

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

Kandidatka:
Petra Čepelnik

Primerjava biofiltracijskega reaktorja in ČN s podaljšano aeracijo

Diplomska naloga št.: 131

Mentor:
izr. prof. dr. Jože Panjan

Somentor:
asist. dr. Mario Krzyk

Ljubljana, 17. 12. 2009

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana Petra Čepelnik izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom:
» **Primerjava biofiltracijskega reaktorja in ČN s podaljšano aeracijo** »

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

Ljubljana, _____2009

*Voda, brez okusa si, brez barve, brez vonja, ne
moremo te določiti, okušamo te, pa te ne poznamo.
Življenju nisi potrebna: ti si življenje.
(G. SAUVAGE de Saint Marc)*

1 UVOD

Voda je vir življenja in je nosilec vseh bioloških procesov, ki se odvijajo na našem planetu. V uravnoteženem naravnem ekosistemu je samočistilnost voda zagotovljena. Z razvojem tehnoloških dejavnosti in urbanega okolja, pa so se emisije odpadnih snovi v vodotoke bistveno povečale, zato samočistilna sposobnost voda ne zadošča več. Odpadna voda se po uporabi vrača v okolje, največkrat v vodotoke, zato je potrebno čimbolj zmanjšati vnos hranilnih snovi in s tem posredno obremenitev in eutrofikacijo vodotokov. V urbanih naseljih lahko to dosežemo z izgradnjo kanalizacijskega sistema ter učinkovitim čiščenjem odpadne vode na čistilnih napravah. Gospodarjenje z vodami, predvsem pa čiščenje onesnaženih voda je tako neizbežno za zagotavljanje ustreznih življenjskih pogojev.

Čistilna naprava služi popolnemu ali delnemu očiščenju odpadne vode do te mere, da zmešana z vodo površinskega vodotoka zagotavlja normalni razvoj vodne flore in favne ter omogoča kopanje in napajanje živine. Zahtevana kvaliteta voda je podana z zakonsko določenimi vrednostmi posameznih parametrov snovi. Kakovost sprejemnikov očiščenih voda je odvisna od vrste čistilnih naprav ter njihovega učinkovitega upravljanja.

Z ozirom na potrebne tehnološke postopke za doseganje ustreznih kvalitete iztoka s čistilne naprave ločimo tri stopnje čiščenja odpadne vode. Prva stopnja predstavlja mehansko čiščenje. Na tej stopnji z mehanskimi postopki odstranimo večje neraztopljene delce onesnaženja, katerim pravimo suspendirane snovi. Na drugi stopnji čiščenja se odvija odstranjevanje večinoma raztopljenega organskega onesnaženja, ki bi sicer v okolju povzročalo pomanjkanje kisika. Ta stopnja se imenuje biološko čiščenje in se odvija s pomočjo mikroorganizmov. Tretja stopnja čiščenja preprečuje prekomerno zarast vodotokov, ker odstrani še velik del hranil (dušik in fosfor).

Biološko čiščenje odpadne vode predstavlja vrsto procesov, s katerimi se odstranjujejo nezaželeni snovi iz vode – organsko onesnaženje, dušik in fosfor.

Procese vršijo različne vrste mikroorganizmov, ki za svoj metabolizem in razvoj uporabljajo onesnaženje v vodi. Torej, biološko čiščenje je pravzaprav pretvorba onesnaženja v biomaso.

S postopkom biološkega čiščenja izločamo iz odpadne vode predvsem tiste raztopljene in suspendirane snovi organskega izvora, ki služijo mikroorganizmom za presnovo. Uspešen potek postopka biološkega čiščenja je tako pogojen z dobrimi pogoji za rast mikroorganizmov.

Mikroorganizmi v naravi rastejo v planktonski obliki ali v obliki biofilma. Biofilm se lahko razvije iz ene same vrste ali pa iz združb več različnih populacij.

Pojav novejših metod in tehnik omogoča natančnejše in neinvazivno opazovanje in vpogled v kompleksnost in lastnosti biofilmov. Tako je mogoče opazovati bakterijske združbe v samih habitatih, kjer biofilmi delujejo kot kooperativna celota kompleksne narave.

Se pravi, da so nosilci procesa čiščenja odpadnih vod v bioloških čistilnih napravah različni mikroorganizmi, ki so prišli v čistilno napravo iz fekalnega vira ljudi in živali, iz zemlje, iz zraka ali pa so vzgojeni v posebnih bioreaktorjih in se jih po potrebi dodaja v proces.

Praktično so vsi uveljavljeni tehnološki postopki biološkega čiščenja učinkoviti, če so uporabljeni pravilno. To pomeni, da jih je potrebno primerno uporabiti za čiščenje konkretne odpadne vode, da je naprava pravilno dimenzionirana in da je uporabljena primerna oprema, ki mora biti funkcionalna in redno vzdrževana. Po vsakem od splošno uveljavljenih postopkov je možno očistiti odpadno vodo.

Namen diplomske naloge je prikazati delovanje biofilma in postopke čiščenja s pritrjeno in razpršeno biomaso na čistilnih napravah. Pomemben del te naloge je primerjava dveh različnih tipov čistilne naprave in sicer Centralne čistilne naprave Celje, ki deluje na principu podaljšane aeracije in Centralne čistilne naprave Šaleške doline, ki deluje na principu biofiltracije.

2 OSNOVE ČIŠČENJA ODPADNIH VODA

Čiščenje odpadnih voda je del varstva okolja in s tem zaščite voda. Pri čiščenju veljajo naravni zakoni makroskopskega in mikroskopskega sveta, ki sta medsebojno tesno povezana. Na čistilnih napravah potekajo enaki procesi kot pri samočiščenju, le da so močno intenzivirani in da je za čiščenje potreben bistveno krajši čas. Na čistilnih napravah so fizikalni, kemijski, biokemijski in biološki procesi med seboj tesno povezani (Panjan, 2001).

Čiščenje delimo na primarno, sekundarno in terciarno oziroma na mehansko, biološko in kemično.

V čistilnih napravah se iz odpadne vode najprej odstranjuje večje mehanske delce (grobno čiščenje), nato suspendirane snovi (primarno oziroma mehansko čiščenje), po mehanskem čiščenju pa teče odpadna voda v biološko stopnjo (sekundarno čiščenje), kjer se odstranjuje organske razgradljive snovi. Po osnovnem biološkem čiščenju lahko odstranjujemo tudi hraniva (dušikove in fosforjeve spojine), kar poteka tudi na biološki način (terciarno čiščenje).



Slika 1: Odpadna voda CČN Celje

Preglednica 1: Pregled postopkov čiščenja odpadne vode na čistilnih napravah (Panjan, 2001)

Predhodno čiščenje grobo zrnatih snovi	Prva stopnja čiščenja – izločanje suspendiranih snovi	Druga stopnja čiščenja – izločanje biorazgradljivih snovi	Tretja stopnja čiščenja – izločanje hranil dušika in fosforja
<ul style="list-style-type: none">❖ Drobljenje❖ Odstranjevanje na grobih in finih grabljah ali sitih❖ Odstranjevanje peska in maščob	<ul style="list-style-type: none">❖ Usedanje❖ Plavljenje❖ Precejanje skozi mikro sita	<ul style="list-style-type: none">❖ Biokemijski postopki❖ Fizikalno-kemijski postopki	<ul style="list-style-type: none">❖ Odstranjevanje dušika in fosforja❖ Odstranjevanje težko razgradljivih organskih snovi❖ Odstranjevanje težkih kovin in raztopljenih anorganskih snovi

2.1 Biološko čiščenje odpadnih voda

Biološko čiščenje pomeni ureditev umetnih akvatičnih sistemov, kjer potekajo procesi metabolizma mikroorganizmov pospešeno in kontrolirano. Temelj za njihovo delovanje je poznavanje naslednjega:

- poznavanje organizmov, ki delujejo kot elementi presnove, in ki so udeleženi v krožnem toku snovi in so sposobni odstraniti organsko snov iz odpadne vode, ali jo presnoviti anorgansko,
- poznavanje biokemičnega poteka reakcij pri gradnji in razgradnji organske snovi v aerobnih in anaerobnih pogojih,
- poznavanje metodike teh reakcij,
- obvladovanje možnosti za prenos spoznanj na zaključene naravne in umetne sisteme ter obvladovanje stabilite in dinamike teh sistemov.

Postopek biološkega čiščenja poteka s pomočjo pritrjenih ali razpršenih mikroorganizmov.

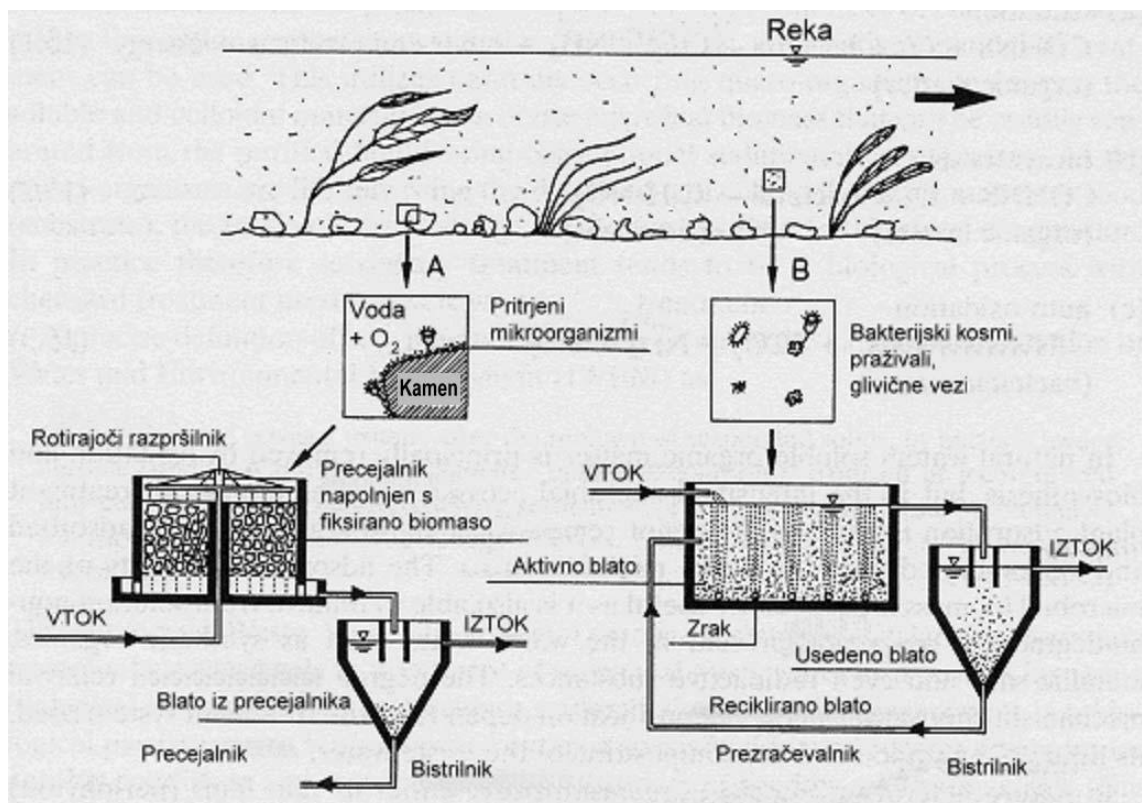
Kriteriji za biološko čiščenje so:

- koncentracija biomase mora naraščati,
- zagotovljena mora biti zadostna koncentracija kisika,
- zagotovljen mora biti optimalni kontakt med biofilmom in odpadno vodo.

