ med 3 in 6,6 s srednjo vrednostjo 5,4, za najvišje pa predlagajo 7. Za povečanje omenjenega razmerja se lahko uporabljajo različne snovi, npr. metanol, acetat in propionat.

Vpliv vsebnosti raztopljenega kisika

Raztopljeni kisik v koncentracijah nad 0,2 mg/l zavira delovanje heterotrofnih bakterij in s tem tudi proces denitrifikacije (Bitton, 2005).

Vpliv temperature

Denitrifikacijske bakterije najbolje izvajajo proces pri temperaturah od 15 ° C do 25 ° C, pri čemer imajo večji temperaturni razpon delovanja od nitrifikatorjev. Temperature, višje od 60 ° C in nižje od 5 ° C, vodijo v ustavitev procesa denitrifikacije (Bitton, 2005).

Vpliv pH

Pri denitrifikaciji se povečujeta alkaliteta in pH. Pojav je ravno obraten kot pri nitrifikaciji. Dawsen in Murphy (1972) sta ugotovila, da je optimalna hitrost denitrifikacije pri pH 7,0, polovična pa v intervalu med 6,0 in 8,0 za iste organizme.

3.4.2 Odstranjevanje fosforjevih spojin

Določevanje in odstranjevanje fosforja postaja vedno pomembnejše, saj je fosfor bistven za življenjske procese. Onesnaževanja voda s fosforjem so se najprej začeli zavedati v razvitih državah, saj je ta v kombinaciji z dušikom glavni krivec za eutrofikacijo rek, jezer in morij. Raziskave v ZDA so pokazale, da je vnos fosforja v okolje v primerjavi z dušikom mnogo manjši, zato je fosfor večinoma glavni omejujoči dejavnik pri eutrofikaciji površinskih voda.

3.4.2.1 Posamezne oblike fosforja v vodi

Fosfor je v odpadnih vodah prisoten v različnih organskih in anorganskih oblikah, v glavnem v obliki fosfatov. Najpogostejše oblike so:

- ortofosfati,
- kondenzirani fosfati (polifosfati) in
- organsko vezani fosfati.

3.4.2.2 Postopki za odstranjevanje fosforjevih spojin

Glavni postopki za odstranjevanje fosforja so:

- kemijsko obarjanje,
- biološko odstranjevanje,
- magnetna separacija,
- kristalizacija v reaktorju *fluid-bed*¹.

Stroški biološkega odstranjevanja in kemijskega obarjanja so primerljivi, medtem ko sta ostala dva načina približno dvakrat dražja. Biološko odstranjevanje fosforja ima prednost pred kemijskim obarjanjem, ker se v vodo ne dodaja kemikalij, tako da je na koncu koncentracija kloridnih in sulfatnih ionov v odtoku mnogo manjša. Ker v sklopu diplomske naloge posvečam pozornost samo biološkemu čiščenju odpadnih voda, v poglavju odstranjevanja fosforjevih spojin obravnavam tudi samo njihovo biološko eliminacijo.

I) Biološko odstranjevanje fosforjevih spojin

Biološko odstranjevanje fosforja temelji na delovanju določenih mikroorganizmov (bio-P-bakterije), ki odstranjujejo fosfor iz odpadnih voda.

Dve najpomembnejši karakteristiki bio-P-bakterij sta:

- sposobnost skladiščenja polifosfatov in
- sposobnost skladiščenja ogljika v obliki poli-b-hidroksibutirata (PHB).

¹ Fluidiziran sistem, kjer prehaja voda od spodaj navzgor skozi drobni material, z dovolj veliko hitrostjo, da ostaja medij suspendiran.

V to skupino spadajo bakterije rodov *Acinetobacter*, ki so najpomembnejše, *Aeromonas* in *Pseudomonas*. *Acinetobacter* se običajno nahajajo v aktivnem blatu, kot rastni substrat pa uporabljajo nižje maščobne kisline, še posebej acetat. Ta je ponavadi prisoten v odpadnih vodah, če pa ga ni, ga je aktivno blato sposobno proizvesti v anaerobnem področju, največkrat pred začetkom prezračevanja, ko se reaktor ali sistem polni z odpadno vodo. Pod temi pogoji fakultativno-anaerobne bakterije pridelujejo nižje maščobne kisline.

V aerobni fazi fosfati spreminjajo bogate polifosfate iz anorganske oblike v energijsko, bakterije pa jih nato kopičijo. V anaerobni fazi se polifosfati razgrajujejo, oddajo energijo, ki se potem uporabi za vgrajevanje maščobnih kislin v PHB, ki služi kot rezervni material. V anoksični fazi so nekatere bio-P-bakterije sposobne uporabiti nitrat ali nitrit kot akceptor elektronov. Te t. i. denitrificirajoče bakterije absorbirajo fosfat iz raztopine ob prisotnosti nitrata ali nitrita, medtem ko ostale, ki oksidiranega dušika ne morejo uporabiti kot akceptor elektronov, fosfate sprostijo v raztopino. Končni učinek akumulacije ali sprostitve fosfata je pri anoksičnih pogojih torej odvisen od relativne mase in aktivnosti določene skupine bio-P-bakterij.

Učinkovitost odstranjevanja fosforja je tem večja, čim več je nižjih maščobnih kislin v anaerobni fazi, saj je tako rast celic hitrejša in zato hitrejše tudi odstranjevanje fosforja. Nedavne raziskave so pokazale, da lahko odstranjujejo fosfor iz odpadnih voda tudi drugi mikroorganizmi, t.i. G-bakterije, ki v biomasi prevladujejo, če je odpadna voda sestavljena pretežno iz peptona in glukoze. Za G-bakterije v nasprotju z bio-P-bakterijami ni značilen polifosfatni metabolizem, vendar je odstranjevanje fosforja kljub temu zelo učinkovito. Iz tega so sklepali, da vloga acetata v biokemijskem mehanizmu le ni tako zelo pomembna.

4 SPLOŠNO O OBDELAVI BLATA

Med čiščenjem vse čistilne naprave proizvajajo trdne snovi, imenovane blato. Te snovi je potrebno zbirati, stabilizirati in nato primerno odstranjevati. Obdelava in odstranjevanje usedenih trdnih snovi je običajno tehnološko zahteven in dražji del čiščenja odpadne vode.

Blato, ki nastaja na bioloških čistilnih napravah, lahko razdelimo na:

- snovi, ki jih lahko kasneje uporabljamo v kmetijstvu kot gnojilo in niso nevarne,
- snovi, ki vsebujejo škodljive (strupene) komponente in jih je treba obravnavati kot poseben odpadek.

Za obdelavo blata obstaja vrsta postopkov, ki se stalno dopolnjujejo. Najbolj znane so:

- zgoščevanje,
- kondicioniranje,
- stabilizacija,
- odstranjevanje vode,
- zmanjšanje količine suspendiranih snovi,
- uporaba blata.

4.1 Zgoščevanje

Pred presnovo blata in odstranjevanjem vode, ko se blato pripravlja za končno dispozicijo, se blato običajno zgošča. To delamo zato, da se odstrani del vode in s tem zmanjša prostornina blata. Poznamo več naprav za zgoščevanje blata na bioloških čistilnih napravah. To so predvsem gravitacijski in flotacijski zgoščevalniki ter centrifuge. V gravitacijske zgoščevalnike včasih dodajamo kemikalije (železov klorid z apnom, polimeri), da dosežemo večjo učinkovitost ter povečamo hitrost usedanja. Pri gravitacijskem zgoščevanju lahko dosežemo od 5 do 12 % suhe snovi v blatu, pri flotacijskem pa le do 6 %.

4.2 Kondicioniranje

Kondicioniranje blata je proces, ki ga uporabljamo za izboljšanje kakovosti blata. Iz blata je treba odstraniti čim več vode in ga zgostiti. To dosežemo z mehanično, kemično ali termično obdelavo. Cilj kondicioniranja blata je koagulacija blata in sproščanje vezane vode. Na biološki čistilni napravi najpogosteje uporabljamo kemične sisteme za kondicioniranje blata in sisteme termičnega kondicioniranja. Pri sistemih za kemično kondicioniranje uporabljamo železov klorid (FeCl_3), apno in polimere (polielektroliti). Pri nas zelo pogosto uporabljamo železov sulfat, čeprav ga v današnjih časih nadomeščajo predvsem sintetični polimeri.

4.3 Stabilizacija

Po zgoščevanju in kondicioniranju blata sledi proces stabilizacije. Ločimo:

- anaerobno presnovo,
- aerobno presnovo,
- nizekotlačno oksidacijo.

4.3.1 Anaerobna presnova

Anaerobna presnova je biološki proces, kjer se s pomočjo kislinskih in metanogenih bakterij organske snovi pretvarjajo v plin ali tekočino. Kislinske bakterije v anaerobnem okolju iz organskih snovi tvorijo nižje organske kisline, ki jih porabljajo druge vrste bakterij (metanogene bakterije) za proizvodnjo metana, vode in CO_2 . Presnova poteka v anaerobnih gniliščih (digestorjih) in sicer v mezofilnem območju, kjer temperatura zajema interval od 32 do 37 °C. Digestorji so opremljeni z mešali, ki homogenizirajo suspenzijo blata. Po fazi mešanja se trdne snovi usedejo, nad njimi pa se nabere supernatant, ki vsebuje vodo, nastalo med presnovo. Ta voda vsebuje visoko koncentracijo suspendiranih snovi, BPK in amonija ter se vrača na začetek čistilne naprave v ponovno čiščenje. Sprememba temperature v gnilišču za 0,6 °C lahko povzroči prizadetost metanogenih bakterij, v gnilišču se pojavi preveč organskih kislin, kar vodi v poslabšanje delovanja gnilišča in povzroči kisel vonj. Za pravilno delovanje gnilišča je potrebno ohranjati enako razmerje med obema vrstama bakterij, saj

vsako odstopanje vodi v sesutje sistema. Za zadostno presnovo blata in primerno odstranjevanje patogenih organizmov je v gniliščih potreben 15- do 20-dnevni (presnova z enim anaerobnim digestorjem) ali 3- do 4-dnevni (čistilne naprave z dvema gniliščema) zadrževalni čas. Po končani ustrezni razgradnji se zmanjšata prostornina organskih snovi in število patogenih bakterij v blatu, pa tudi vonj je manj izrazit. Produkt popolne anaerobne presnove je trdno grudasto blato črne barve, ki se odlaga na primernih deponijah, lahko se ga uporablja tudi v kmetijstvu za gnojenje. Eden od načinov uporabe presnovljenega blata je tudi sežig, saj ima takšno blato visoko kalorično vrednost (Bitton, 2005).

4.3.2 Aerobna presnova

Aerobna presnova blata je biološki proces, ki poteka s pomočjo mikroorganizmov ob prisotnosti kisika. Ker je v aerobnem gnilišču (digestorju) malo hrane za mikroorganizme, se ti hranijo s svojo celično maso. Pojav takšnega hranjenja pripisujemo endogenemu dihanju. Za optimalno delovanje aerobnega reaktorja je potrebno vzdrževati koncentracijo raztopljenega kisika med 1 in 3 mg/l, pH med 6,2 in 7, temperatura pa ne sme biti nižja od 13 °C. Čistilne naprave imajo lahko glede na svojo velikost en digestor, ki deluje kot diskontinuirni sistem, ali dva aerobna digestorja, v katerih potekata stabilizacija in zgoščevanje. V obeh primerih se iz reaktorjev odstrani supernatant, ki se vrne na začetek procesa čiščenja odpadne vode, blato pa se transportira v nadaljnjo obdelavo ali na končno dispozicijo (Bitton, 2005).

4.4 Odstranjevanje vode iz suspendiranih snovi

Ko so suspendirane snovi zgoščene in stabilizirane, iz njih odstranimo vodo. Za odstranjevanje vode so na razpolago različne metode, kot so: centrifugiranje, stiskanje, vakuumsko filtriranje, sušenje. Centrifugiranje je proces ločevanja trdnih snovi od vode z uporabo centrifugalne sile. Centrifugira se lahko samo blato, ki smo ga prej kondicionirali z dodatki kemikalij (FeCl₃ + polimeri, polimeri). Izkoristek procesa je 90 do 95 % (Bitton, 2005).