Poleg odstranjevanja organskih in suspendiranih snovi lahko z biološkim čiščenjem odstranjujemo tudi hraniva, to je dušikove in fosforjeve spojine. Katere snovi in do kakšne mere se v biološki čistilni napravi odstranijo, je odvisno od vrste dejavnikov, kot so: oksidacijsko-redukcijski (aerobni, anaerobni, anoksični) pogoji v sistemu, sestave odpadne vode (koncentracija organskih snovi, pH, temperatura, prisotnost strupenih snovi) in konstrukcije čistilne naprave. Izbira postopka čiščenja je odvisna predvsem od sestave odpadne vode, saj že v osnovi ločimo komunalne in industrijske odpadne vode, ki nastajajo v urbanih naseljih oziroma v posameznih industrijskih obratih.

V posameznem biološkem sistemu nastaja določena količina blata, odvečna biomasa, ki jo moramo sproti ali občasno iz sistema odstranjovati, če želimo, da bo čiščenje optimalno.

Biološko čiščenje je v osnovi tehnično izpopolnjeno in intenzivirano samočiščenje, ki poteka v naravi. Princip samočiščenja razgradljivih organskih snovi v reki in primerjava z biološkim čiščenjem, je prikazan na naslednji sliki.



Slika 2: Shematični prikaz samočiščenja v naravi in umetnega biološkega čiščenja (Panjan, 2004).

Samočiščenje v rekah poteka:

- na pritrjeni podlagi, npr. na kamnih (primer A), čistilne naprave, ki delujejo na tem principu so precejalniki, razni biofiltri in rotirajoči biološki kontaktorji/biodiski
- v vodi, kjer so mikroorganizmi razpršeni (primer B), čistilne naprave, ki delujejo na tem principu so čistilne naprave z aktivnim ali poživiljenim blatom.

Kinetika razgradnje organskih snovi in odstranjevanje hranil (dušikovih in fosforjevih spojin) iz odpadne vode je odvisna od pogojev, pri katerih potekajo reakcije z različnimi bakterijskimi vrstami.

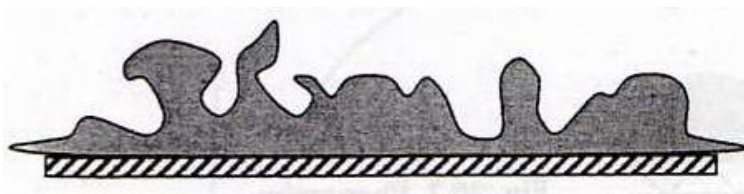
Biološko čiščenje odpadne vode lahko poteka pri različnih oksidacijsko-redukcijskih pogojih:

- pri aerobnih pogojih, kjer se organsko razgradljive snovi odstranjujejo ob prisotnosti raztopljenega kisika,
- pri anaerobnih pogojih, kjer se organske snovi v prvi fazi pretvorijo v enostavnejše komponente, le-te pa v drugi fazi v metan, ob pogoju, da ni prisotnega raztopljenega kisika niti nitritnega oziroma nitratnega dušika,
- pri anoksičnih pogojih, kjer se nitratni in nitritni ioni reducirajo v elementarni dušik.

3 BIOFILM

Biofilm je skupek mikroorganizmov in njihovih zunajceličnih produktov kot vezni člen, ki so običajno pritrjeni na biogeno ali abiogeno inertno podlago.

Mikroorganizmi v naravi rastejo v planktonski obliki ali v obliki biofilma. Kompleksne bakterijske združbe so tiste, ki so odgovorne za biogeokemične cikle, ki vzdržujejo celotno biosfero. Pojav novejših metod in tehnik omogoča natančnejše in neinvazivno opazovanje in vpogled v kompleksnost in lastnosti biofilmov. Tako je mogoče opazovati bakterijske združbe v samih habitatih, kjer biofilmi delujejo kot kooperativna celota kompleksne narave.

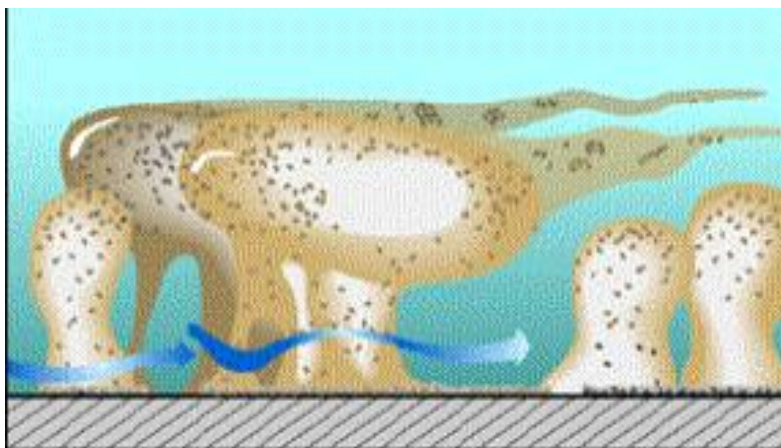


Slika 3: Shematični prikaz strukture biofilma (Melo, 2003)

3.1 Morfologija biofilma

Morfologija biofilma opisuje njegovo fizično obliko in notranjo zgradbo. Biofilm ni samo sluzasta površina, ampak izkazuje tudi visoko stopnjo organiziranosti, kjer mikroorganizmi tvorijo strukturirane, koordinirane in funkcionalne združbe. Funkcionirajo kot nekakšen zakrnel večcelični organizem. Sama zgradba biofilma lahko variira in je odvisna od cele vrste procesnih in biokemijskih dejavnikov, ki sodelujejo pri njegovem oblikovanju in nastajanju.

Biofilm je običajno razporejen v obliki agregata po površini. Struktura biofilma je polimorfna in dinamična in se nenehoma prilagaja na okoljske in prehranske spremembe. Bakterije v biofilmu imajo popolnoma enako genetsko zasnovo, kot njeni prosto plavajoči sorodniki z razliko, da imajo različno biokemijo. Biofilm z mnogo kanalčki in izrastki z raznoliko površino je značilen za bioreaktorje, kjer strižne sile niso velike in je biokultura obdana s hitro razgradljivim substratom. Struktura takšnega biofilma je prikazana na spodnji sliki.



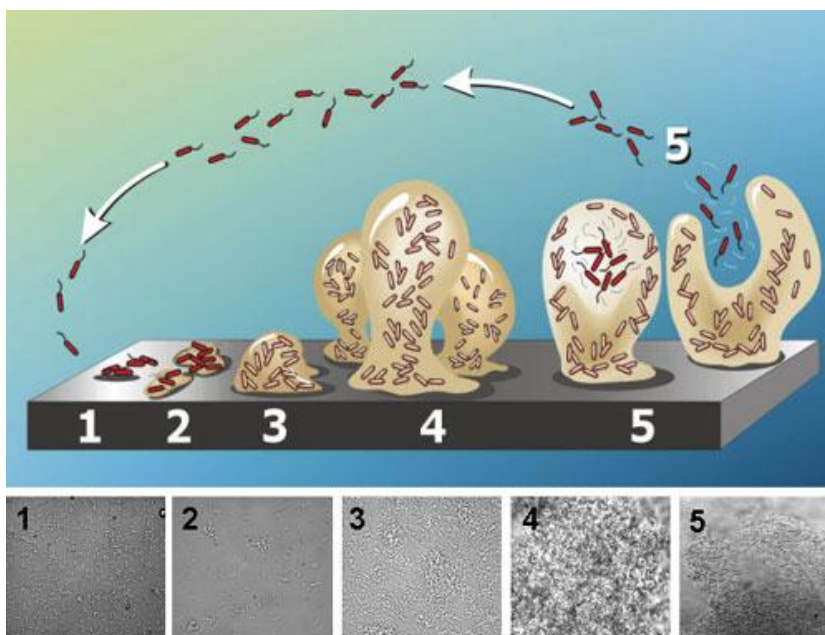
Slika 4: Struktura biofilma z raznoliko površino (<http://web.bf.uni-lj.si/zt/mikro//homepage/biofilmiNS.pdf>).

3.2 Razvoj biofilma

Biofilm se navadno razvije na trdi podlagi, zaradi treh poglobitnih razlogov:

1. dosegljivosti substrata,
2. varnosti pred vodnim tokom,
3. interakcije fizikalnih vplivov kot so atrakcija, adhezija in adsorbcija.

Na naslednji sliki je prikazan proces razvoja biofilma.



Slika 5: Shema razvoja biofilma (<http://web.bf.uni-lj.si/zt/mikro//homepage/biofilmiNS.pdf>).

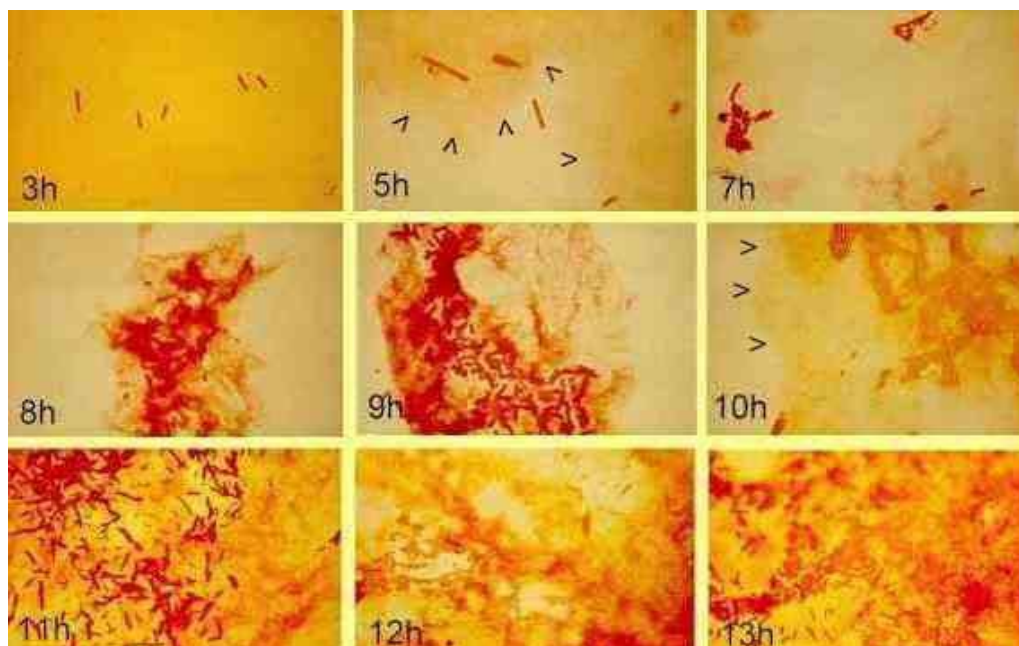
Proces mikrobiološke rasti na neobraščen nosilec v odpadni vodi lahko razdelimo na tri stopnje:

1. sprijemanje na podlago,
2. tvorba prvih formacij,
3. razraščanje.