4.5 Zmanjševanje količine suspendiranih snovi

Količino suspendiranih snovi lahko zmanjšujemo s postopki sušenja ali sežiganja. Namen sušenja je, da iz blata odstranimo vsaj 90 % vlage, blato pa nadalje uporabimo kot surovino v sežigalnicah ali v kmetijstvu za gnojenje. Namen sežigalnic je prav tako odstranjevanje vlage in bistveno zmanjšanje količine trdnih snovi.

4.6 Uporaba blata

Blato, ki nastane v čistilni napravi pri čiščenju odpadne vode, se po predhodni obdelavi lahko transportira v sisteme za njegovo koristno uporabo, ki predelajo blato do take mere, da je primerno za neposredno uporabo. V uporabi so predvsem procesi kompostiranja, alkalne stabilizacije in termičnega sušenja.

4.6.1 Kompostiranje

Kompostiranje je biološki proces, ki pretvori organske snovi v blatu v stabilno snov, imenovano humus, ki se lahko uporablja kot dodatek zemlji za kondicioniranje. Proces kompostiranja poteka v termofilnem temperaturnem območju (od 55 do 65 °C) in je lahko aeroben ali anaeroben. Najpogosteje uporabljen način kompostiranja je t. i. kopa (grmada), kjer organske snovi v blatu skupaj z razsutim materialom (lesni odpadki, žagovina), ki zagotavljajo trdnost kope, predstavljajo vir energije pri procesu kompostiranja.

4.6.2 Alkalna stabilizacija

Alkalna stabilizacija vključuje ustaljene in dopolnjene sisteme obdelave blata. Pri ustaljenih sistemih alkalne stabilizacije se kot vir alkalne snovi uporablja apno, ki blato stabilizira in uniči patogene bakterije. Dopolnjeni sistemi zahtevajo posebno opremo, kot alkalije pa uporabljajo živo apno, cementni prah ali apnenčev prah. Končni produkt procesa alkalne stabilizacije je material, ki vsebuje 30 do 50 % trdnih snovi in je bogat s hranili, kot so spojine dušika in fosforja. Idealen je za nadaljnjo uporabo kot gnojilo (drevesnice, igrišča za golf).

5 ZAKONODAJA

Med zakone, ki določajo urejanje voda v Sloveniji, spadajo *Zakon o varstvu okolja*, *Zakon o vodah*, *Zakon o ohranjanju narave* in veliko število podzakonskih predpisov, ki določajo mejne vrednosti izpustov snovi v vodo. Vsi zakoni in njihovi podzakonski akti so usklajeni z vodno zakonodajo Evropske unije, čeprav v nekaterih primerih, predvsem pri zakonodaji, ki opredeljuje kakovost pitnih voda, usklajeni zakoni podajajo slabše mejne vrednosti emisij kot prejšnji zakoni, ki so temeljili na priporočilih Svetovne zdravstvene organizacije (WHO).

Osnovni uredbi s področja odpadnih voda sta *Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo* ter *Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav*. Prva predpisuje mejne vrednosti emisije snovi v tekoče površinske vode in obalno morje ali v kanalizacijo ter mejne vrednosti toplote v tekoče površinske vode. Določene so vrednosti splošnih, bioloških, anorganskih in organskih parametrov v odpadni vodi iz virov onesnaženja, za iztok v vodotok in za iztok v kanalizacijo (priloga A). Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav zajema mejne vrednosti parametrov odpadne vode, ki se odvajajo iz komunalne čistilne naprave.

Za mlekarsko industrijo pride v poštev tudi *Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadne vode iz naprav za obdelavo in predelavo živalskih in rastlinskih surovin ter mleka pri proizvodnji hrane za prehrano ljudi in živalske krme* (Uradni list RS št. 45 z dne 25. 5. 2007), ki podrobneje določa mejne vrednosti za izpuste odpadnih voda v vode ali javno kanalizacijo (priloga B).

V skladu z 20. členom *Uredbe o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo* ter 15. členom *Uredbe o spremembah in dopolnitvah Uredbe o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo* je upravljavec naprave dolžan na območju poselitve, ki je opremljeno z javno kanalizacijo, industrijsko odpadno vodo odvajati v javno kanalizacijo, če je to tehnično možno in je za čiščenje

industrijske odpadne vode zagotovljena zmogljivost komunalne ali skupne čistilne naprave, ki zaključuje javno kanalizacijo.

Ministrstvo lahko na podlagi vloge upravljavca naprave dovoli drugačen način odvajanja industrijske odpadne vode, če ugotovi da je v primeru odvajanja v vode na območju, ki ni vodovarstveno območje, predlagani način čiščenja najmanj enako učinkovit kakor čiščenje v komunalni čistilni napravi in v industrijski odpadni vodi nobena od nevarnih snovi ne presega letne količine, ki je za to nevarno snov določena v tej uredbi. Izjemo lahko pristojno ministrstvo odobri tudi, če industrijska odpadna voda škodljivo vpliva na objekte javne kanalizacije ali na obratovanje komunalne čistilne naprave in iz analize tveganja v skladu s predpisi, ki urejajo vodovarstveni režim, izhaja, da odvajanje odpadne vode nima škodljivega vpliva na vir pitne vode.

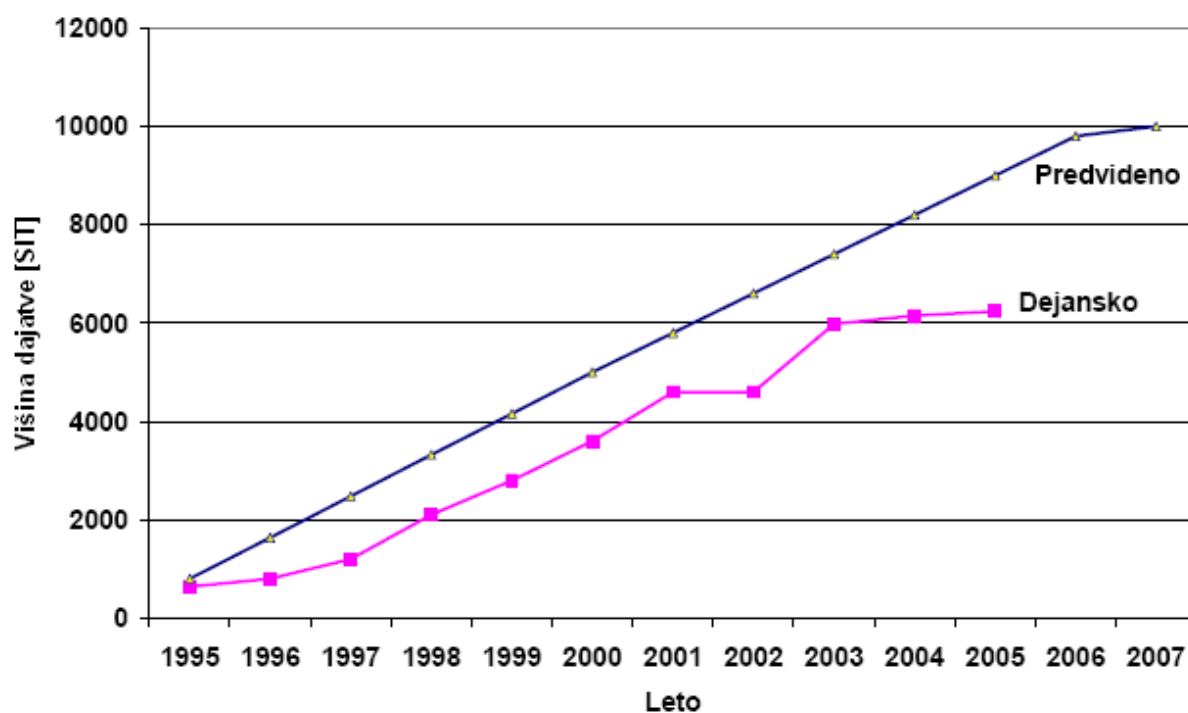
V primeru izpada industrijske čistilne naprave ali naprave za predčiščenje industrijske odpadne vode ali ob okvari v proizvodnji, ki povzroči čezmerno onesnaženost industrijske odpadne vode na iztoku v vode ali v javno kanalizacijo, mora upravljavec naprave izpad ali okvaro prijaviti inšpektoratu, pristojnemu za varstvo okolja ali obvestiti izvajalca javne službe, v primeru odvajanja industrijskih odpadnih voda v javno kanalizacijo. Prav tako mora sam upravljavec naprave takoj začeti z izvajanjem ukrepov za odpravo okvare in zmanjšanje oz. preprečitev nadaljnjega onesnaženja (*Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo*, Ur. list RS št. 47/2005).

Pri delovanju naprave mora upravljavec naprave v okviru obratovalnega monitoringa zagotavljati občasne ali trajne meritve parametrov in količine odpadnih voda. Monitoring izvajajo pooblašene osebe, ki pridobijo pooblastilo za njegovo izvajanje, ki ga izda Agencija republike Slovenije za okolje. Vsa opravila v zvezi s pridobivanjem pooblastil in opravljanjem monitoringa določa *Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih vod ter o pogojih za njihovo izvajanje*.

Na podlagi izmerjenih vrednosti KPK, težkih kovin (kadmij, živo srebro, krom, nikelj, svinec in baker), organskih halogenih spojin, strupenosti in količine fosforja ter dušika v sklopu rednega obratovalnega monitoringa se na podlagi *Uredbe o okoljski dajatvi za onesnaževanje okolja zaradi odvajanja odpadnih voda* določijo enote obremenitve (EO) za industrijske

subjekte. Če ima zavezanec svoje vode priključene na javno kanalizacijo s ČN, se mu število EO zmanjša sorazmerno z učinkom čiščenja. Število enot obremenitve za komunalno odpadno vodo se določi na podlagi letne količine odpadne vode. Cena okoljske dajatve (prej: taksa za obremenjevanje okolja) se dejansko izračuna tako, da se število EO pomnoži s ceno, ki jo s *Sklepom o določitvi cene za enoto obremenitve voda* določi Vlada RS. Cena enote je vsako leto različna. Okoljska dajatev se odmeri letno z odločbo v tekočem letu za preteklo leto, in sicer na podlagi napovedi zavezanca. Zavezanci za plačilo dajatve so subjekti s tehnološko (industrijsko) odpadno vodo in izvajalci javne službe odvajanja in čiščenja komunalnih in padavinskih odpadnih voda. Uredba, ki ureja odmero in plačilo dajatve, je predvidevala postopno in progresivno povečanje cene za eno EO. S tem je bilo predvideno stimuliranje zavezancev, da čim prej zgradijo objekte za zmanjševanje obremenitve in si s tem znižajo stroške plačevanja dajatve. Naraščanje cene je bilo predvideno tako, da je v začetku višina dajatve relativno majhna, nato na neki točki doseže povprečno ceno čiščenja odpadne vode, nato pa raste naprej in kaznuje tiste, ki še nimajo zgrajenih ČN in bi tako plačevali višje zneske, kot bi jih sicer namenili za čiščenje. Zaradi vpliva dajatve na inflacijo pa predviden potek naraščanja ni zdržal dolgo, kar se odraža predvsem v manjših sredstvih, ki se zberejo iz naslova okoljske dajatve in podaljšanju časa gradnje sistemov odvajanja in čiščenja odpadnih voda.

Na spodnjem grafu je prikazan predviden potek naraščanja okoljske dajatve do leta 2007, kot ga je predvidevala *Uredba o okoljski dajatvi za onesnaževanje okolja zaradi odvajanja odpadnih voda*. Zneski višine dajatve so še v tolarjih, ker do leta 2007 še nismo imeli valute evro.



Slika: Predviden potek naraščanja okoljske dajatve in dejanski zneski (ARSO)

6 PROBLEMATIKA ČIŠČENJA ODPADNIH VODA ČN MLEKARNE CELEIA

6.1 Uvod

Nadgradnja objektov za ravnanje z odpadno vodo je včasih nujno potrebna, da ohranimo trenutno kakovost iztoka in da izpolnimo stroge zahteve po kakovosti iztoka v prihodnje. Če nismo sposobni doseči zahtevane kvalitete iztoka, je to lahko posledica pomanjkanja primerne upravljanja in kontrole, nepravilnega načrtovanja čistilne naprave ali povečanja hidravlične in organske obremenitve zaradi sprememb toka in karakteristik odpadne vode. Takšne pomanjkljivosti lahko rešimo z ustreznim kadrom, torej z zaposlitvijo primerne števila sposobnih operativnih in laboratorijskih delavcev. Izdelati je treba primeren program vzdrževanja, nenehoma preverjati ključne komponente obratovanja, zbirati pomembne vzorce odpadne vode in izdelovati primerne študije. Obstoječe zmogljivosti se lahko povečajo, da sprejmejo večje hidravlične in organske obremenitve, tako da prilagodimo naprave ali zgradimo dodatne kapacitete ravnanja z odpadno vodo (Qasim, 1994).

Ostrejše zahteve po kakovosti iztoka se v večini primerov izpolnijo z dodajanjem novih procesov ravnanja z odpadno vodo, ki zagotavljajo zelene zahteve po odstranitvi odpadnih snovi iz vode in učinkovitosti postopkov v sodelovanju z obstoječimi sekundarnimi načini čiščenja. Zahteve po odstranitvi organskih in suspendiranih snovi lahko presegajo zmogljivosti sekundarne čistilne stopnje, zato so v takšnih primerih nujni dodatni procesi čiščenja, kot so filtracija, adsorpcija ogljika, kemijska sedimentacija fosforja, nitrifikacija in denitrifikacija (Qasim, 1994).

6.2 Namen dela

Mlekarska industrija plačuje visoke zneske v državni in občinski proračun zaradi obremenjevanja okolja. Republikli Sloveniji plačuje okoljsko dajatev, javnim komunalnim podjetjem pa stroške vodarine, kanalščine, znesek za čiščenje odpadne vode ter strošek okoljske dajatve za rabo vode. V interesu mlekarj je zmanjšanje zgoraj naštetih postavk, zato so pripravljene vlagati v izboljšave, ki omogočajo večjo učinkovitost proizvodnje in ekološko naravnost podjetja. V sodelovanju z Mlekarno Celeia smo na njihovi čistilni napravi za predčiščenje odpadnih voda opravili enomesečni poskus, da bi izboljšali učinkovitost čiščenja. Z dodajanjem bakterijskih preparatov Bio Complex, ki jih je v ta namen zagotovilo podjetje EkoGea, smo želeli preveriti učinkovitost čiščenja odpadne vode na ČN in ekonomsko upravičenost uporabe konkretnih preparatov.

6.3 Splošni podatki o delovanju podjetja Mlekarna Celeia, d.o.o.

Podjetje Mlekarna Celeia d.o.o. ima 184 zaposlenih. Ukvarja se s predelavo mleka in proizvodnjo mlečnih izdelkov. Količina prevzetega mleka v letu 2008 je znašala 89.932.066 litrov (246.390 l dnevno). S srednjeročnim planom investicij in razvoja je predvidena predelava približno 300.000 l dnevno odkupljenega mleka:

- siri pribl. 200.000 l,
- fermentirani izdelki pribl. 75.000 l,
- konzumno mleko pribl. 25.000 l.

Tehnološki postopek predelave mleka poteka v objektu proizvodne stavbe s skladiščem, službe kontrole ter energetike s koncentracijo sirotke. Vrste tehnološkega procesa so:

- obdelava surovega mleka,
- proizvodnja pasteriziranega mleka, sladke smetane,
- proizvodnja poltrdih sirov, probiotičnih sirov LCA,
- proizvodnja fermentiranih izdelkov,

- pridobivanje sirotkinega koncentrata,
- proizvodnja masla,
- SiVit.²

6.3.1 Opis območja mlekarne

Zahodna meja poteka ob vzhodnem robu ceste Velenje – Arja vas in gozdnem robu, severna meja po gozdnem robu, vzhodna v oddaljenosti 20 – 25 m vzporedno z obstoječo ograjo in južna prek kmetijskih zemljišč v smeri vzhod – zahod v oddaljenosti približno 60 m od obstoječe upravne zgradbe. Ureditveno območje meri 5,82 ha. Zgrajena je prometna, komunalna in energetska infrastruktura. Izveden je dovozni priključek na glavno cesto I. reda št. 5 Velenje – Arja vas. Območje mlekarne Celeia s pripadajočimi objekti ni poplavno ogroženo in ne leži na vodovarstvenih območjih državnega ali občinskega pomena (ARSO).



Slika 7: Območje mlekarne

Celoten kompleks je razdeljen na več funkcionalnih območij:

- severni del je namenjen energetskim objektom, objektom za predčiščenje odpadnih voda in objektom za vzdrževanje (zelena barva),
- osrednji del zavzemajo proizvodno-skladiščni objekti z manipulacijskimi površinami ter avtopralnico (siva barva),

² Sirotkin napitek

- južni in vzhodni del območja vključujeta servisno cesto s parkirnimi in manipulacijskimi površinami ter upravno zgradbo (rdeča barva),
- na zahodnem delu je trgovina, večji del površin pa je namenjen parkiranju (rumena barva).



Slika 8: Funkcionalna območja mlekarne Celeia

Na obravnavanem območju je zgrajeno vodovodno omrežje, ki napaja obstoječe objekte. Kompleks mlekarne se napaja z vodo iz javnega vodovoda (PEHD $\phi 160$ mm) z južne strani obravnavanega območja. Prav tako je zgrajen ločen kanalizacijski sistem, ki omogoča, da so meteorne vode z območja mlekarne z vseh asfaltiranih površin in strešin speljane v obstoječo meteorno kanalizacijo z ustrezno dimenzioniranim peskolovom in lovilci olj, vsa količina odpadnih voda (komunalnih in industrijskih) pa v ločeno interno kanalizacijsko omrežje, ki se zaključuje s ČN za predčiščenje.

6.3.2 Nastajanje odpadnih voda, tehnike čiščenja in njihovo odvajanje

Preglednica 1: Bilanca oskrbe z vodo za leto 2008

	Letna količina vode (v 1000 m ³)
Viri oskrbe z vodo	
Vodovod	265,380
Lastno zajetje	0
Oskrba z vodo (SKUPAJ)	265,38

se nadaljuje...

...nadaljevanje

	Letna količina vode (v 1000 m ³)
Poraba vode	
Hladilne odpadne vode	5,79
Komunalne odpadne vode	2,70
Industrijske odpadne vode	249,46
Voda, vgrajena v izdelke	6,90
Izparela voda	0,21
Izguba vode zaradi okvare sistema	0,32
Poraba vode (SKUPAJ)	265,38

Industrijske odpadne vode nastajajo pri čiščenju posod, naprav in obratov za predelavo mleka ter proizvodnjo mlečnih izdelkov. Oprema se v večini primerov čisti s sistemom CIP (cleaning in place), v manjši meri pa nastaja odpadna voda tudi pri ročnem čiščenju, pri kaluženju kotlov v kotlarni in pri pripravi napajalne vode z reverzno osmozo. Količina odpadnih voda iz reverzne osmoze je v letu 2008 znašala 3.650 m³ in je edini iztok mlekarniških odpadnih voda, ki se izteka v bližnji potok Mrtvica. V najkrajšem možnem času je predvideno, da se bo tudi ta vrsta odpadnih voda stekala v biološko čistilno napravo. V sklop odpadnih voda spadajo še hladilne odpadne vode, to so vode, namenjene hlajenju črpalk na oddelku koncentriranja sirotke, in komunalne odpadne vode iz sanitarij.

Vsa količina industrijskih, komunalnih ter hladilnih odpadnih voda odteka na biološko čistilno napravo, zgrajeno za potrebe predčiščenja. Čistilna naprava je bila zgrajena leta 2007, uradni tehnični prevzem naprave je bil konec oktobra 2008, poskusno obratovanje pa je potekalo v začetnih mesecih letošnjega leta (januar–april 2009). V napravi poteka čiščenje s pomočjo mikroorganizmov pri aerobnih in anoksičnih pogojih. Odpadne vode iz predčiščenja se pred priključkom na kanalizacijo, ki je zaključena s KČN Kasaze, čistijo še v lovilcu maščob na merskem objektu. Izločeno maščobo odstranjujejo ročno in jo kot odpadek s klasifikacijsko št. 02 05 02 – mulji iz čiščenja vode na kraju nastanka – odvažajo podjetje Ekol d.o.o. iz Kranja. Na isti lokaciji je nameščen tudi objekt, kjer se izvajajo kontinuirne meritve pretoka, temperature in vrednosti pH odpadnih voda.

Vsa komunalna in industrijska odpadna voda, razen odpadnih voda iz reverzne osmoze, se odvaja po ločenem internem kanalizacijskem omrežju do črpališča za tlačni vod, od koder se ves čas črpa v egalizacijski oziroma uravnavni bazen ČN za predčiščenje. Vode iz kotlovnice se stekajo skupaj s hladilnimi odpadnimi vodami najprej v zbirni bazen, od koder odtekajo do črpališča za tlačni vod in naprej na biološko čistilno napravo. Meteorne odpadne vode z asfaltiranih površin se stekajo prek zadrževalnega bazena meteornih voda, ki deluje tudi kot primarni usedalnik in lovilec maščob, v potok Mrtvica, ki teče prek severovzhodnega vogala ureditvenega območja.

6.4 Analiza obstoječega stanja delujoče ČN

6.4.1 Opis postopka zaporednih šarž (SBR – sequencing batch reactor)

Jedro predlagane tehnologije čiščenja odpadnih voda je bioreaktor iz nerjavečega jekla v stolpni obliki. Bioreaktor se uporablja v šaržnem načinu v skladu s postopkom zaporednih šarž. Modularna konstrukcija omogoča enostavno prilagoditev na povečano količino odpadnih voda z dodatnim opremljanjem z nadaljnjimi bioreaktorji. V bioreaktorju se nahaja osnovna količina biomase (aktivne bakterijske populacije), ki se zadržuje med obratovanjem. Prek avtomatskega krmilnega programa se reaktor v določenih intervalih intenzivno prezračuje s pomočjo potopnih prezračevalnikov (aeratorjev), medtem ko se organske snovi v odpadni vodi učinkovito razgrajujejo. S programsko menjavo aerobnih in anoksičnih faz se eliminira tako dušik kot fosfat. S stalnim nadzorom temperature, vrednosti pH, ORP, razmerja KPK : BPK₅ in v kombinaciji z inteligentno krmilno strategijo, se postrojenje lahko v veliki meri avtomatizira. Postopek zaporednih šarž omogoča v vsakem trenutku enostavne menjave v fazah prečiščevalnega cikla. Tako se lahko kompenzirajo nihanja v pritoku z enostavnimi spremembami časovnega programa. Vezava časovnega programa s stalnimi meritvami omogoča stabilne rezultate prečiščevanja odpadnih voda.

6.4.2 Tehnične in tehnološke značilnosti procesa predčiščenja odpadnih voda

6.4.2.1 Opis tehnoloških sklopov in opreme

Čistilno napravo za predčiščenje odpadnih voda sestavljajo naslednji tehnološki sklopi:

- vhodni jašek z grobo rešetko,
- črpališče vhodnih voda,
- povezava črpališče – čistilna naprava,
- egalizacijski bazen,
- prečrpovalna postaja,
- puhala in razvod zraka,
- reaktor SBR,
- rezervoar za izravnavo konic,
- obdelava blata – sklop centrifuge.

a) Vhodni jašek z grobo rešetko

Vhodni jašek je premera 1,0 m in globine 5,0 m, zgrajen iz betonskih segmentov. V jašek je spuščena groba rešetka premera 950 mm, izdelana iz nerjaveče žice rastra 10 mm. Rešetka je nameščena pod dovodno cevjo fekalne kanalizacije. Njeno dvigovanje in čiščenje poteka ročno.

b) Črpališče vhodnih voda

Črpališče vhodnih voda je izvedeno iz betonskih segmentov premera 2,5 m in globine 5,65 m. Dovod tehnološke vode je na višini 2,0 m od dna jaška. Tako znaša uporabni volumen vhodnega jaška 9,82 m³. Višina tlačnega voda, ki je namenjen izhodu odpadnih voda iz vhodnega jaška, je 5,35 m od dna jaška. Za prečrpavanje vhodnih voda v egalizacijsko posodo služita dve potopni črpalki s pretokom 50,4 m³/h pri tlačni razliki 21 mVS³. Pri normalnih dotokih vode zadostuje ena črpalka, druga služi le za rezervo. V primeru konic, ki za nekaj minut dosežejo vrednost tudi do 100 m³/h, delujeta obe črpalki vzporedno.