Pri sprijemanju na podlago se po ireverzibilni vezavi na substrat začne produkcija ekstracelularnega materiala, katerega masa lahko za 100 krat presega maso bakterije. Pri optimalnih okoljskih pogojih ta proces traja od 20 do 30 minut. Odvisen pa je od vrste mikroorganizmov in tipa trde površine, na kateri nastaja biofilm. Biofilmi se lahko razvijejo iz ene same vrste ali pa iz združbe več različnih populacij. Nekateri mikroorganizmi se prilepijo na trdo površino, se začno množiti in tako ustvarjajo biofilm. Ta biofilm je aerobni.

Razmnoževanje in rast mikroorganizmov se nadaljuje, debelina biofilma se večja, posledično pa se koncentracija kisika ob podlagi zmanjšuje in tako se ustvari plast biofilma, kjer so anaerobni pogoji.

Na sliki 6 je prikazan nastanek biofilma pri 1000 kratni povečavi.

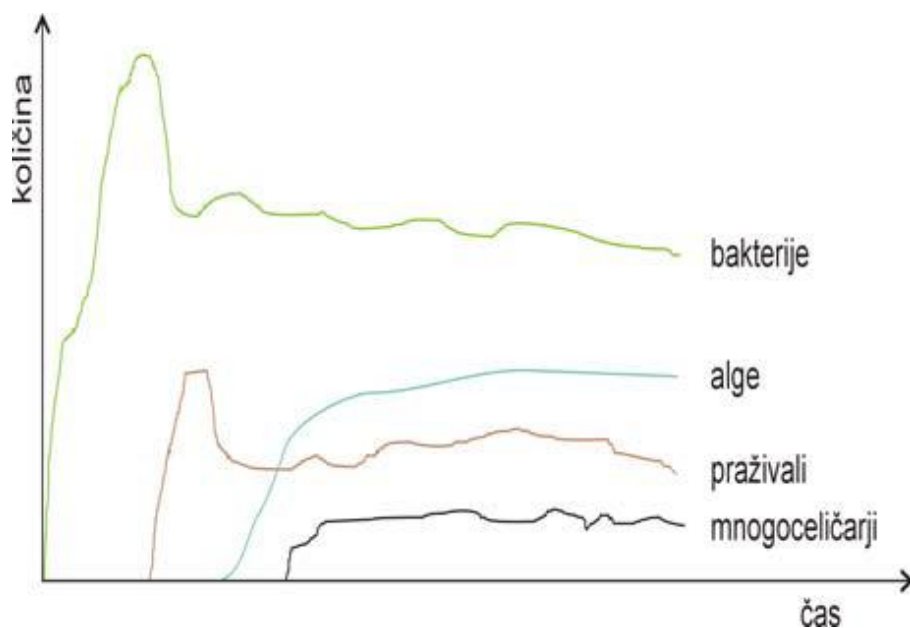


Slika 6: Prikaz nastanka biofilma gledano pod mikroskopom (1000 kratna povečava)
(<http://web.bf.uni-lj.si/zt/mikro//homepage/biofilmiNS.pdf>).

Biofilm nastaja v treh korakih oziroma stopnjah. V prvi stopnji imamo logaritmično rast mikroorganizmov, ker je film še zelo tanek in površina nosilca še ni v celoti prekrita. V tem delu imajo vsi mikroorganizmi enake pogoje. V nadaljevanju postaja plast filma debelejša od efektivne globine in se začne druga stopnja rasti mikroorganizmov. V tej stopnji poteka rast s konstantno hitrostjo, saj je debelina efektivnega dela konstantna glede na celotno debelino biofilma in se zato celotna količina mikroorganizmov, ki rastejo v tej stopnji, ne spreminja. Če imamo nižjo koncentracijo substrata v odpadni vodi, potem se lahko rast mikroorganizmov v tej stopnji ustavi, ker se ves substrat porablja za vzdrževanje življenja mikroorganizmov, za rast novih ga ni več dovolj. V primeru, da postane zaloga substrata manjša od količine, ki je potrebna za eksistenco mikroorganizmov, začnejo le-ti odmirati.

Posledično se začne biofilm tanjšati, vse dokler se koncentracija substrata, ki je potrebna za eksistenco preostalih mikroorganizmov ne izenači s koncentracijo substrata, ki je na razpolago v odpadni vodi. Sledi zadnja, tretja stopnja, pri kateri se hitrost rasti mikroorganizmov uravnoteži z njihovim odmiranjem zaradi endogene respiracije, prehranske verige mikroorganizmov (višji organizmi se hranijo z nižjimi) ali pa zaradi odplakovanja biomase zaradi zunanjih sil. V procesu razraščanja biofilma se tako ne spremeni samo količina mikroorganizmov, ampak tudi sestava biomase na posameznih segmentih.

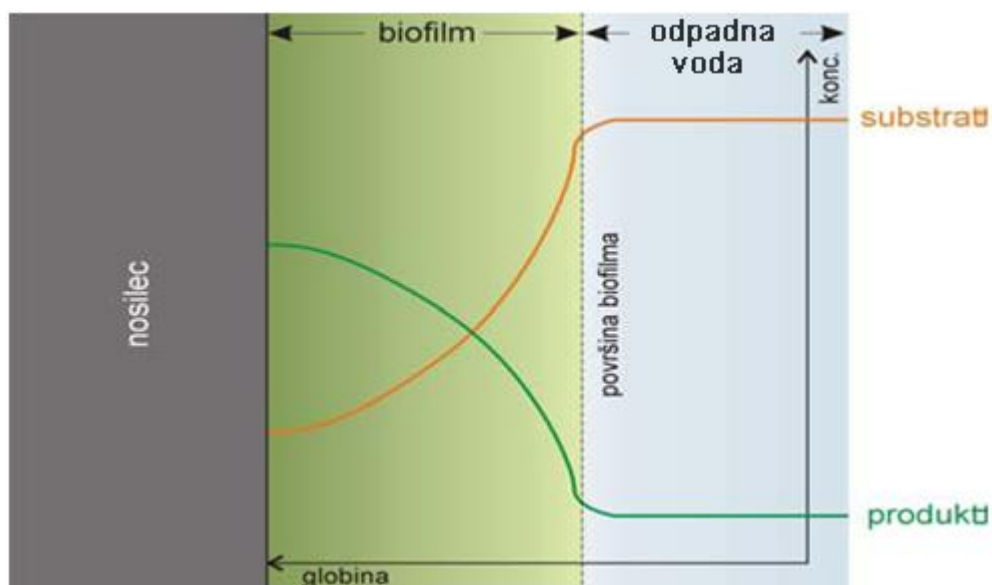
Na začetku obraščanja sestavljajo biomaso predvsem bakterije, sledijo praživali, alge, po nekaj dneh pa še mnogoceličarji in tako se formira ekosistem v biofilmu. Na spodnji sliki je prikazan graf razvoja in količine določenih mikroorganizmov v odvisnosti od časa. Višji kot je položaj mikroorganizma v ekosistemu in manjša kot je njegova hitrost rasti, kasneje se pojavi njegova rast. Hitrost rasti mikroorganizmov pa se zmanjšuje z debeljenjem biofilma.



Slika 7: Graf količine določenih mikroorganizmov v odvisnosti od časa (<http://www.kemik.org/dokumenti/st2/Biofilm.pdf>).

Razgradnjo substrata lahko opredelimo s štirimi stopnjami:

- transport substrata iz glavne mase tekočine do površine biofilma,
- difuzijski transport substrata z biološko reakcijo v notranjosti biofilma,
- metaboliziranje substrata z biološko reakcijo v notranjosti biofilma,
- transport končnih produktov iz notranjosti biofilma v glavno maso tekočine.



Slika 8: Shematski prikaz transporta substrata in produkta skozi biofilm
(<http://www.kemik.org/dokumenti/st2/Biofilm.pdf>).

3.3 Zgradba biofilma

Mikroorganizem je organizem, ki je tako droben, da ni viden s prostim očesom, lahko ga opazujemo le pod mikroskopom. Mikroorganizmi so navadno enocelični organizmi (enoceličarji), ki se razmnožujejo z delitvijo in se lahko združujejo v skupke, ki so vidni s prostim očesom. Med mikroorganizme štejemo tudi nekatere večcelične vrste mikroskopske velikosti. V principu ločimo dve osnovni skupini mikroorganizmov, glede na substrat za pridobivanje energije in sintezo nove celične biokulture. Skupino, ki za razvoj in obstoj porablja anorganske vire ogljika in energije, so avtotrofi. Mikroorganizmi, ki potrebujejo organski vir ogljika kot hrano za razvoj, so heterotrofi.

Med mikroorganizme navadno štejemo:

- bakterije
- enocelične rastline (npr. plankton)
- enocelične glive (npr. kvasovke)
- enocelične živali

3.3.1 Bakterije

Bakterije (Bacteria) so velika skupina enoceličnih in večinoma mikroskopskih živih organizmov, z razmeroma preprosto celično strukturo brez celičnega jedra in brez organelov, kot so mitohondriji ali kloroplasti. Bakterije so prokarioti, za razliko od organizmov s kompleksnejšimi celicami, imenovanimi evkarioti.

Čeprav so bakterije s prostim očesom nevidne, imajo v delovanju vseh ekosistemov pomembno vlogo. Njihova glavna naloga je primarna transformacija in degradacija raztopljenih organskih snovi s pomočjo encimov. Bakterij je med vsemi organizmi največ. Najdemo jih tako v zemlji, kot v vodi ter v simbiozi z drugimi organizmi. Večina med njimi je zelo majhnih in merijo v dolžino od 0,5 do 5 μm (Devetak, Podobnik, 1997). Bakterije predstavljajo največji del v aktivnem blatu in v biofilmu. Vsebnost bakterij v aktivnem delu biomase je od 10^{10} do 10^{12} 1/l (Burica, 2004).

V vsakdanjem življenju bakterije pogosto imenujemo po obliki celic. Bakterije paličaste oblike so bacili, kroglaste koki, vijačnično zavite so spirohete. O diplokokih govorimo, kadar so kroglaste celice povezane v pare, streptokoki so verižice kokov, kadar pa so koki nakopičeni v grozdom podobne tvorbe, jih imenujemo stafilokoki (Devetak, Podobnik, 1997). Bakterije rastejo v območju temperature od 0 °C do 110 °C ter v pH območju od 1 do 10 (Burica, 2004). Nekatere vrste se lahko cepijo vsakih 20 minut. Povprečno se razmnoži do milijon bakterijskih celic na mililiter sladke vode. Na primernih gojiščih se bakterije cepijo tako hitro, da se iz ene same celice že v enem dnevu razvije bakterijska kolonija, to je skupina celic, ki jo vidimo že s prostim očesom (Devetak, Podobnik, 1997).