³ mVS – metri vodnega stolpca, 10 mVS = 1 bar

c) Povezava črpališče/čistilna naprava

Črpališče je povezano s čistilno napravo oz. z egalizacijskim bazenom s tlačnim cevovodom PEHD NO 150, v dolžini 198 m.

d) Egalizacijski oziroma uravnalni bazen

Namen egalizacijskega bazena je kompenzacija in uravnavanje vrednosti pH vode pred vstopom v reaktor SBR. Volumen egalizacijskega bazena je 250 m^3 , višina je 9,0 m in premer je 6,0 m. Zadrževalni čas odpadne vode v bazenu je od 7,2 do 11,5 h, odvisno od dnevnega dotoka vode. Voda doteka v egalizacijski bazen iz vhodnega črpališča po dinamiki dotoka tehnoloških voda s pomočjo potopnih črpalk. V primeru, da je dotok v egalizacijski bazen večji kot odzem, bo voda odtekala prek prelivne cevi NO 150 v rezervoar za izravnavo konic. Pred izpustom v reaktor SBR uravnavamo vrednost pH med 7,5 in 9,5. Za uravnava vrednosti pH skrbita dve dozirni črpalki za doziranje HCl in NaOH, ki sta povezani s senzorjem v egalizatorju in računalniškim sistemom. V primeru prekoračitve mejnih vrednosti, ki so ročno nastavljive (5,5 – 9,5), senzor zazna spremembo in črpalka za doziranje primerne raztopine se vključi. Zaradi pretežno kisle narave mlekarniških odpadnih voda se za izravnavo vrednosti pH v večini uporablja NaOH. V povprečju znaša poraba te bazične raztopine 170 l/dan, kar v enem mesecu znaša tudi do 5000 l. Za enakomerno porazdelitev kisle ali bazične raztopine v odpadni vodi poskrbita potopno mešalo in distribucijski sistem za zrak, s katerima je opremljen egalizator. Voda se prečrpa v reaktor SBR v povprečju trikrat dnevno (na 8 ur) v količini, ki bo ustrezala povprečnemu dnevnemu dotoku ali v količini, ki bo ustrezala optimalnemu delovanju SBR.

e) Prečrpovalna postaja

Prečrpovalno postajo predstavljata dve črpalki pretoka $70 \text{ m}^3/\text{s}$ in tlačne razlike 10,2 mVS, ki služita za prečrpavanje vode iz egalizacijskega bazena v reaktor SBR. Črpalki običajno delujeta vzporedno, le v primeru zahtevanih manjših dotokov v SBR bo delovala le ena.

f) Puhala in razvod zraka

Za sisteme aeracije v reaktorju SBR, egalizacijskem bazenu in zbirnem rezervoarju mulja sta namenjeni dve puhali, kapacitete $1610 \text{ Nm}^3/\text{h}$ pri tlačni razliki 900 mbar. Eno puhalo služi za prezračevanje reaktorja SBR, drugo pa za prezračevanje egalizacijske posode in zbirnega

rezervoarja za mulj. V primeru okvare enega od puhal skrbi za vse tri porabnike drugo puhalo. Zrak usmerimo z zapiranjem oziroma odpiranjem ustreznih armatur.

g) Reaktor SBR

Prostornina reaktorja SBR znaša 800 m^3 , višina 9,0 m in premer 11,0 m. Zadrževalni čas vode v reaktorju je odvisen od dnevnega dotoka vode in zajema interval od 8 do 10 ur. Reaktor je opremljen s potopnim mešalom in distribucijskim sistemom za zrak, ki predstavlja 236 difuzorjev. V primeru, ko višina vode v reaktorju SBR naraste čez dovoljeno mejo (napaka regulacije) bo odtekala prek preliva direktno v zbirni bazen za izravnavo konic. Po končani fazi usedanja, ko se mulj posede, prične voda odtekati v rezervoar za izravnavo konic (dekantiranje).

Šarža v reaktorju SBR je sestavljena iz več faz, ki trajajo različno dolgo, njihovo trajanje pa lahko upravljavec čistilne naprave spreminja glede na kvaliteto iztoka ali količino surove odpadne vode. Faze, ki sestavljajo proces šarže, so: polnjenje, aerobna faza, anoksična faza, posedanje, dekantiranje, odvzem mulja in mirovanje. Vse šaržne faze se lahko nastavijo do minute natančno. Upravljavec naprave se v večini primerov odloča za časovno porazdelitev faz, ki določajo 2–3 šarže dnevno. Ostali kvalitativni in kvantitativni parametri, ki določajo delovanje reaktorja SBR, in jih upravljavec čistilne naprave lahko spreminja, so: minimalni ter maksimalni nivo vode v reaktorju, nivo polnjenja in dekantiranja, motnost in delovanje kompresorske naprave za vpihovanje zraka.

i) Rezervoar za izravnavo konic

V fazi dekantiranja iz reaktorja SBR priteče v kratkem času (od 0,5 do 1,0 ure) od 100 do 200 m^3 vode. Ta cikel se ponovi dva- do trikrat dnevno. V rezervoar za izravnavo konic poleg vode iz reaktorja SBR priteče prek prelivne cevi tudi višek vode iz egalizacijskega bazena. V tem rezervoarju se mešata prečiščena voda iz reaktorja in surova odpadna voda iz egalizacijskega bazena. Mešanica vode teče prek merilne postaje na iztoku v kanalizacijski kanal, zgrajen posebej za potrebe mlekarne, ki se zaključuje s KČN Kasaze.

Rezervoar za izravnavo konic s prostornino 285 m³ ima premer 11,0 m in višino 3,0 m. Za enakomeren odtok služi ročni zasun na dnu rezervoarja, opremljen je s prelivno cevjo, če bi prišlo do povišane ravni vode.

j) Obdelava blata – sklop centrifuge

Mulj iz reaktorja SBR spuščamo v zbirni jašek za odvečni mulj velikosti 10 m³. Vsebnost suhe snovi v suspenziji mulj-voda je približno 15 g/l. Blatu se v zbirnem jašku s pomočjo komprimiranega zraka ohranja kondicija (aerobna stabilizacija). Črpalka črpa suspenzijo do centrifuge, ki loči mulj od vode in doseže od 10 do 12 % sušino blata. Voda odteka v odvodni kanal prek merilnega mesta v kanalizacijsko omrežje, suho blato pa odvaja transportni polž v kontejner. Za boljše ločevanje vode od mulja se pred centrifugiranjem v suspenzijo s pomočjo dozirne črpalke dodaja polielektrolit. V enem do dveh dneh se ustvari 5 m³ suhega blata, ki ga pogodbeni prevoznik odpelje v gnilišče Čistilne naprave Šaleške doline. Stroški ravnanja z blatom so relativno visoki, saj je za odstranitev blata potrebno plačati tako prevoz kot tudi ravnanje z blatom v gnilišču. Cena, ki jo plačuje Mlekarna Celeia čistilni napravi Šaleške doline, je določena glede na sušino blata. Večja je sušina, sorazmerno večje je plačilo mlekarne upravljavcu čistilne naprave v Šoštanju.

6.5 Izvedba poskusnih meritev *in situ*

Poskus se je izvajal na objektu ČN za predčiščenje odpadnih voda Mlekarnice Celeia. Poskus je trajal od 1. 4. 2009 do 30. 4. 2009. Pri poskusu je sodelovalo podjetje Eko Gea, ki je za potrebe nemotenega izvajanja poskusa zagotovilo zadostno količino encimsko-mikrobioloških preparatov. S poskusom smo hoteli ekonomsko upravičiti uporabo teh preparatov pri vsakodnevem čiščenju mlekarniških odpadnih voda ter raziskati možnosti za izboljšanje učinkovitosti čiščenja.

6.5.1 Predstavitev encimsko-mikrobioloških preparatov

Biološke komponente v preparatih imajo med 70 in 90 % mikroorganizmov in encimov. Celična oblika je odvisna od kemijskih elementov v odpadni vodi ter specifičnih lastnosti

organizmov v biološki komuni. Z dodajanjem mikroorganizmov, encimov ter preprostih organizmov v aeracijske bazene drastično povečamo biološko maso aktivnega blata, preprečimo razvoj večjih organizmov in zmanjšamo količino mnogoceličnih nitastih organizmov. Specifikacija mikroorganizmov, za katere želimo, da prevladujejo v sistemu čiščenja, je odvisna od okoliških pogojev, zasnove procesa, načina delovanja čistilne naprave in lastnosti pritoka surove odpadne vode. Bakterije so mikroorganizmi, za katere želimo, da so v procesu čiščenja številčno najbolj zastopani, saj so pomembni za aktiviranje blata. Nekatere so aerobne (lahko živijo samo v prisotnosti kisika), druge so anaerobne (aktivne samo v odsotnosti kisika). Da dosežemo idealno sinergijo med obema tipoma bakterij, je obvezna analiza vstopne surove odpadne vode v sistem čiščenja.

Heterotrofne bakterije priskrbijo energijo iz organskih snovi, ki jih pretvorijo v ogljik in s tem ustvarjajo pogoje za razvoj novih celic. Najpomembnejše družine bakterij so *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Citromonas*, *Flavobacterium*, *Pseudomona* in *Zoogloea*. V preparat so dodane tudi bakterije brez žvepla iz družin *Thiorhodaceae*, *Chlorobacteriaceae* in *Athiorhodaceae*, ki so fotosintetične, prenašajo kisik in se lahko razvijajo v temi, energijo pa pridobivajo iz dihalnega metabolizma organskih spojin. Rodovi teh mikroorganizmov lahko razgradijo produkte, ki so do sedaj veljali za strupene ali težko presnovljive, na primer ogljikovodiki, ksiloli, fenoli in površinsko aktivne snovi. Poleg tega uničijo aktivne glivice, patogene klice in sulfat-reducirajoče bakterije, saj preprečujejo nastajanje žveplovodikove kisline in drugih motečih vonjav, ki se navadno pojavijo v onesnaženih okoljih.

Avtotrofne bakterije, ki se nahajajo v preparatu, reducirajo oksidirani ogljik (CO_2) za razvoj celic. Te bakterije pridobivajo energijo z oksidacijo amoniaka v nitrat v dvostopenjski izmenjavi (proces, znan kot nitrifikacija). Nitrobakterije predstavljajo nizek delež celotne količine mikroorganizmov v aktivnem blatu in se razmnožujejo dvakrat počasneje kot heterotrofne bakterije. Aktivnemu blatu se selekcionirano dodajajo dve družini bakterij, ki spreminjata amoniak v nitrate, in sicer *Nitrobacter* ter *Nitrosomonas*.

Zaradi določenih vrst glivic v aktivnem blatu je zelo pomembna izbira bakterij, ki jih dodajamo. Glivice so multicelični organizmi, presnavljajo organske komponente ter s pravilno izbranimi bakterijami v določenem okolju uspešno tvorijo mešano kulturo. Z

dodajanjem majhne količine glivic povečamo oksidacijo amoniaka v nitrate. Glivice, katere se dodajajo v preparat, če niso prisotne, so *Sphaerotilus natans* in *Zoogloea sp.*

V preparatih so, odvisno od sestave odpadne vode, prisotni tudi preprosti organizmi, katerih naloga je, da presnavljajo hrano, enako kot to storijo nitasti organizmi ter amebe. Zaradi svoje zgradbe se preprosti organizmi velikokrat hitreje širijo, ter zmanjšajo količino hrane nitastim organizmom, kar vodi v izumrtje nitastih organizmov v odpadni vodi. Z zmanjšanjem količine nitastih organizmov se zmanjša hidravlična obremenitev vode ter prostornina aktivnega blata.

Bakterije imajo vodilno vlogo tudi pri zmanjševanju strupenosti odpadnih voda (virusi, *Escherichia Coli*), ki se pojavi zaradi odsotnosti ali pomanjkanja bakterij in nezmožnosti prenosa preprostih mikroorganizmov v aktivno blato. Za odpravljanje strupenosti je torej pomembna pravilna izbira bakterij, ki skozi presnovo proizvajajo antibiotike, ki uničujejo viruse in patogene bakterije. Populacija bakterije *Escherichia Coli* se v procesu aktivnega blata zmanjša od 91 do 99 %.

Mikroorganizmi in encimi igrajo pomembno vlogo tudi pri odvajanju organskih snovi (snovi, ki vsebujejo ogljik) in nitrificiranega amoniaka iz vode. Pri procesu ločevanja trdnih delcev aktivnega blata od vode pride s pomočjo polimera do vezave organskih in anorganskih spojin v flokule, večje od 1 mm.

S pravilno uporabo selekcioniranih encimov in mikroorganizmov za posamezne sisteme tako dosežemo:

- Pri aerobnem dihanju se ustvari vzorec presnavljanja, pri katerem se lahko uporabi anorganski prejemnik elektronov, ki ni kisik.
- Maščobne kisline se pretvorijo v CO₂ z uporabo nitrata kot oksidacijskega agenta ali končnega prejemnika elektronov.
- Sestavljeni ogljikovi hidrati se razkrojijo v sladkorje in naprej v CO₂.
- Beljakovine se razgradijo v peptide in aminokisline, potrebne za razmnoževanje bakterij.
- Antibiotiki – produkti presnove – razkužijo vodo.
- Količina blata se zmanjša za 20 – 45 %, odvisno od čistilne naprave.
- Kapaciteta ČN se poveča.

- Dehidracija (sušina) blata se poveča.

6.5.1.1 Uporaba mikrobioloških preparatov Bio-complex

a) Bio-complex Liquid Concentrate

Uporaba preparata te vrste je omejena predvsem na okoliščine, kjer je potreben takojšen učinek. Z njegovih doziranjem v proces čiščenja odpadnih voda dosežemo takojšnjo aktivacijo pufrske kapacitete, stimulacijo že obstoječe mikrobiološke kulture in vzpostavitev nove. Bio-complex Liquid Concentrate je preparat rastlinskega izvora, ki vsebuje rjave morske alge (*Acsophyllum nodosum* – norveški kelp).

Doziranje

Prvi dan poskusa smo izvedli stimulacijo obstoječe mikroflore in vzpostavitev nove z doziranjem 20 l preparata Bio-complex Liquid Concentrate v egalizacijski bazen ČN.

b) Bio-complex K 20 Microflora Activator

K 20 Microflora Activator je koncentrat polisaharidov rastlinskega izvora, ki vsebuje številne strukturne elemente sladkorjev. V 1 cm³ se nahaja 6·10⁸ bakterij. Aktivator nevtralizira strupene snovi v odpadni vodi in ustvarja pogoje za močan in pester razvoj mikroorganizmov. Prav tako izenačuje nepravilnosti v odpadni vodi in omogoča hitro, dobro uravnovešeno biološko razgradnjo onesnaženja v aerobnem procesu čiščenja. Mikrobiološki preparat K 20 preprečuje tudi tvorbo H₂S in drugih neprijetnih vonjav. Tvorba flokul, ki jo povzročijo kovinski ioni v kombinaciji s polisaharidi, omogoča odstranjevanje raztopljenih in suspendiranih snovi iz vode. Bio-complex K 20 Microflora Activator je popolnoma nestrupen proizvod za človeka, živali in rastline.

Doziranje

Med poskusom smo porabili 1 l preparata Bio-complex K 20 Microflora Activator na dan, ki smo ga razredčili z vodo v razmerju 1 : 100 in s pomočjo črpalke dozirali neposredno v egalizacijski bazen. Čas doziranja pri tem ni bil pomemben.

6.5.2 Opis dela

Operativni del poskusa se je izvajal aprila. Vsak dan smo pripravili suspenzijo 1 l preparata Bio-complex K20 Microflora Activator, razredčenega s 100 l vode. Nastalo suspenzijo smo s pomočjo črpalke dozirali v egalizacijski bazen. Začetni dnevi poskusa so bili namenjeni predvsem umerjanju pravšnje vrednosti raztopljenega kisika v reaktorju SBR. Ker v reaktorju ni bilo nameščene samodejne kontinuirne merilne naprave za koncentracijo raztopljenega kisika, smo v reaktor namestili sondo za merjenje te vrednosti. Določili smo, da se delovanje kompresorjev za vpihovanje zraka zmanjša z 98 % na 75 %, kar pomeni zmanjšanje kisika z vrednosti 5,85 mg/l na višku aeracijske faze na 2,75 mg/l. Po enem tednu poskusa je bil 8. 4. 2009 opravljen redni obratovalni monitoring, ki je že pokazal izboljšanje na iztoku iz ČN. V sklopu monitoringa je bila opravljena tudi meritev vrednosti KPK na vhodnem črpališču pred vtokom v ČN. Dnevno je Javno komunalno podjetje Žalec opravljalo tudi redne meritve parametrov, na podlagi katerih smo lahko primerjali učinek čiščenja pred dodajanjem bakterijskih združb in po njem.

6.6 Rezultati

Vrednosti parametrov za izračun učinkovitosti čiščenja so pridobljene iz meritev, ki jih redno opravlja Javno komunalno podjetje Žalec, ter iz poročil o rednem obratovalnem monitoringu.

Za predstavitev podrobnejših analiz o izboljšanem učinku čiščenja sem primerjal meseca marec in april za leti 2007 in 2009.

Preglednica 2: Povprečne mesečne vrednosti parametrov

	Q [m ³]	T [° C]	pH	Used. snovi [ml/l]	KPK [mg O ₂ /l]
Marec 2007 ⁴	728	17,0	6,7	1,2	1270
Marec 2009 ⁵	981	15,8	8,0	4,3	640
April 2007	708	16,9	6,9	1,1	1181
April 2009 ⁶	750	15,8	7,8	4,2	493

Primerjava povprečnih vrednosti v posameznih mesecih nam pokaže, da so povprečni pretoki sicer različni, vendar so, enako kot temperatura, posledica nihanj proizvodnje. Povprečna vrednost pH v mesecu marcu leta 2007 je kar za 1,3 manjša kot v istem mesecu leta 2009, aprilski vrednosti se med seboj razlikujeta za 0,9. Zaradi izgradnje egalizacijskega bazena, kjer potekata procesa izenačevanja in nevtralizacije, je takšno odstopanje pričakovano. Iz preglednice je razvidno veliko odstopanje v količini usedljivih snovi. Z izgradnjo ČN so se količine usedljivih snovi na iztoku povečale. Razlog vidim predvsem v neoptimalnem upravljanju ČN, kar posledično pomeni več nezaželenega aktivnega blata na iztoku. Iz primerjave vrednosti za parameter KPK v marcu za leti 2007 in 2009 je razvidno 49,6 % zmanjšanje vrednosti z uvedbo ČN za predčiščenje odpadnih voda. Učinek zmanjšanja vrednosti KPK je še večji, če primerjamo aprilске vrednosti za leti 2007 in 2009, in znaša 58,3 %.

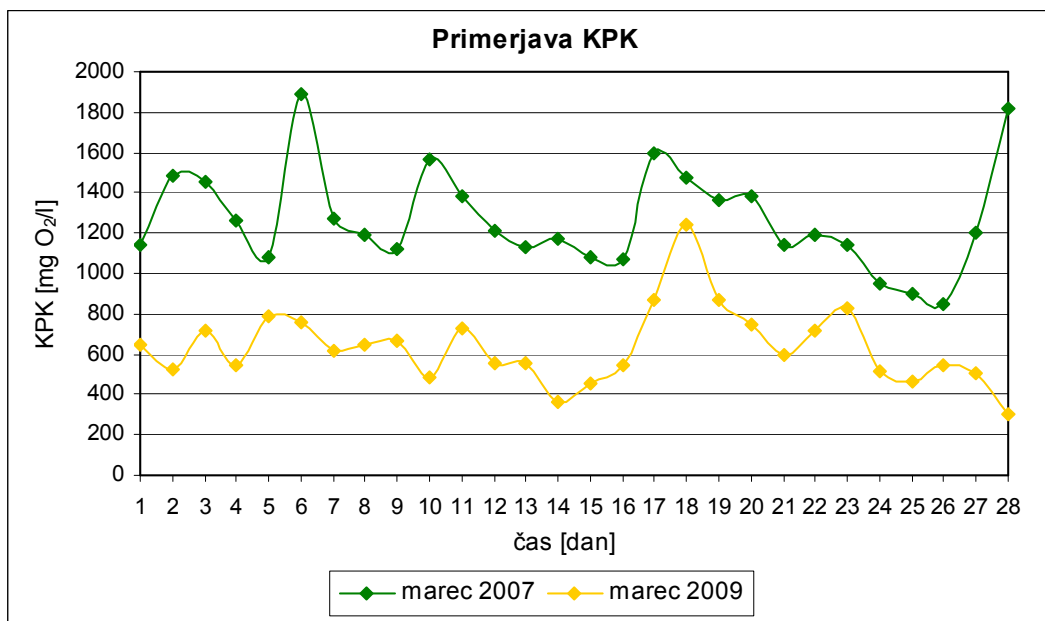
Upoštevajoč KPK surove odpadne vode, izmerjen v sklopu rednega obratovalnega monitoringa, ki je znašal 2340 mg O₂/l,⁷ se je z izgradnjo ČN vrednost KPK zmanjšala za 72,65 % (primerjava z marcem 2009). Z dodajanjem preparatov je učinek čiščenja izboljšán za 78,93 % (primerjava z aprilom 2009).

⁴ Marca in aprila 2007 še ni bila zgrajena ČN za predčiščenje odpadnih voda.

⁵ ČN je že obratovala.

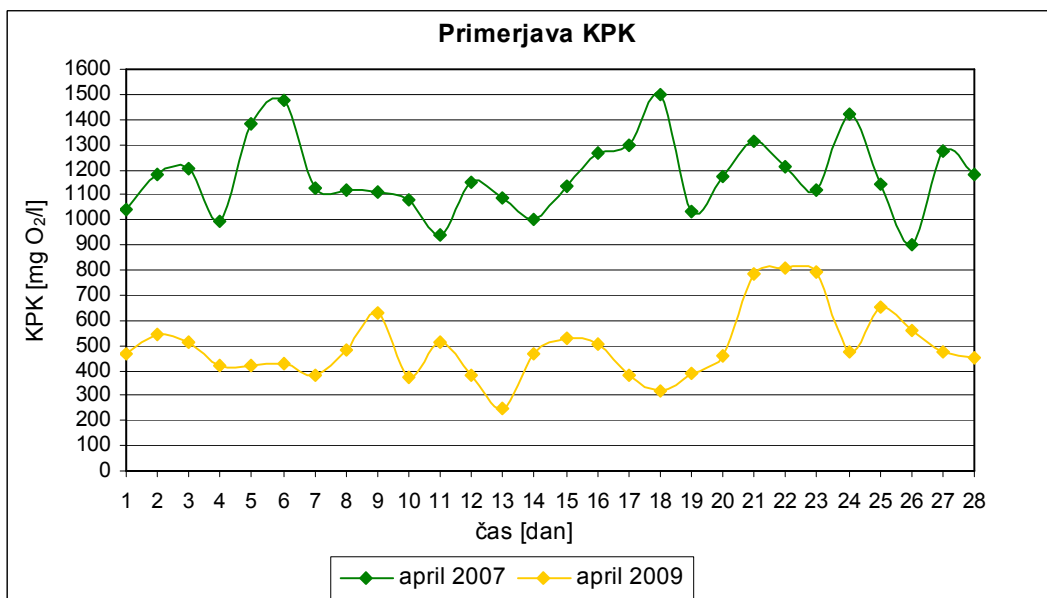
⁶ Izvedba poskusa z dodajanjem encimsko-mikrobioloških preparatov.

⁷ Vrednost KPK za surovo odpadno vodo je bila izmerjena le enkrat, zato ni nujno, da je ta vrednost reprezentativna.