3.3.2 Glive

Glive (Fungi) so zelo primitivna oblika življenja. Lahko so eno ali več celični evkariotski organizmi. Glive hrano črpajo iz okolja, v katerem živijo - predvsem organske snovi, ki so jih predelali drugi, višje razviti organizmi. Glive so zelo trdožive in jih najdemo v najrazličnejših habitatih. Njihova vloga v ekosistemih je zelo pomembna, saj predstavljajo naravne mehanizme za recikliranje. Kot razgrajevalci organske snovi predstavljajo bistveni dejavnik kroženja hranil v ekosistemih. V biofilmu imajo vlogo prečiščevalca ogljikovega substrata.

Rastejo tudi pri nizkih temperaturah, v okolju s pH manjšim od pet, v toksičnem okolju in ob prisotnosti ogljikovodikov. Povprečna podvojitev traja od dve do štirinajst ur (Devetak, Podobnik, 1997).

3.3.3 Praživali

Praživali (Protozoa) so enocelične živali. Večina je mikroskopsko majhnih, le nekatere so vidne s prostim očesom. Najpogosteje so prosto živeče in se prehranjujejo z razpadajočimi organskimi snovmi ali pa so plenilci drugih praživali. Razmnožujejo se s preprosto delitvijo. Povprečna delitev traja od tri do dvaindvajset ur. Mnogi migetalkarji pomembno prispevajo k samoočiščevanju vodnih ekosistemov, zlasti celinskih voda. Telo praživali je ena sama evkariotska celica. Vsebuje številne organele, ki so značilni tudi za vse ostale evkariote. Celulozne celične stene, ki je značilna za rastline, praživali nimajo. V praživalski celici potekajo mnogi osnovni življenjski procesi po enakih zakonitostih kot pri mnogoceličnih živalih. Pri nekaterih praživalih se celice po delitvi ne ločijo, ampak ostanejo povezane. Takšno tvorbo, v kateri ohrani vsak organizem svojo individualnost, imenujemo kolonija. Med celicami na zunaj ni opaziti razlik. Najmanjše praživali merijo le okrog 3 μ m. Praživali so vezane na vodna bivališča. Živijo v morjih, celinskih vodah, v vlažni prsti ali telesnih tekočinah gostiteljev. Neugodne življenjske razmere, npr. izsušitev, preživijo kot mirujoče tvorbe s trdnim ovojem (Devetak, Podobnik, 1997).

Praživali so indikatorji zdravstvenega stanja biokulture v čistilni napravi. Prisotnost in njihova pestrost pove skupaj s kemijsko analizo izkušenemu tehnologu informacijo o obremenitvi, stanju kisika in starosti blata. Mnogo predstavnikov in vrst je v nizko obremenjenih čistilnih napravah. Hranijo se z bakterijami, glivami, algami in suspendiranimi organskimi snovmi. Predstavljajo zelo pomembno vlogo v učinkovitem posedanju aktivnega blata v naknadnih usedalnikih (Burica, 2004).

Delimo jih glede na gibalne organele. Premikajo se lahko z bički, migetalkami ali panožicami:

- bičkarji (vrteljc, bičkar ovratničar)
- migetalkarji (paramecij, školjčica)
- trosovci (plazmodij, gregorina)
- korenonožci (ameba, luknjičar, mreževec)

3.3.4 Alge in Cianobakterije

Alge in cianobakterije se razvijajo, izpostavljene svetlobi, na površini biofilma. Delitev traja od sedem do petindvajset ur, odvisno od vrste alge. Pri čiščenju odpadnih vod imajo manjšo vlogo.

Alge so najpomembnejši primarni proizvajalci, saj največ organskih snovi in kisika, ki nastane na Zemlji, nastane na račun alg. Alge lahko sistematiziramo po morfoloških značilnosti (oblika steljke) ali pa na podlagi biokemijskih lastnosti (prisotnosti ali odsotnosti barvil) (Devetak, Podobnik, 1997).

Cianobakterije so med najstarejšimi organizmi, ki jih najdemo v fosilnem zapisu, saj segajo v predkambrij, morda celo 3,5 milijarde let nazaj. Najverjetneje so prav cianobakterije proizvedle večino kisika v Zemljinem ozračju.

Cianobakterije so lahko enocelične, kolonijske ali filamentozne. Imajo za bakterije značilno prokariotsko celično zgradbo in fotosinteze ne vršijo v organelih, temveč na specializiranih citoplazemskih membranah, ki jih imenujemo tilakoidne membrane. Nekatere filamentozne modrozelenke imajo specializirane celice, imenovane heterociste, s katerimi fiksirajo dušik (Devetak, Podobnik, 1997).

3.3.5 Mnogoceličarji

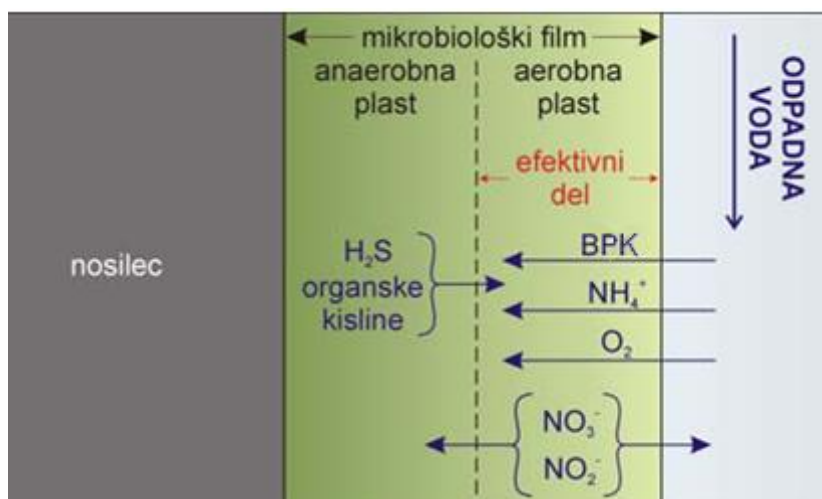
Mnogoceličarji ali mnogocelični organizmi so organizmi, ki so sestavljeni iz več kot ene celice in so vidni s prostim očesom. Imajo diferencirane celice, ki opravljajo točno določene naloge in ne morejo živeti samostojno.

Pravi mnogoceličarji (Eumetazoa) so naprednejša skupina mnogoceličarjev, ki že imajo tkiva, organe in organske sisteme. Celice so specializirane in ne morejo živeti samostojno. V biofilmu zasledimo le nekatere vrste mnogoceličarjev npr. nečlenarje in mnogočlenarje (členonožce, črve). Razmnoževanje le teh traja od 47 do 238 ur, prisotni pa so v »starem« biofilmu (Devetak, Podobnik, 1997).

3.4 Princip delovanja biofilma

Biofilm, razraščan preko nosilca, izpostavimo odpadni vodi, ki vsebuje organsko onesnaženje in raztopljen kisik. Omenjene substance pridejo do površine biofilma, nato potujejo v notranjost biofilma z difuzijo, kjer se metabolizirajo s pomočjo mikroorganizmov v biofilmu. Difuzija predstavlja osnovni transport snovi v biofilmu.

Če odpadna voda vsebuje suspendirane in koloidne organske substance, le-te ne morejo direktno prodirati v notranjost biofilma, ampak se morajo najprej s pomočjo hidrolize pretvoriti v molekule z nižjo molekularno maso. Hidrolizirane molekule lahko nato prodirajo podobno kot nizkomolekularne molekule v notranjost biofilma, kjer nato potečejo mikrobiološke reakcije. Na samem začetku rasti biofilma preko nosilca imamo sicer samo aerobno plast biofilma, ker je kisik povsod na razpolago. Vendar se pri metabolizmu substrata tvorijo novi mikroorganizmi, ki se nalagajo na prejšnje organizme. Nove celice začno prekrivati prvo plast, katera se kasneje spet prekrije z novimi celicami itn. Ko se biofilm razrašča, postaja debelejši, posledično kisik ne more več difundirati do spodnjih plasti in tako dobimo ob nosilcu anaerobni del biofilma. Posledično pa se v posameznih plasteh biofilma naseljujejo različne vrste mikroorganizmov. V primeru, da začne primanjkovati katerekoli komponente, ki je bistvena za mikroorganizme, biološke reakcije v tistem delu ne bodo več potekale enakomerno. Zamiranje posamezne komponente na neki globini biofilma pomeni, da od neke globine naprej posamezna biološka reakcija ne bo več potekala. Substance, ki z globino najhitreje izginevajo, definirajo efektivno globino biofilma. Mikroelementi, kot npr. dušik, fosfor in esencialne kovine običajno ne postanejo limitni faktorji, saj jih je običajno vedno dovolj v primerjavi z ostalimi komponentami, ki jih zahtevajo biološke reakcije. V večini primerov postane limitni faktor, kateri definira globino aerobnega filma raztopljen kisik, lahko pa tudi substrat, ki je potreben za življenje mikroorganizmov.



Slika 9: Shematski prikaz izmenjave snovi v biofilmu

<http://www.kemik.org/dokumenti/st2/Biofilm.pdf>.

Anaerobni del biofilma ne doprinese direktnega očiščenja odpadne vode, saj organsko onesnaženje v splošnem ne dosega njegove globine, zato imenujemo aerobno plast kar učinkoviti del biofilma. Po drugi strani pa se lahko v anaerobnem filmu s pomočjo organskih kislin in sulfida reducirajo nekateri produkti, ki nastajajo v aerobnem filmu. Koeksistenca aerobnega in anaerobnega filma je lahko velika prednost biofilma pred ostalimi sistemi, saj lahko po procesu nitrifikacije v aerobnem delu poteče še denitrifikacija v anaerobnem delu filma.

3.5 Vpliv okolja na ekologijo biofilma

3.5.1 Substrat in hranila

Sestava substrata vpliva na vrsto mikroorganizmov v biomasi. Običajno so topne spojine kot so sladkorji, kisline in aminokisline veliko bolj »prebavljive« za večino heterotrofnih organizmov, kot pa netopne ali delno topne spojine kot so celuloza, lignin ali maščobne kisline z veliko molekulsko maso. Koncentracija substrata vpliva tudi na sestavo biofilma. Preprost biološki substrat (sladkor) je v prid rasti nitastih bakterij, zelo koncentriran substrat pa v prid rasti gliv.

Za primerno rast in razvoj mikroorganizmov je priporočljivo razmerje med ogljikom in dušikom osemnajst ali manj. Biofilm, kjer prevladujejo glive se lahko normalno razvija tudi pri višjih vrednostih razmerja ogljika in dušika. Takšne razmere se navadno pojavljajo pri industrijskih odpadnih vodah. Za učinkovito čiščenje odpadne vode, je potrebno razmerje med ogljikom in fosforjem od devetdeset do stopetdeset. Vendar posebni problemi pri pomanjkanju fosforja niso zabeleženi.