Grafikon 1: Primerjava KPK za marec 2007 in 2009

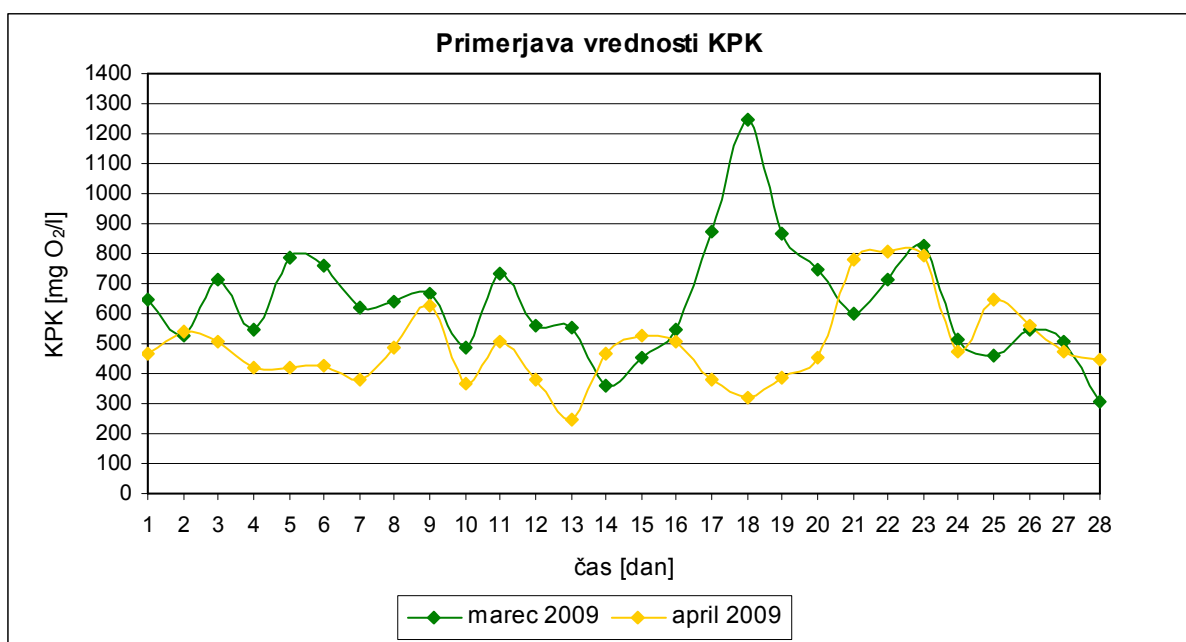
Zgornji grafikon prikazuje občutno zmanjšanje (za 49,6 %) vrednosti KPK z uvedbo ČN za predčiščenje odpadnih voda.



Grafikon 2: Primerjava KPK za april 2007 in 2009

Z izvedbo poskusa v aprilu 2009 se je vrednost KPK v primerjavi z istim mesecem leta 2007, ko še ČN ni bila zgrajena, zmanjšala za 58,3 %.

Za podrobnejšo analizo izboljšave učinkovitosti čiščenja smo primerjali marec⁸ in april⁹ za leto 2009. Izpis podrobnejših merjenih vrednosti različnih parametrov za oba meseca je podan v prilogah C in D. Kot je razvidno iz povprečnih vrednosti KPK, se je zaradi dodajanja encimsko-mikrobioloških preparatov učinek čiščenja izboljšal za 27,1 %. Povprečne vrednosti usedljivih snovi v obeh obravnavanih mesecih so ostale približno enake, medtem ko se je povprečna vrednost pH v mesecu aprilu znižala za 0,2. Temperatura vode je po pričakovanjih ostala nespremenjena.



Grafikon 3: Primerjava parametra KPK za marec in april 2009

Iz grafa je razvidna dinamika dnevnih nihanj vrednosti KPK, ki so predvsem posledica nihanj v proizvodnih linijah. Vsaka sprememba proizvodnega načrta povzroči pranje linij, kar se odraža v povečanih količinah in spremenjenih lastnostih odpadne vode. Odpadne vode, ki so posledica pranj proizvodnih linij, praviloma vsebujejo ostanke raznih čistilnih sredstev.

⁸ normalno obratovanje ČN

⁹ dodajanje encimsko-mikrobioloških preparatov v proces čiščenja

Če povzamemo poročila o že opravljenem rednem obratovalnem monitoringu v letu 2009, lahko vidimo izboljšane vrednosti vseh merjenih parametrov v sklopu monitoringa, opravljenega 8. 4. 2009¹⁰. Vrednost KPK se je znižala za 31,6 % v primerjavi z vrednostjo, določeno s prvim obratovalnim monitoringom v letu 2009. V sklopu rednega obratovalnega monitoringa zajemamo 24-urni reprezentativni vzorec, saj se želimo s tem čim bolj izogniti nihanjem v količini in kakovosti odpadnih voda.

Preglednica 3: Vrednosti parametrov na iztoku iz ČN

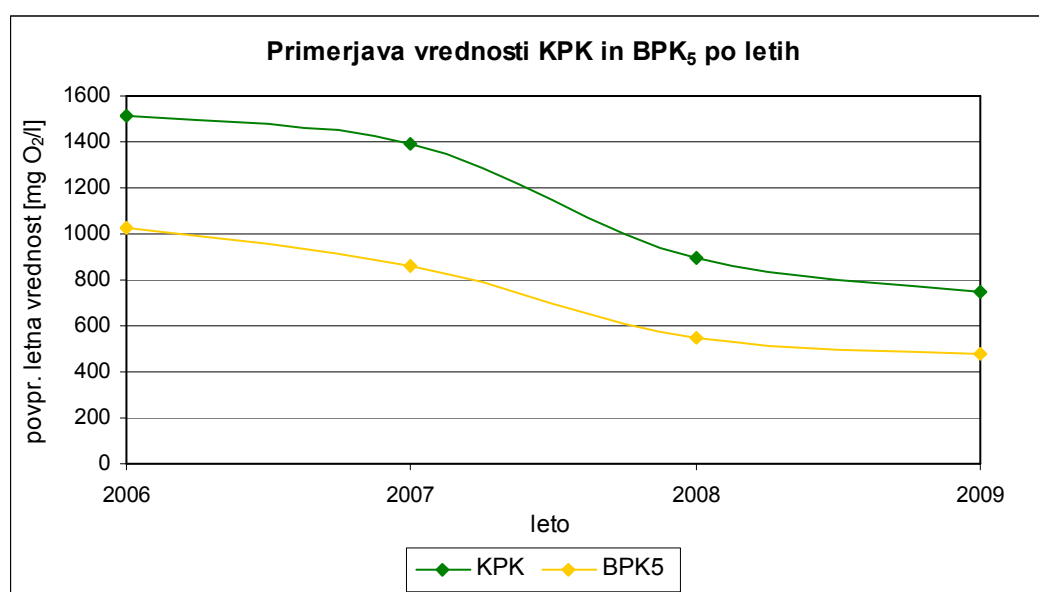
Parameter	Enota	Datum opravljenega monitoringa	
		5. 2. 2009	8. 4. 2009
Neraztopljene snovi	mg/l	290	170
Usedljive snovi	ml/l	0,8	0,05
Amonijev dušik	mg/l N	3,8	4,9
Nitritni dušik	mg/l N	0,06	0,06
Celotni fosfor	mg/l P	11,8	8,99
Sulfat	mg/l SO ₄	12	9
Celotni organski ogljik (TOC)	mg/l C	168	116
Kemijska potreba po kisiku (KPK)	mg/l O ₂	890	609
Biokemijska potreba po kisiku (BPK ₅)	mg/l O ₂	560	400
Težko hlapne lipofilne snovi	mg/l	78	46,6
Adsorbiljivi organski halogeni (AOX)	mg/l Cl	0,25	0,099
Celotni vezani dušik	mg/l N	30,8	23,1

Pogled na povprečno letno vrednost KPK in BPK₅ v letih 2006–2009 nam prikazuje opazen trend upadanja, ki je prikazan tudi na spodnjem grafikonu. Znižanje povprečne vrednosti KPK v letu 2009 pripisujem predvsem uporabi encimsko-mikrobioloških preparatov.

¹⁰ Dodajanje encimsko-mikrobioloških preparatov je v času opravljenega monitoringa potekalo že 7. dan.

Preglednica 4: Povprečne vrednosti KPK in BPK₅ v letih 2006–2009

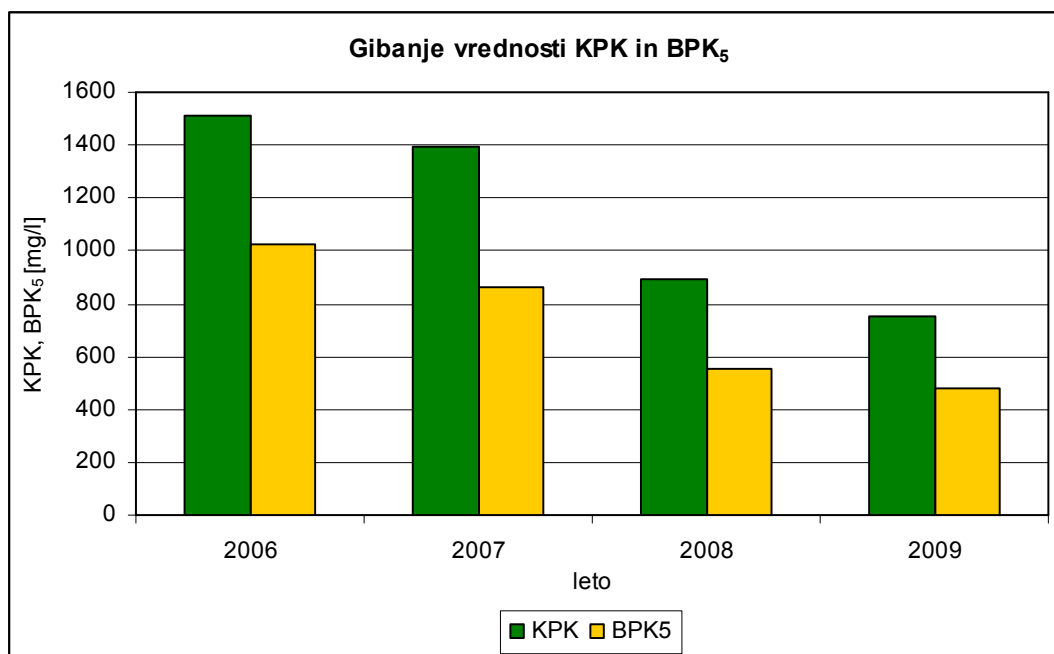
Leto	2006	2007	2008	2009
Parameter	Povprečna letna vrednost [mg O ₂ /l]			
KPK	1512	1395	893	750 ¹¹
BPK ₅	1028	862	550	480 ¹²
BPK ₅ /KPK	0,68	0,62	0,62	0,64



Grafikon 4: Primerjava povprečnih vrednosti parametrov KPK in BPK₅ v letih 2006–2009

¹¹ Povprečna vrednost KPK je izračunana na podlagi opravljenih monitoringov v letu 2009.

¹² Povprečna vrednost BPK₅ je izračunana na podlagi povprečnega razmerja BPK₅/KPK v letih 2006–2008.



Grafikon 5: Prikaz gibanja vrednosti KPK in BPK₅ v letih 2006–2009

Z nadaljnjo uporabo encimsko-mikrobioloških preparatov v procesu čiščenja odpadne vode bodo vrednosti parametra KPK, izmerjene v sklopu nadaljnjih rednih obratovalnih monitoringov, primerljive ali nižje od vrednosti, izmerjene na zadnjem opravljenem monitoringu dne 8. 4. 2009. Zato se bo povprečna vrednost parametra KPK na letni ravni še znižala in trend upadanja bo še izrazitejši.

6.6.1 Ekonomska upravičenost uporabe preparata Bio-complex

Struktura stroškov, ki jih Mlekarna Celeia plačuje za ravnanje s pitno in odpadno vodo, je prikazana spodaj:

- vodarina,
- strošek okoljske dajatve za rabo vode,
- števina,
- kanalščina,
- čiščenje odpadne vode,
- okoljska dajatev.