3.5.2 Raztopljeni kisik

S koncentracijo raztopljenega kisika se viša tudi stopnja rasti mikroorganizmov. Anoksična cona biofilma se začne pri 0.1 - 0.2 milimetra pod površino biofilma. Pri biofilmu, kjer prevladujejo glive, se ta cona začne 2 milimetra pod površino biofilma, v primeru difuzije kisika skozi protoplazmo gliv. Tu je aerobna plast biofilma debelejša, luščenje zaradi nastajanja anaerobne plasti biofilma je upočasnjeno in tako se plast biofilma širi.

3.5.3 pH vrednost

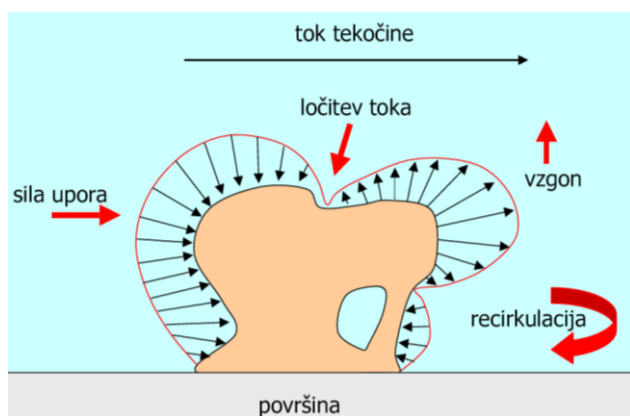
Na rast mikroorganizmov vpliva tudi pH vrednost. Glive se razvijejo pri vrednostih pH 2.5 - 9, zato so v prednosti pred bakterijam, ki se razvijejo le pri pH vrednostih nižjih od 6,5. Bakterije prevladujejo v okolju z nevtralnimi pH vrednostmi. Za oksidacijo ogljikovih spojin so optimalne pH vrednosti od 6.5 do 8.5. Optimalne vrednosti pH za nitrifikacijo so 7.5 - 8.

3.5.4 Temperatura

V povprečju se temperature odpadne vode gibljejo med 10 in 20 stopinj Celzija. Temperatura pritoka odpadne vode vpliva na učinkovitost osnovnih procesov biofilma, saj ta dejavnik vpliva na mikroorganizme. Prvi vpliv se kaže v upočasnitvi metabolizma mikroorganizmov. Pri normalnih pogojih, se dejavnost podvoji z vsakim povišanjem temperature za 10 stopinj Celzija, med 5 in 30 stopinjami Celzija. Temperatura ima lahko tudi zavirajoč učinek na nitrifikacijo, ki se drastično zmanjša pri temperaturah pod 10 stopinj Celzija. Mrzle zimske temperature upočasnijo luščenje biofilma. Pri nižjih temperaturah se veliko gliv razmnožuje hitreje od bakterij, zato lahko v zimskih časih glive dominirajo v biofilmu.

3.5.5 Vodni tok in strižne sile

Strižne sile imajo zelo velik vpliv na strukturo biofilma. V primeru večjih strižnih sil se oblikuje tanjši sloj in manj razgibana površina, ni kanalčkov in tok teče po površini biofilma. Vendar ne glede na sestavo biofilma je učinkovitost organizmov pri presnovi substrata v obeh primerih skoraj enaka, kar pomeni, da debelina biofilma ni v linearni korelaciji z učinkovitostjo. Na spodnji sliki je prikazana shema hidrodinamskih sil na biofilmu.

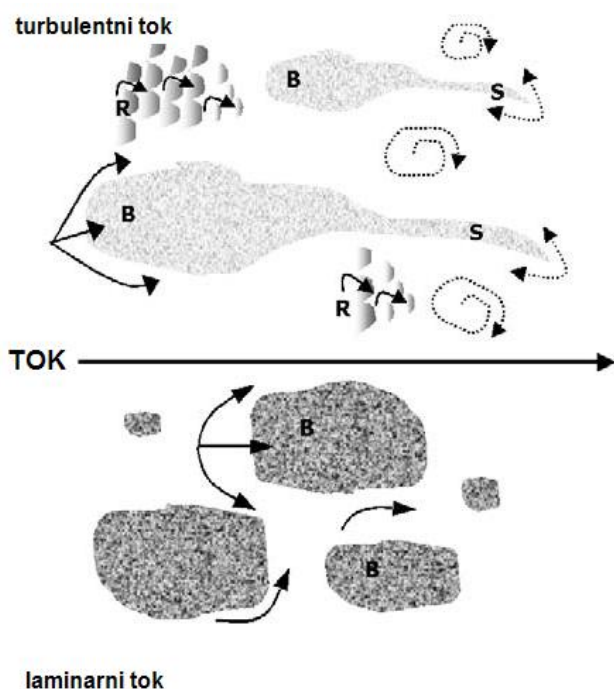


Slika 10: Vpliv hidrodinamskih sil na obliko biofilma

(<http://web.bf.uni-lj.si/zt/mikro//homepage/biofilmiNS.pdf>).

Biofilm, kjer prevladujejo glive je bolj odporen, kot pa bakterijski biofilm. Pri biodiskih je formiranje in luščenje biofilma pogojeno s hitrostjo vrtenja diskov. Tudi pri biofiltrih vodni tok pomaga biomasi, da se razporedi in prilepi po celotni površini in globini biofiltra.

Slika 11 prikazuje shematični prikaz različnih oblik biofilma pri tvorbi v različnih tokovnih pogojih. Pogled iz ptičje perspektive: B - debelejši sloj biofilma, S - biofilm trakaste strukture, R - grebenast biofilm. Črtkane puščice kažejo oscilacijo toka, druge puščice pa smer toka okoli struktur biofilma (R in B).



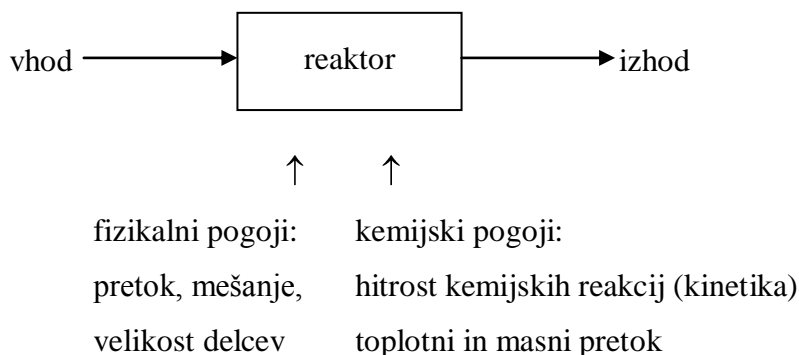
Slika 11: Shematični prikaz različnih oblik biofilma pri tvorbi v različnih tokovnih pogojih (Jass in sod., 2002).

3.6 Masna bilanca in kinetika biofilma

3.6.1 Masna bilanca

Postopki čiščenja voda so osnovani na fizikalnih, kemijskih in bioloških procesih. Kemijski postopki, oziroma njihova naravna vključitev v živi svet (biokemijske reakcije), potekajo s pomočjo živih organizmov.

Poleg organizmov, ki dejansko omogočajo procese čiščenja, so pomembni tudi robni pogoji, v katerih ti procesi potekajo. Ti pogoji in okolje so predstavljeni z naslednjo sliko:



Slika 12: Shema pogojev in okolja (bio)kemijskih procesov oziroma reakcij

Procese, ki jih ponazarja zgornja slika lahko opišemo z enačbami, od katerih je najpomembnejša masna bilanca, ki jo opišemo z enačbo:

$$\text{sprememba zaloge} = \Sigma \text{vhod} - \Sigma \text{izhod} + \Sigma \text{izvor} - \Sigma \text{ponor}$$

Σvhod pomeni vsoto vseh vhodov v reaktor, Σizhod pa vsoto vseh izhodov iz reaktorja. Σizvor so vsi izvori, Σponor pa vsi ponori znotraj reaktorja. Lahko pa si izvore in ponore razlagamo kot poseben del reaktorja, iz katerega izhajajo ali ponikajo opazovane količine, ne izginejo pa iz njegovega »notranjega« sistema. Izvori in ponori so torej notranje spremenljivke v sistemu, medtem ko so vhodi in izhodi zunanje spremenljivke sistema. Ob upoštevanju zakona o ohranitvi mase fizikalni zakoni niso kršeni, v kemijskem pogledu pa lahko pride do kemijskih transformacij ene snovi v drugo, torej do reakcij.

Zato omenjeno enačbo masne bilance zapišemo:

$$\text{sprememba zaloge} = \Sigma \text{vhod} - \Sigma \text{izhod} \pm \Sigma \text{reakcija}.$$

oziroma bolj matematično:

$$V \frac{\partial C}{\partial t} = Q \cdot C_i - Q \cdot C \pm r \cdot V \quad (3.1)$$

kjer je C opazovana koncentracija neke snovi v reaktorju [kg/m^3], V volumen reaktorja [m^3], Q pretok medija [m^3/s] s koncentracijo C_i opazovane snovi na vtoku (i – input), r hitrost reakcije [$1/\text{s}$]. Člen $r \cdot V$ nima C , ker velja $r = k \cdot C$! Reakcija lahko pomeni samo kemijsko reakcijo ali pa fizikalni proces (znotraj reaktorja).

Zgornja enačba velja za primer, da je pretok skozi reaktor stalen in ob predpostavki, da reaktor zapušča povprečna koncentracija C , s katero smo opisali stanje v reaktorju. Za primer, da pretok ni konstanten se enačba glasi:

$$\frac{dVC}{dt} = V \frac{\partial C}{\partial t} + C \frac{\partial V}{\partial t} = Q_i \cdot C_i - Q \cdot C \pm r \cdot V \quad (3.2)$$

kjer uporabimo totalni diferencial tako za spremembo volumna, kot tudi za koncentracije.

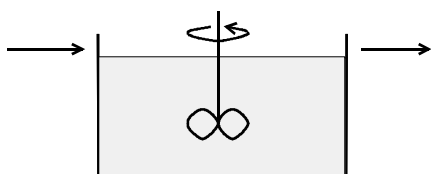
Ko pa nas bolj kot dogajanje v reaktorju zanima rezultat, enačbo preoblikujemo v obliko:

izhod = vhod \pm reakcija – sprememba zaloge

Glede na to, kako se odvijajo reakcije in v kakšnih pogojih potekajo, lahko naredimo več razdelitev reakcij. Glavni dve delitvi sta glede na število vpletenih faz reaktantov in glede na kataliziranost procesa. Če reakcija poteka v eni sami fazi, potem tako reakcijo imenujemo homogena reakcija, reaktor pa homogeni reaktor. Če pri reakciji nastopata vsaj dve fazi, potem reakcija ne more več biti homogena. Reakcija, ki poteka v več fazah, je torej heterogena reakcija, okolje pa je heterogen reaktor.