Preglednica 5: Prikaz načina obračunavanja stroškov in prejemnikov plačil

Stroškovna postavka	Obračunska enota	Prejemnik plačila
Vodarina	m ³ pitne vode	JKP
Okoljska dajatev za rabo vode	m ³ pitne vode	JKP – celoten znesek se kasneje odvede v državni proračun
Števnina ¹³	/	JKP
Kanalščina	m ³ odpadne vode	JKP
Čiščenje odpadne vode	m ³ odpadne vode, faktor onesnaženja, interni faktor ¹⁴	JKP
Okoljska dajatev	enota obremenitve – EO	Republika Slovenija

Za prikaz ekonomske upravičenosti uporabe encimsko-mikrobioloških preparatov nas zanimajo samo stroški, povezani z odpadno vodo. To so kanalščina, čiščenje odpadne vode in okoljska dajatev. Strošek kanalščine je povezan samo s količino odpadne vode, ne pa tudi z njeno kvaliteto, zato ga v nadaljnjem prikazu izpustimo. Strošek čiščenja odpadne vode se določa na osnovi količine odpadne vode, faktorja onesnaženosti in internega faktorja. Za izračun faktorja onesnaženosti se uporablja formula, ki je zapisana v Pravilniku o tehnični izvedbi in uporabi javnih objektov in naprav za odvajanje in čiščenje odpadnih komunalnih ter padavinskih voda (Ur. l. RS, št. 66/2007, z dne 24. 7. 2007):

$$F = 0,40 \cdot U_i / U_f + 0,60 \cdot KPK_i / KPK_f + 0,1 \cdot S_i / S_f + 0,1 \cdot K_i / K_f \quad (18)$$

Razlaga simbolov:

F faktor onesnaženosti,

U_i usedljivost industrijske odpadne vode po Imhoffu v 60 minutah,

U_f¹⁵ usedljivost komunalne odpadne vode po Imhoffu v 60 minutah, ki je določena kot konstanta 5 ml/l,

¹³ Števnina je obravnavana kot fiksni strošek za uporabo vodomera in merilca petoka za odpadne vode.

¹⁴ Interni faktor je določen pogodbeno med JKP in Mlekarno Celeia in zaradi tajnosti podatkov ni podan.

¹⁵ Konstanta U_f po določilih pogodbe med JKP in Mlekarno Celeia znaša 20 ml/l.

KPK _i	izmerjena kemijska potreba po kisiku izmerjene odpadne vode s K-bikarbonatom,
KPK _f	kemijska potreba po kisiku komunalne odpadne vode s K-bikarbonatom, ki je določena kot konstanta 300 mg O ₂ /l,
S _i	strupenost industrijske odpadne vode kot faktor razredčenosti, da odpadna voda ne deluje več zaviralno na razvoj bakterij (test po Offhausovi metodi),
S _f	strupenost komunalne odpadne vode kot faktor razredčenosti, da odpadna voda ne deluje več zaviralno na razvoj bakterij (test po Offhausovi metodi),
K _i	vsebnost težkih kovin in snovi, ki presegajo mejne vrednosti, določene s 63. členom Pravilnika,
K _f	mejne koncentracije težkih kovin in snovi, ki presegajo mejne vrednosti, določene s 63. členom Pravilnika.

Kadar je onesnaženost odpadne vode (i) po posameznih kriterijih manjša, kot je določena za komunalno odpadno vodo (f), se v števcu uporabi konstanta, določena za komunalno odpadno vodo. Kriterija S in K se prištevata samo, kadar je količnik ulomka večji od ena.

Interni faktor, ki se prav tako upošteva pri izračunu stroška čiščenja odpadne vode, je pogodbeno določen med uporabnikom (Mlekarna Celeia) in izvajalcem (JKP). Višina internega faktorja je določena glede na povprečno obremenitev (PE), ki se razvršča v štiri razrede. Pri povprečni obremenitvi do 10.000 PE se internega faktorja ne upošteva pri izračunu cene za čiščenje odpadne vode.

Formula za izračun stroška za čiščenje odpadne vode je torej:

$$S_{OV} = F \cdot F_i \cdot V_{msec} \cdot PC \quad (19)$$

Razlaga simbolov:

S _{OV}	strošek za čiščenje odpadne vode [EUR]
F	faktor onesnaženja
F _i	interni faktor

V_{mesec} skupna mesečna količina odpadne vode [m^3]
PC cena m^3 odpadne vode [EUR/m^3]

Preglednica 6: Primerjava stroškov za čiščenje odpadne vode

Mesec	F	V_{mesec} [m^3]	PC [EUR/m^3]	S_{ov} [EUR]
Marec 2009	2,628	25.656	0,7309	49.280,18
April 2009	1,386	22.139	0,7309	22.427,63

Zaradi dodajanja preparata v proces čiščenja se je vrednost KPK zmanjšala za 27,1 %. Zmanjšanje KPK vrednosti se odraža tudi na znižanju stroška za čiščenje odpadne vode. Znesek je v primerjavi s prejšnjim mesecem nižji za 54,5 %.

Mlekarna Celeia je zavezanec za plačilo okoljske dajatve v proračun Republike Slovenije. Osnova za izračun višine okoljske dajatve je število EO, ki ga na podlagi rednih letnih poročil o obratovalnem monitoringu in *Uredbe o okoljski dajatvi za onesnaževanje okolja zaradi odvajanja odpadnih voda* določi pooblaščen izvajalec obratovalnega monitoringa. Končna višina zneska okoljske dajatve se izračuna tako, da se število EO pomnoži s ceno enote, ki je v veljavi za tekoče leto.

$$S_{OD} = n_{EO} \cdot C \quad (20)$$

Razlaga simbolov:

S_{OD} strošek okoljske dajatve
 n_{EO} število EO
C cena za EO [EUR]

Preglednica 7: Primerjava zneska okoljske dajatve v letih 2008 in 2009

Leto	n_{EO}^{16}	C [EUR]	S_{OD} [EUR]
2008	5798,2	26,4125	153.144,96
2009 ¹⁷	4989,4	26,4125	131.782,52

Zaradi uporabe preparata skozi celo leto bi se število EO in višina zneska okoljske dajatve zmanjšala za 13,9 %.

6.7 Diskusija rezultatov in predlagane izboljšave procesa čiščenja

Z dodajanjem encimsko-mikrobioloških preparatov v proces čiščenja odpadnih voda smo izboljšali kakovost očiščene vode na iztoku in ekonomsko upravičili njihovo vsakodnevno uporabo. Pri mesečnem znesku 300 EUR za nakup preparatov ugotovimo, da je cena nakupa zanemarljiva v primerjavi z zneski, ki jih mlekarna privarčuje. Mlekarna sedaj dosega predpisane kriterije za izpust odpadnih voda v javno kanalizacijo, z morebitnimi dodatnimi investicijami v tehnologijo čiščenja odpadnih voda pa bi lahko celo dosegla kriterije za izpust prečiščene vode v vodotok.

Ugotovitve in predlagane izboljšave

- KPK surove odpadne vode znaša 2340 mg/l. Z izgradnjo ČN se je vrednost zmanjšala za 61,8 %, če pa bi čiščenje potekalo z uporabo encimsko-mikrobioloških preparatov, bi bila vrednost v primerjavi z začetno nižja za 67,9 %.
- Za zmanjšanje količine odpadnih voda na iztoku bi bilo potrebno urediti interno napeljavo na način, ki bi po predhodnem čiščenju omogočal ponovno uporabo nekaterih manj onesnaženih odpadnih voda za hlajenje.

¹⁶ Število EO je določeno brez upoštevanja učinka čiščenja.

¹⁷ Izračun EO za leto 2009 temelji na povprečnih vrednostih že opravljenih obratovalnih monitoringov v letu 2009 in povprečni letni količini odpadne vode v letu 2008.

- Delovanje kompresorjev bi bilo treba še zmanjšati, saj je trenutna koncentracija raztopljenega kisika v odpadni vodi, ki znaša na višku aeracijske faze 2,75 mg/l, previsoka. Optimalna koncentracija raztopljenega kisika naj zajema interval od 1,5 do 2 mg/l. Z zmanjšanjem moči kompresorjem se zniža tudi znesek porabljene električne energije.
- V egalizacijskem bazenu je treba urediti kontrolirano vpihovanje zraka. S tem bo omogočena aerobna razgradnja organskih snovi, še preden voda odteče v SBR ali se prelije v zbirni bazen in na iztok.
- V reaktorju SBR je nujno potrebno zagotoviti tipalo za merjenje koncentracije raztopljenega kisika, ki bo prek računalniškega krmilnega sistema povezana s kompresorjem za vpihovanje zraka.
- Smiselno je dosegati učinke čiščenja, ki ne presegajo povprečne mesečne biokemične obremenitve 10.000 PE, saj se tako pri izračunu stroška za čiščenje odpadne vode izognemo množenju z internim faktorjem.
- Povečati je treba količino očiščene vode, tako da zmanjšamo zadrževalni čas v reaktorju SBR z osmih na štiri ure oziroma šest ur. Voda na iztoku iz SBR bo sicer malo slabše kakovosti, kot je bila pri osemurnem zadrževalnem času, vendar bo dnevno povprečje merjenih parametrov bistveno boljše.
- Z uvedbo principa ekološke proizvodnje bi s pravilnim, smiselnim in učinkovitim načrtovanjem proizvodnega programa lahko zmanjšali količino in onesnaženost odpadnih voda.
- Pred vstopom odpadne vode v reaktor SBR je treba v sklopu predčiščenja odstraniti maščobe, ker zavirajo optimalno delovanje bioloških procesov v reaktorju.
- Smiselna je uvedba objektov za predčiščenje, kot so flotacijske, flokulacijske naprave in posnemovalci olj ter maščob.

7 ZAKLJUČEK

Pri predelavi mleka v mlečne izdelke nastanejo znatne količine zelo obremenjenih odpadnih voda, še posebej na tehnološko zastareli opremi. Obremenjenost se bistveno zmanjša, če imamo urejeno ustrezno predhodno čiščenje. Podatki kažejo, da mlekarna spušča iz proizvodnje bistveno bolj obremenjene odpadne vode, kot bi pričakovali na podlagi normativov ATV, VDI in BAT. Razlog za to je v tem, da nimajo dovolj učinkovitih postopkov predhodnega čiščenja. Zato plačujejo državi visoke takse za obremenjevanje voda, upravljavcem čistilnih naprav pa visoke stroške za čiščenje odpadnih voda. V sodelovanju z Mlekarno Celeia smo opravili *in situ* poskus čiščenja mlekarniških odpadnih voda z encimsko-mikrobiološkimi preparati in tako dokazali uspešnost uporabe naravnih preparatov pri organsko obremenjenih odpadnih vodah. Pri izvedbi poskusa na ČN je potekalo interdisciplinarno sodelovanje različnih strokovnih sodelavcev, ki so s svojim znanjem pripomogli k uspešnosti poskusa in zadovoljivim končnim rezultatom. Predpostavka o upravičenosti uporabe encimsko-mikrobioloških preparatov, ki sem jo dokazoval skozi praktični del diplomske naloge, se je izkazala za pravilno. Z izvedbo enomesečnega poskusa na obstoječi ČN za predčiščenje odpadnih voda Mlekarne Celeia smo nedvomno dokazali bistveno izboljšanje biološkega procesa čiščenja in znatno zmanjšanje vrednosti KPK na iztoku. Prihranek mlekarne pri plačilu okoljske dajatve in stroška za čiščenje odpadne vode je zaradi izboljšanja učinka čiščenja velik. Denarna sredstva, ki se na ta način prihranijo, je smiselno uporabiti za nadaljnje vlaganje v nadgradnjo obstoječega sistema za predčiščenje odpadnih voda.

Z uvedbo tehnoloških dopolnitev v sistem čiščenja odpadnih voda, uporabo encimsko-mikrobioloških preparatov in z ustreznim izobraževanjem upravljavskih kadrov lahko bistveno izboljšamo učinek čiščenja na obstoječi ČN in celo dosežemo zakonsko predpisane vrednosti za izpust odpadnih voda v vodotok. Končni rezultati tako nakazujejo smernice razvoja pri čiščenju močno obremenjenih odpadnih voda mlekarske industrije.

VIRI

Arvanitoyannis, I. 2008. Waste management for the food industries. Oxford, Elsevier Inc.: str. 801–861.

ATV-Handbuch. 2000. Industrieabwasser Lebensmittelindustrie, 4. Auflage. Berlin, Ernst & Sohn: str. 259–277.

Bitton, G. 2005. Wastewater microbiology, Third edition. Hoboken, John Wiley & Sons, Inc.: 746 str.