Premešani ali homogenizirani reaktorji

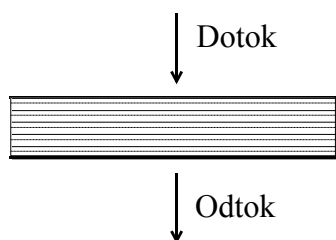
Popolnoma premešan reaktor je homogeniziran. Reakcija poteka pod enakimi pogoji v celi prostornini, koncentracija je enaka v katerikoli točki reaktorja. Če gre za enofazni sistem, je tak sistem tudi homogen. Primer: ozračevalni bazeni čistilnih naprav, anaerobna gnilišča.



Slika 13: Primer homogeniziranega reaktorja

Nehomogeniziran reaktor

Pogoji reakcije se spreminjajo z lokacijo v reaktorju. Pri pretočnih reaktorjih se koncentracija spreminja vzdolž poti. V idealnem primeru veljajo enaki pogoji v tanki plasti pravokotno na smer toka. Primer za nehomogene reakcije (večfazni sistemi) v nehomogeniziranih reaktorjih: počasni biološki filtri, precejalniki.



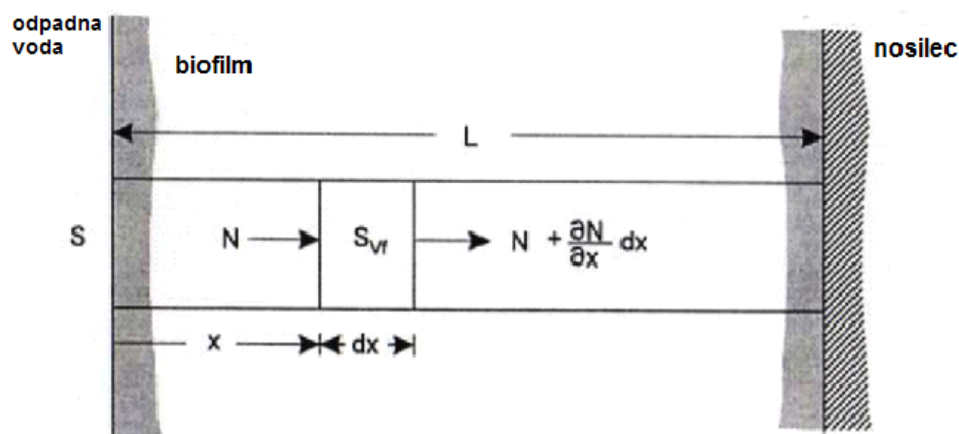
Slika 14: Primer nehomogeniziranega reaktorja

3.6.2 Kinetika biofilma

Slabost sistemov s pritrjeno biomaso je razmeroma nizka učinkovitost biomase, to pa zato, ker se morajo hranilne snovi transportirati skozi biofilm, da jih mikroorganizmi lahko odstranijo. Biofilm je obdan s sluzjo, ki vsebuje zunajcelične polimere, ki delujejo kot sistem ionske izmenjave hranljivih snovi iz vode. Ta izmenjava oz. transport snovi poteka z molekularno difuzijo, ki je počasen proces. Difuzija je prenos snovi iz območja z višjo koncentracijo v območje z nižjo. Razlika koncentracij med obema območjema je povezana s koncentracijskim (difuzijskim) gradientom, difuzija pa poteka, vse dokler obstaja koncentracijski gradient. Ker difuzija prenaša le snov iz območja z višjo koncentracijo v območje z nižjo, pravimo, da deluje v smeri padajočega koncentracijskega gradienta.

Zaradi različnih koncentracij znotraj in zunaj celice, je difuzija temeljni način transporta skozi membrano. V nadaljevanju je proces transporta snovi skozi biofilm predstavljen v obliki reakcij, ki pri procesu potekajo.

Pri laminarnem toku se ustvari profil koncentracije C_A in izmenjava traja toliko časa, dokler je vrednost te koncentracije večja od mejne koncentracije C_B . Pri tankem biofilmu poteka difuzija tako pri laminarnem, kot pri turbulentnem toku. Pri debelem biofilmu je difuzija omogočena samo do določene globine. Tako so globlje ležeče bakterije včasih deležne le majhne difuzije, včasih pa je sploh niso. Zaradi tega prihaja tudi do sprememb biovrst v biofilmu (Henze, 1995). Naslednja slika prikazuje idealiziran biofilm s predpostavko, da je homogen.



Slika 15: Shematski prikaz biofilmskih plasti (Henze, 1995).

Na sliki so prikazani naslednji parametri:

S...koncentracija snovi zunaj biofilma [mg/l]

D...difuzijski koeficient

L...debelina biofilma [mm]

S_{vf} ... koncentracija raztopljenih snovi v biofilmu [mg/l]

N...transport snovi skozi prečni prerez [$\text{g}/(\text{m}^2\text{dan})$]

r_{vf} ...specifična volumetrična reakcijska stopnja biofilma [$\text{kg}/(\text{m}^3\text{dan})$]

Iz slike izpeljemo enačbo:

vtok (dotok) = iztok (odtok) + prirast (retenzija biomase)

$$N = N + \frac{\partial N}{\partial x} \cdot dx + r_{vf} \cdot dx \quad (3.3)$$

kjer je $\frac{\partial N}{\partial x} = -r_{vf}$

Če pri transportu upoštevamo le difuzijo je $N = -D \frac{\partial S_{vf}}{\partial x}$ in $\frac{\partial N}{\partial x} = -D \frac{\partial^2 S_{vf}}{\partial x^2}$

$$\rightarrow \frac{\partial^2 S_{vf}}{\partial x^2} = \frac{r_{vf}}{D}$$

V brezdimenzijski obliki:

$$\frac{\partial^2 s_{vf}}{\partial \xi^2} = \frac{r_{vf} \cdot L^2}{D \cdot S} \quad (3.4)$$

pri čemer velja: $s_{vf} = \frac{S_{vf}}{S}$ in $\xi = \frac{x}{L}$

Enačbo lahko rešimo na dva načina:

- reakcija prvega reda
- reakcija nultega reda

1) Reakcija prvega reda

Za reakcijo prvega reda velja $r_{vf} = k_{1vf} \cdot S_{vf}$

k_{1vf} – konstanta reakcijske stopnje prvega reda v biofilmu [d^{-1}]

Z upoštevanjem brezdimenzijskih konstant dobimo:

$$\frac{\partial^2 s_{vf}}{\partial \xi^2} = \frac{k_{1vf} \cdot L^2}{D} \cdot s_{vf} = \alpha^2 \cdot s_{vf}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{k_{1vf} \cdot L^2}{D}} \rightarrow \quad (3.5)$$

$$\frac{\partial^2 s_{Vf}}{\partial \xi^2} - \alpha^2 \cdot s_{Vf} = 0 \quad (3.6)$$

To je homogena diferencialna enačba s konstantnimi koeficienti:

$$R^2 - \alpha^2 = 0 \rightarrow R = \pm \alpha$$

Realni del rešitve te enačbe je

$$s_{Vf} = A \cdot e^{\alpha \xi} + B \cdot e^{-\alpha \xi} \quad (3.7)$$

Konstanti A in B sta določeni z limitnima pogojeva:

$$\xi = 0, \quad \xi = 1$$

$$s_{Vf} = 1, \quad \frac{\partial s_{Vf}}{\partial \xi} = 0$$

$$\rightarrow s_{Vf} = \cosh \alpha \xi - \tanh \alpha \sinh \alpha \xi$$

Z upoštevanjem adicijske formule dobimo vrednosti za s_{Vf} :

$$s_{Vf} = \frac{\cosh(\alpha(1 - \xi))}{\cosh \alpha} \quad (3.8)$$

Za transport skozi površino biofilma:

$$N = D \left(\frac{\partial s_{Vf}}{\partial x} \right)_{x=0} = - \frac{D}{L} \left(\frac{\partial s_{Vf}}{\partial \xi} \right)_{\xi=0} \cdot S \quad (3.9)$$

$$\rightarrow N = \frac{D}{L} (\alpha \cdot \tanh \alpha) \quad (3.10)$$

$$S = k_{Vf} \cdot L \left(\frac{\tanh \alpha}{\alpha} \right) S \quad (3.11)$$

Reakcija prvega reda se izraža kot transport skozi površino biofilma in je proporcionalna koncentraciji na površini biofilma:

$$r_A = N = L \cdot S \cdot k_{Vf} \cdot \varepsilon \quad (3.12)$$

$$\rightarrow \varepsilon = \frac{\tanh \cdot \alpha}{\alpha} \quad (3.13)$$

Za stopnjo reakcije na površini biofilma dobimo: $k_{1A} = k_{1Vf} \cdot L \cdot \varepsilon$

k_{1A} – konstanta specifične redukcijske stopnje [$1/(m^2h)$]

ε - faktor učinkovitosti [%]

Faktor učinka je za $\alpha < 1$, $\varepsilon \sim 1$, za $\alpha > 1$ pa $\varepsilon \sim 1/\alpha = \frac{k_{1Vf}}{L}$

$\rightarrow \frac{\sqrt{D}}{k_{1Vf}}$ je dolžinska učinkovitost difuzije.

Faktor k_{1Vf} za debel biofilm:

$$k_{1A} = k_{1Vf} \cdot L \cdot \frac{k_{1Vf}}{L} = \sqrt{D \cdot k_{1Vf}} k_{1Vf} \quad (3.14)$$

2) Reakcija nultega reda

Za reakcijo nultega reda velja $r_{Vf} = k_{0Vf}$,

torej lahko zapišemo:

$$\frac{\partial^2 s_{Vf}}{\partial \xi^2} = \frac{k_{0Vf} \cdot L^2}{D \cdot S} \quad (3.15)$$

Če iz prejšnje enačbe izpeljemo s_{Vf} dobimo:

$$s_{Vf} = \frac{k_{0Vf} \cdot L^2}{D \cdot S} \cdot \xi^2 + K_1 \cdot \xi + K_2 \quad (3.16)$$

Limitni pogoji na površini so: $\xi = 0$, $s_{Vf} = 1 \rightarrow K_2 = 1$

Če opazujemo snov pri polni penetraciji, so limitni pogoji drugačni: $\xi = 1$, $\frac{\partial s}{\partial \xi} = 1 \rightarrow$

$K_1 = \frac{-k_{ovf} \cdot L^2}{D \cdot S}$, tako iz zgornje enačbe dobimo:

$$s_{vf} = \frac{k_{ovf} \cdot L^2}{2D \cdot S} \cdot \xi^2 - \frac{k_{ovf} \cdot L^2}{D \cdot S} \cdot \xi + 1 \quad \text{ali} \quad (3.17)$$

$$s_{vf} = \frac{\xi^2}{\beta^2} - 2 \frac{\xi}{\beta^2} + 1 \quad (3.18)$$

pri čemer je $\beta = \sqrt{\frac{2D \cdot S}{k_{ovf} \cdot L^2}}$

Za transport skozi površino biofilma velja $r_A = N = k_{ovf} \cdot L$

Ob predpostavki, da je biofilm polno efektiven, je pogoj $\beta > 1$.