Drev, D., Panjan, J. Študija ekonomske upravičenosti postavitve učinkovitega predhodnega čiščenja odpadnih voda iz mlekarn v Sloveniji. Ljubljana, Inštitut za vode RS, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 10 str.

Drev, D., Planinšek, A., Batič, E. in sod. 1998. Predhodno čiščenje mlekarniških odpadnih voda. V: Zbornik referatov s posvetovanja / Slovenski kemijski dnevi 1998, Maribor, 17. in 18. september 1998. Maribor, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo: str. 433-438.

Kurbus, T. 2008. Razvoj visoko učinkovitega postopka čiščenja odpadnih vod v šaržnem biološkem reaktorju. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo: 117 f.

Liu, S. 2007. Food and agricultural wastewater utilization and treatment. Ames, Blackwell Publishing Professional: 277 str.

Panjan, J. 2001. Čiščenje odpadnih voda. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 168 str.

Panjan, J. 2004. Količinske in kakovostne lastnosti voda. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Panjan, J. 2005. Osnove zdravstveno hidrotehnične infrastrukture: vodovod in čiščenje pitnih voda, odvod in čiščenje onesnaženih voda in komunalni odpadki, 2. izdaja. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 289 str.

Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih vod ter o pogojih za njegovo izvajanje. Uradni list RS št. 74/2007:10506.

Roš, M. 2001. Biološko čiščenje odpadne vode. Ljubljana, GV Založba: 243 str.

Toman, M. 1992. Aerobno čiščenje odpadnih voda. Biotehnologija: str. 516–524.

Urbanič, G., Toman, M. 2003. Varstvo celinskih voda. Ljubljana, Študentska založba: str. 77–85.

Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadne vode iz naprav za obdelavo in predelavo živalskih in rastlinskih surovin ter mleka pri proizvodnji hrane za prehrano ljudi in živalske krme. Uradni list RS št. 45/2007: 6192.

Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo. Uradni list RS št. 47/2005: 4737.

Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav. Uradni list RS št. 45/2007: 6170.

Uredba o spremembah in dopolnitvah Uredbe o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo. Uradni list RS št. 45/2007: 6245.

Uredba o spremembah in dopolnitvah Uredbe o okoljski dajatvi za onesnaževanje okolja zaradi odvajanja odpadnih voda. Uradni list RS št. 85/2008: 11885.

Uredbe o okoljski dajatvi za onesnaževanje okolja zaradi odvajanja odpadnih voda. Uradni list RS št. 123/2004: 14819.

Zakon o varstvu okolja. Uradni list RS št. 41/2004: 4818.

Zakon o vodah. Uradni list RS št. 67/2002: 7648.

**PRILOGA A: MEJNE VREDNOSTI PARAMETROV INDUSTRIJSKE ODPADNE
 VODE**

Parameter	Izražen kot	Enota	MEJNE VREDNOSTI	
			za odvajanje neposredno in posredno v vode	za odvajanje v javno kanalizacijo
I. SPLOŠNI PARAMETRI				
Temperatura		° C	30	40
pH-vrednost			6,5–9,0	6,5–9,5
Neraztopljene snovi		mg/l	80	(a)
Usedljive snovi		ml/l	0,5	10
II. ANORGANSKI PARAMETRI				
Amonijev dušik	N	mg/l	10	(b)
Nitritni dušik	N	mg/l	1,0	10
Nitratni dušik	N	mg/l	(c)	-
Celotni dušik	N	mg/l	(d)	-
Celotni fosfor	P	mg/l	2,0 1,0 (e)	-
III. ORGANSKI PARAMETRI				
Celotni organski ogljik (TOC)	C	mg/l	30	-
Kemijska potreba po kisiku (KPK)	O ₂	mg/l	120	-
Biokemijska potreba po kisiku (BPK ₅)	O ₂	mg/l	25	-
Težkohlapne lipofilne snovi (maščobe, mineralna olja ...)		mg/l	20	100 (j)

- (a) mejna vrednost koncentracije neraztopljenih snovi, težko hlapnih lipofilnih snovi in vsote anionskih in neionskih tenzidov v industrijski odpadni vodi se določi v okoljevarstvenem dovoljenju na podlagi mnenja upravljavca javne kanalizacije oziroma upravljavca komunalne ali skupne čistilne naprave kot vrednost, pri kateri ni vpliva na kanalizacijo ali čistilno napravo;
- (b) za odpadne vode, ki odtekajo na čistilne naprave z zmogljivostjo, manjšo od 2.000 PE, je mejna vrednost 100 mg/l, za tiste, ki odtekajo na čistilne naprave z zmogljivostjo, enako ali večjo od 2.000 PE, pa je mejna vrednost 200 mg/l, sicer pa se lahko določi višja mejna vrednost na način, ki ga določa 7. člen *Uredbe o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo*;
- (c) mejna vrednost se določi na način, ki ga določa 6. člen *Uredbe o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo*;
- (d) mejna vrednost se določi kot vsota mejne vrednosti amonijevega dušika in mejne vrednosti nitratnega dušika, izražene kot N;
- (e) se uporablja na občutljivih območjih v skladu s predpisom, ki ureja emisijo snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav;
- (f) lahko se določi višja mejna vrednost na način, kot ga določa 7. člen *Uredbe o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo*.

**PRILOGA B: MEJNE VREDNOSTI PARAMETROV ODPADNE VODE IZ
 OBSTOJEČIH NAPRAV ZA PROIZVODNJO ŽIVIL ZA ODVAJANJE
 NEPOSREDNO IN POSREDNO V VODE IN JAVNO KANALIZACIJO**

Parameter	Izražen kot	Enota	MEJNE VREDNOSTI	
			za odvajanje neposredno in posredno v vode	za odvajanje v javno kanalizacijo
I. SPLOŠNI PARAMETRI				
Temperatura		° C	30	40
pH-vrednost			6,5 – 9,5	6,5 – 9,5
Neraztopljene snovi		mg/l	40	(a)
Usedljive snovi		ml/l	0,3	20
II. ANORGANSKI PARAMETRI				
Amonijev dušik	N	mg/l	5	(b)
Celotni dušik	N	mg/l	15(c)	-
Celotni fosfor	P	mg/l	2,0 1,0 (c)	-
III. ORGANSKI PARAMETRI				
Celotni organski ogljik (TOC)	C	mg/l	40	-
Kemijska potreba po kisiku (KPK)	O ₂	mg/l	130	-
Biokemijska potreba po kisiku (BPK ₅)	O ₂	mg/l	30	-
Težko hlapne lipofilne snovi (maščobe, mineralna olja,...)		mg/l	20	150

- (a) mejna vrednost koncentracije neraztopljenih snovi v industrijski odpadni vodi se določi v okoljevarstvenem dovoljenju na podlagi mnenja upravljavca javne kanalizacije in komunalne ali skupne čistilne naprave, in sicer kot vrednost, pri kateri ni negativnega vpliva na kanalizacijo ali čistilno napravo;
- (b) za odpadno vodo, ki odteka na čistilne naprave z zmogljivostjo, manjšo od 2.000 PE, je mejna vrednost 100 mg/l, za odpadno vodo, ki odteka na čistilne naprave z zmogljivostjo, enako ali večjo od 2.000 PE, je mejna vrednost 200 mg/l;
- (c) uporablja se za odvajanje odpadne vode na občutljivih območjih, kakor so določena v predpisu, ki ureja emisijo snovi pri odvajanju odpadnih voda iz komunalnih čistilnih naprav.

PRILOGA C: VREDNOSTI MERJENIH PARAMETROV NA IZTOKU ČN ZA MAREC 2009¹⁸

Datum	Dan	Dnevni pretok [m ³]	T [° C]	pH	Used. snovi [ml/l]	KPK [mg O ₂ /l]
1. 3.	ned	942				648 ¹⁹
2. 3.	pon	920	16,9	8,1	6,0	528
3. 3.	tor	1009	19,5	7,8	5,5	716
4. 3.	sre	1001	16,2	8,0	4,0	547
5. 3.	čet	1072	16,3	7,8	5,5	785
6. 3.	pet	1066	18,0	8,0	3,8	762
7. 3.	sob	1037	14,3	7,8		621
8. 3.	ned	1003				643
9. 3.	pon	1040	18,7	7,6	4,5	664
10. 3.	tor	974	13,5	8,1	2,5	489
11. 3.	sre	992	16,0	8,0	4,0	732
12. 3.	čet	1041	15,1	8,1	2,5	559
13. 3.	pet	945	14,8	8,2	2,0	555
14. 3.	sob	1050	14,8	8,2		362
15. 3.	ned	1096				454
16. 3.	pon	995	16,4	8,3	3,5	545
17. 3.	tor	1184	14,9	8,2	4,5	871
18. 3.	sre	1299	19,5	8,0	5,0	1244
19. 3.	čet	1107	15,7	8,3	4,0	864
20. 3.	pet	1115	17,0	8,3	3,5	746
21. 3.	sob	1060	15,9	7,8		601
22. 3.	ned	1031				713
23. 3.	pon	884	15,1	7,9	13,0	824
24. 3.	tor	628	13,5	8,0	3,0	515
25. 3.	sre	737	14,7	8,0	1,0	463
26. 3.	čet	758	16,2	7,9	6,0	547
27. 3.	pet	743	12,9	7,9	3,0	507
28. 3.	sob	750	13,3	8,0		306
Povpr.		981	15,8	8,0	4,3	640²⁰
Max.		1299	19,5	8,3	13,0	1244
Min.		628	12,9	7,0	1,0	306

¹⁸ Poročilo o opravljenih analizah in pretokih, ki ga mesečno izdaja JKP Žalec obsega merjene vrednosti od 28. dneva v mesecu do istega dne v naslednjem mesecu, zato so vrednosti v preglednicah podane od 1. do 28. dneva v mesecu.

¹⁹ Vrednosti parametrov KPK za nedeljo so izračunane povprečne vrednosti med dvema sosednjima dneva in ne dejanske merjene vrednosti.

²⁰ Povprečna vrednost parametra KPK za celoten marec 2009 je izračunana zgolj na podlagi merjenih vrednosti KPK.

**PRILOGA D: VREDNOSTI MERJENIH PARAMETROV NA IZTOKU ČN
ZA APRIL 2009**

Datum	Dan	Dnevni pretok [m ³]	T [° C]	pH	Used. snovi [ml/l]	KPK [mg O ₂ /l]
1. 4.	sre	839	15,0	7,9	1,5	467
2. 4.	čet	800	13,9	7,8	3,5	540
3. 4.	pet	794	16,2	8,0	3,5	510
4. 4.	sob	756	17,2	7,7		418
5. 4.	ned	740		7,8		422
6. 4.	pon	740	14,7	7,9	4,0	425
7. 4.	tor	760	18,6	7,8	0,2	379
8. 4.	sre	727	18,6	7,7	5,0	484
9. 4.	čet	773	17,6	7,8	3,5	627
10. 4.	pet	709	17,0	8	1,0	369
11. 4.	sob	757	16,2	7,7		510
12. 4.	ned	714		7,8		379
13. 4.	pon	674	17,4	7,9		247
14. 4.	tor	700	16,5	7,9	6,0	467
15. 4.	sre	775	16,6	7,8	6,5	527
16. 4.	čet	764	17,2	7,7	3,5	508
17. 4.	pet	741	16,5	8,2	2,0	382
18. 4.	sob	634	16,8	8,1		321
19. 4.	ned	644		8,1		388
20. 4.	pon	679	17,3	8,2	11,0	455
21. 4.	tor	729	15,0	7,8	16,0	781
22. 4.	sre	670	15,7	7,7	8,0	805
23. 4.	čet	778	12,0	7,7	4,0	791
24. 4.	pet	673	19,1	7,9	0,5	474
25. 4.	sob	866	12,8	7,6		650
26. 4.	ned	724		7,8		563
27. 4.	pon	710	12,6	8		476
28. 4.	tor	719	15,7	7,9	3,5	448
Povpr.		750	15,8	7,8	4,2	493
Max.		1090	19,1	8,2	16,0	805
Min.		634	12,0	7,6	0,2	247

PRILOGA E: SHEMATSKI PRIKAZ ČN MLEKARNE CELEIA