Pri tem pogoju zamenjamo limitne pogoje z $\xi = \xi'$, $s_{vf} = 0$ in $\frac{\partial s_{vf}}{\partial \xi} = 0$

Tako dobimo:

$$s_{vf} = \frac{k_{ovf} \cdot L^2}{2D \cdot S} \cdot \xi^2 - \frac{k_{ovf} \cdot L^2}{D \cdot S} \cdot \xi \cdot \xi' + 1 \quad (3.19)$$

efektivni del biofilma... ξ'

$$\xi' = \sqrt{\frac{2D \cdot S}{k_{ovf} \cdot L^2}} = \beta \quad \text{in}$$

stopnja penetracije... β

$$s_{vf} = \frac{\xi^2}{\beta^2} - 2 \frac{\xi \cdot \xi'}{\beta^2} + 1 \rightarrow$$

$$r_A = N = L \cdot \xi' \cdot k_{ovf} = \sqrt{2k_{ovf} \cdot D} \cdot S^{1/2} \quad (3.20)$$

Tako je za polno efektiven biofilm:

$$r_A = k_{0A} = L \cdot k_{ovf} \quad (3.21)$$

delno efektiven pa:

$$r_A = k_{1/2A} S^{1/2} = \sqrt{2k_{0vf} \cdot D} \cdot S^{1/2} \quad (3.22)$$

$$k_{1/2A} = \sqrt{2k_{0vf} \cdot D}$$

Povzamemo lahko:

$$\text{Nulti red: } \beta > 1 \quad k_{0A} = k_{0vf} \cdot L$$

$$\beta < 1 \quad k_{1/2A} = \sqrt{2D \cdot k_{0vf}} \rightarrow \beta = \sqrt{\frac{2D \cdot S}{k_{0vf} \cdot L^2}}$$

$$\text{Prvi red: } k_{1A} = k_{1vf} \cdot L \cdot \varepsilon \rightarrow \varepsilon = \frac{\tanh \cdot \alpha}{\alpha}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{k_{1vf} \cdot L^2}{D}}$$

4 PROCESI, KI SE ODVIJAJO PRI ČIŠČENJU ODPADNIH VODA

Samočistilni mehanizem naravnih voda zajema fizikalne, kemijske in biološke procese. Hitrost in intenzivnost poteka posameznih samočistilnih procesov sta odvisni od velikega števila parametrov, ki so odvisni od strukture danega vodnega sistema. Velik vpliv na naravne procese čiščenja imajo razni hidravlični parametri kot so pretok in turbulentnost toka, fizikalne karakteristike in materialna struktura dna, sprememba sončne svetlobe in temperature, kakor tudi kemijska sestava primesi naravnih vodnih sistemov. Poleg tega pa je poznavanje in proučevanje naravnih procesov čiščenja v veliko pomoč pri razvoju in projektiranju postopkov čiščenja odpadnih voda.

Večino fizikalnih, kemijskih in bioloških samočistilnih procesov naravnih voda lahko uporabimo v sistemih čiščenja odpadnih voda. Za te sisteme je značilno, da lahko z natančno kontrolo vplivnih faktorjev hitrost posameznega procesa maksimalno povečamo, kar po drugi strani bistveno zmanjša čas trajanja samega čistilnega postopka.

4.1 Fizikalni procesi

Najpogosteje uporabljeni fizikalni procesi, ki jih uporabljamo v čistilnih napravah odpadnih voda so sedimentacija, filtracija in aeracija. To so osnovni separacijski procesi, ki omogočajo odstranitev najrazličnejših odpadkov in produktov kemijskih ter biokemijskih procesov iz odpadnih voda.

Usedanje in plavljenje

Usedanje je postopek odstranjevanja trdega netopnega materiala iz vode, pri čemer je najpogosteje uporabljena tehnika na osnovi gravitacijske sile. Tako poznamo peskolov, lovilce olj in maščob ter usedalnike. Pri čiščenju odpadnih voda se proces sedimentacije izvaja v velikih, zato posebej zgrajenih bazenih, da lahko minimiziramo turbulentnost gibanja, ki zadržuje odpadne snovi v toku onesnažene vode in nam omogoča periodično odstranitev sedimenta.

Plavljenje je proces, ki služi ločevanju trdnih in tekočih delcev od preostale tekočine – odpadne vode. S plavljenjem je mogoče odstraniti snovi, ki imajo manjšo specifično težo od odpadne vode. Separacija se zgodi s pomočjo finih plinskih mehurčkov, ki potujejo skozi tekočino. Mehurčki se prilepijo na delce in tako se delci skupaj z mehurčki dvigajo proti površju. Ko delci priplavajo na površje, jih je mogoče odstraniti s posnemanjem.

Poglavitna prednost plavljenja pred usedanjem je krajši čas procesa odstranjevanja, saj se manjši in lažji delci, ki se sicer usedajo zelo dolgo, lahko s plavljenjem odstranijo precej hitreje

Filtracija

Filtracijo najpogosteje uporabljamo za odstranitev grobo dispergiranih snovi iz odpadnih voda.

Materiali filtrov, katerih granulacija je odvisna od povprečne velikosti odpadnih delcev, imajo lastnosti naravnih filtracije sposobnih materialov kot so pesek, prod, gramoz itd. Danes se vse bolj uporablja tudi membranska filtracija, ki lahko nadomesti znane biokemijske postopke.

Aeracija

Procese prenosa plinov, lahko uporabljamo v čistilnih napravah za odstranitev ali dodajanje plinov odpadnim vodam. Hitrost prenosa plinov običajno intenziviramo s povečevanjem medfazne kontaktne površine. Dodajanje plinov, kot so na primer ogljikov dioksid in klor (karbonacija, dezinfekcija), se običajno izvaja v zaprtih sistemih pri povišanem tlaku, kar bistveno poveča hitrost prenosa plina v vodo.

Adsorbpcija

Adsorbpcija je proces ali sposobnost nekaterih snovi, da privlačijo na svojo površino posamezne ione ali molekule, ki so razpršene v tekočini ali plinu. Adsorbpcija deluje v večini naravnih, bioloških in kemijskih sistemov, in se pogosto uporablja pri čiščenju odpadne vode, predvsem v industrijskih panogah.

4.2 Kemijski procesi

Kemijske snovi zelo pogosto uporabljamo pri obdelavi vseh vrst voda. Na osnovi raznih kemijskih aditivov lahko bistveno spremenimo stanje voda. Najbolj se uporabljata obarjanje in kosmičenje.

Koagulacija in flokulacija (obarjanje in kosmičenje)

Koagulacija je kemijski postopek, pri katerem s pomočjo koagulantnih kemikalij (to so običajno anorganski koagulanti FeCl_3 , FeSO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, NaAlO_2 , $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$, itd.) združujemo koloidne delce v večje aglomerate (kosme, mikrokosme).

V primeru, da delci odpadnih snovi niso tako veliki, da bi v določenem času zadrževanja v čistilnem bazenu sedli na dno, lahko odpadni vodi dodamo razne kemijske primesi, ki razelektrijo in koagulirajo z malimi delci, nato pa se v fazi flokulacije poveča njihova masa do to mere, da so sedimentacije sposobni.

Vsekakor je potrebno poudariti, da umetno ustvarjeni kemijski procesi igrajo predvsem vlogo konverznih procesov čiščenja odpadnih voda, ki omogočajo odstranitev in separacijo trdnih delcev, kapljev in plinov s pomočjo prej omenjenih fizikalnih procesov.

4.3 Biološki procesi

Biološki procesi so v veliki meri vključeni v sisteme čiščenja odpadnih voda. Uporabljajo se za razgradnjo organskih odpadnih snovi in nekaterih nutrientov. Biološki procesi predstavljajo osnovo procesa čiščenja odpadnih voda, kjer se raztopljene in koloidne organske snovi transformirajo v biomaso, ki jo lahko kasneje odstranimo iz vodnega toka. Tehnološki sistemi tovrstnega postopka čiščenja odpadnih voda so grajeni tako, da je vzpostavljen kar najbolj optimalen kontakt med mikroorganizmi in organskimi snovmi.

4.4 Glavni parametri odpadnih vod

Pri ugotavljanju učinkovitosti čiščenja odpadnih vod v čistilnih napravah so pomembni predvsem sledeči parametri:

- količina neraztopljenih (suspendiranih) snovi,
- kemijska in biokemijska potreba po kisiku,
- ogljik
- dušikove in fosforjeve spojine

4.4.1 Suspendirane snovi

Običajno se v suspendirani obliki nahajata dve tretjini vseh prisotnih snovi v odpadni vodi, ostalo tretjino predstavljajo raztopljene snovi. Velikost suspendiranih snovi je 10^{-4} mm ali več. Suspendirane snovi se delijo na usedljive, lebdeče in plavajoče snovi. Merimo jih v mg/l, po biološki obdelavi pa z volumnom blata, sušino blata in indeksom blata.

4.4.2 Kemijska in biokemijska potreba po kisiku

Obremenitev vode z organskimi in anorganskimi snovmi ugotavljamo s:

- kemijsko potrebo po kisiku (KPK) in
- biokemijsko potrebo po kisiku (BPK).

Organske nečistoče v odpadnih vodah določimo tako, da jih pri določenih pogojih oksidiramo in iz porabe oksidanta sklepamo na količino organskih snovi. Potreba po kisiku je definirana s količino kisika, ki je ob določenih pogojih in v določeni opazovalni dobi potrebna za razkroj primesi v vodi. Potreba po kisiku velja kot najzanesljivejše merilo za onesnaženost z organskimi snovmi.

Kemijska potreba po kisiku – KPK [mg/l]

Kemijska potreba po kisiku je merilo za organsko onesnaženje v površinskih in odpadnih vodah. S kemijsko potrebo po kisiku določimo vse organske snovi, ne moremo pa ločiti med biološko razgradljivimi in biološko inertnimi organskimi snovmi. Zato je KPK dopolnilo in ne nadomestilo BPK, zato je nujno simulativno vrednotenje onesnaženja s KPK in BPK.

Biokemijska potreba po kisiku – BPK [mg/l]

Biokemijska potreba po kisiku je množina kisika, ki je potrebna za oksidacijo razgradljivih snovi s pomočjo mikroorganizmov, ki jih vzorec vsebuje. BPK ni odvisen samo od količine in koncentracije organskih snovi, ampak tudi od temperature, turbulence ter števila in aktivnosti mikroorganizmov. BPK je merilo za onesnaženje površinskih in odpadnih vod z razgradljivimi organskimi snovmi. To je po dogovoru količina elementarnega kisika, ki ga porabijo mikroorganizmi v procesu razkroja pri 20 °C. Najpogosteje določamo pet dnevno potrebo po kisiku BPK₅. To opravimo tako, da preiskovani vodi določimo v začetku poskusa in po petih dneh množino raztopljenega kisika in iz razlike izračunamo množino kisika, ki ga porabijo mikroorganizmi pri razgradnji organskih snovi.

4.4.3 Ogljik

Pri neživi organski snovi, se ogljik v organski obliki pretvarja v ogljikov dioksid (CO₂) ob respiratorni aktivnosti mikroorganizmov. S procesom fotosinteze se ogljik (C) v obliki ogljikovega dioksida vgrajuje v rastline, del ogljika pa se vrne v anorgansko obliko zaradi respiracije rastlin. Ostanek ogljika konča v obliki nežive organske snovi ali pa ga asimilirajo živali. Ogljik, ki se sprošča iz živalskih organizmov, se spremeni neposredno v ogljikov dioksid v procesu dihanja ali pa se pretvarja v živalskem telesu v sečnino in druge organske spojine, ki se ob dejavnosti mikroorganizmov spreminjajo v ogljikov dioksid.

4.4.4 Dušikove in fosforjeve spojine

Hranilne snovi

Hranilne snovi, ki jih primarni producenti potrebujejo za svoj metabolizem, v prevelikih količinah pospešujejo rast alg in drugih fotosintetskih organizmov. Sem uvrščamo dušik (skupni dušik, amonijak, urea, nitrat, nitrit,), fosfor (skupni fosfor, ortofosfat) in nekatere minerale K - kalij, Mg - magnezij in S - žveplo (Balkema in sod., 1998).

DUŠIKOVE SPOJINE

Pretvorba ene oblike dušika v drugo poteka največkrat s pomočjo mikroorganizmov. Iz oblike, v kateri se dušik pojavlja, ugotavljamo stanje vode.

V odpadnih vodah se dušik pojavlja kot:

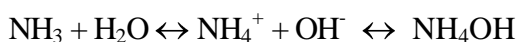
- vezani organski dušik (v proteinih, aminokislinah, sečnini itd.),
- amonijev dušik (NH_4^+),
- prosti amoniak (NH_3),
- nitritni dušik (NO_2^-) in
- nitratni dušik (NO_3^-).

Organski dušik [mg/l]

Glavni vir organskega dušika v odpadnih vodah so beljakovine.

Amonijev dušik [mg/l]

Amonijak obstaja v plinski (NH_3) ali ionski (NH_4^+) obliki. Plinski (NH_3) in molarna koncentracija posamezne oblike je odvisna od pH raztopine. Amoniak je v vodi prisoten večinoma kot NH_4^+ , znatno manj v obliki NH_4OH . Slednji nastaja pri pH višjem od 7.



Nitritni dušik [mg/l]

Nitritni dušik (NO_2^-) je precej nestabilen in zlahka oksidira v nitratno obliko. Je pokazatelj zmerno starega onesnaženja in redko prekorači mejo 1 mg/l v odpadni vodi.

Vendar pa je kljub tako nizkim koncentracijam izjemno pomemben parameter obremenitve voda, saj je zelo toksičen za večino v vodi živečih živalskih vrst.

Nitratni dušik [mg/l]

Nitratni dušik (NO_3^-) se nahaja v obliki nitratnih ionov, ki so najvišja oksidacijska oblika dušika v odpadnih vodah. Pri določenih pogojih (denitrifikacija) ga je mogoče reducirati do elementarnega dušika.

Celotni (totalni) dušik [mg/l]

Celotni dušik je vsota vseh vrst dušikovih spojin (organskega dušika, amonijevega dušika nitratnega in nitritnega dušika).

Elementarni dušik [mg/l]

Elementarni dušik se pojavlja v vodi v raztopljeni obliki. Je končna reducirana oblika dušika. Za biološke procese je nevtralen, zato nanje praktično nima škodljivega vpliva. Iz vodne raztopine izhaja z ozračevanjem. Dušik v neživi organski snovi pretvarjajo mikroorganizmi najprej v amoniak, nato v nitrite in končno v nitrate. Proces imenujemo nitrifikacija. Dušik v obliki amoniaka ali nitratov asimilirajo rastline in ga vgrajujejo v beljakovine. Živali, ki se hranijo z rastlinami, uporabljajo dušik za izgradnjo svojih lastnih beljakovin.

Glavni končni produkt metabolizma dušika pri večini živali je sečnina. Dušik v sečnini se s pomočjo mikroorganizmov pretvori nazaj v amoniak, nitrite in nitrate.

Nekatere vrste fakultativno aerobnih bakterij se pri pomanjkanju kisika oskrbujejo s kisikom tako, da ga odvzemajo molekulam nitritov in nitratov. Redukcija teče v anoksičnih pogojih vse do plinske oblike elementarnega dušika (N_2).

Komunalna odpadna voda vsebuje skupnega dušika od 20 – 50 mg/l. Delež niha in je v organski in amonijski obliki. Če je več dušika v amonijski obliki pomeni, da je voda že delno razgrajena, transportne poti do naprave so dolge in temperature višje. Glavna procesa, ki se odvijata v naravi in v bioreaktorjih z namenom zmanjševanja koncentracije dušikovih spojin, sta nitrifikacija in denitrifikacija.

Izkušnje kažejo, da ni mogoče uspešno odstraniti dušikovih snovi samo z biološko vključitvijo dušika v novo biokulturo aktivnega blata. Na ta način dosežemo le 20 – 30 odstotno odstranitev z izločanjem viškov novo nastale biokulture.

Nitrifikacija

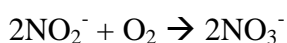
Nitrifikacija je biološka oksidacija amonijaka preko nitrita v nitrat. Je zelo pomemben dvostopenjski proces v kroženju dušika. Pri tem se pretvori reducirana oblika dušika (NH_4^+) v oksidirano obliko (NO_3^-). Ne spreminja se količina dušika v čistilni napravi, pač pa se spreminja oksidacijsko stanje dušika od močno reducirane oblike, preko vmesnih stopenj, kjer se amonijev ion oksidira v vmesno stopnjo nitrit in nadalje v nitrat.

Nitrifikacijski organizmi so znani kot skupina, ki zelo počasi rastejo. To povzroča nizek izkoristek energije, povezane z oksidacijo amonijaka v nitrit. Počasna rast nitrifikatorjev je glavni problem za nitrifikacijo v bioloških ČN. Avtotrofne bakterije uporabljajo za rast CO_2 , CO_3^{2-} , HCO_3^- kot ogljikov vir. CO_2 se reducira še preden se lahko ogljik »C« formira kot del celične biokulture.

Pretvorba amonijaka v nitrit:



Pretvorba nitrita v nitrat



Celokupna reakcija

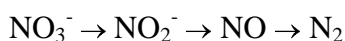


Denitrifikacija

Denitrifikacija je biološki proces odstranjevanja oksidiranih anorganskih dušikovih spojin v plinski dušik (N_2). Mikroorganizmi v procesu denitrifikacije spreminjajo topne oblike dušika, ki so okolju in vodnim sistemom nevarne, v plinske oblike, ki izhajajo v zrak in nimajo škodljivih posledic za okolje. Denitrifikacija je možna le v primeru, da je prisoten organski ogljik in dušik v mediju v obliki nitrata in v okolju ni na razpolago raztopljenega kisika.

Ker je v surovi odpadni vodi zelo malo te oblike, je treba v ČN najprej konvertirati vse možne razgradljive dušikove spojine do nitritne / nitratne oblike. Proces poteka samo v mikroaerofilnih pogojih, ker le v tem primeru organizem črpa za respiracijo potreben kisik iz zaloga nitrata.

Denitrifikatorji vsebujejo encime, s katerimi lahko pretvarjajo nitrat nazaj v amonijsko obliko ali pa nitrat preko nitrita v plinasti dušik.



FOSFORJEVE SPOJINE

Fosforjeve spojine se v odpadni vodi nahajajo kot ortofosfati (PO_4^{3-}), polifosfati ali partikularni fosfor. Ortofosfati lahko asimilirajo primarni producenti in mikroorganizmi. Preko njih fosfor prehaja po prehranskih verigah, na koncu katerih se pojavlja kot raztopljen in partikulatni organski fosfor. Raztopljen organski fosfor se pretvarja spet v ortofosfat (Toman, 2008).

Organske komponente fosforja so v hišnih odpadnih vodah manjšega pomena. Fosfor je tako kot dušik bistven za rast alg in drugih organizmov. Vendar pa zaradi škodljivega in nezaželenega cvetenja alg, ki se vse pogosteje bohotijo v površinskih vodah, obstaja vedno več razlogov za nadziranje fosfornih komponent, ki s komunalnimi ali industrijskimi odpadnimi vodami prihajajo v površinske vode. Običajno jih v odpadni vodi določamo kot celotni fosfor [mg/l] .

V vodne ekosisteme se fosfor sprošča iz matične podlage in prsti, v katerih je prisoten le v majhnih količinah. Prav zaradi njegovih nizkih koncentracij je fosfor v vodnih ekosistemih dejavnik, ki limitira produkcijo (Wetzel, 2001). Vendar je fosfor danes zaradi človekovega delovanja (vnos s padavinami, spiranjem kmetijskih zemljišč, odpadnimi vodami in izpusti čistilnih naprav) v vodnih ekosistemih prisoten v večjih količinah (Linegaard, 1995).

5 POSTOPKI ČIŠČENJA ODPADNIH VODA

5.1 S pritrjeno biomaso

Poznamo različne tipe bioloških čistilnih naprav, ki vsebujejo pritrjeno biomaso:

- precejalniki,
- biofiltri,
- rotirajoči biološki kontaktorji ali biodiski

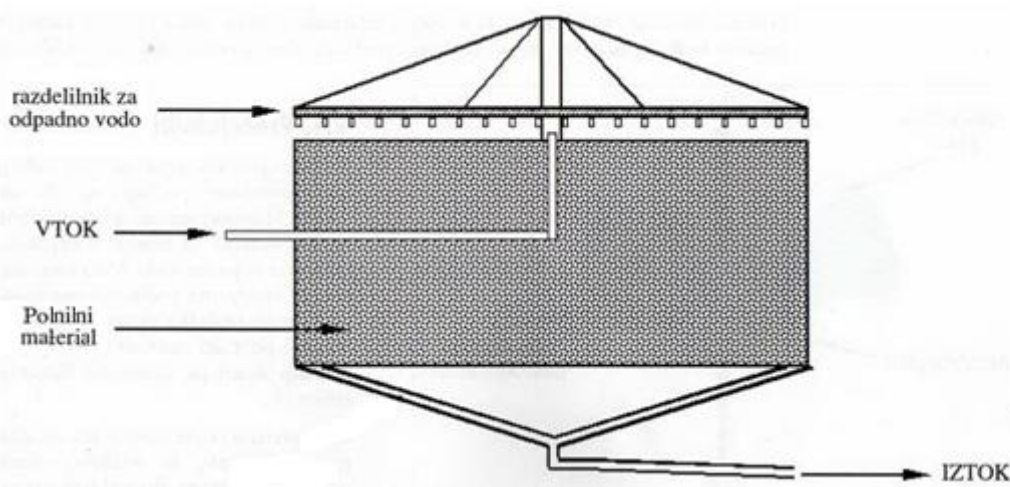
Vsi tipi se pri primernih pogojih uporabljajo za procese biološkega čiščenja:

- odstranjevanje organskih snovi,
- nitrifikacijo in
- denitrifikacijo.

Pri teh reaktorjih je biomasa vezana na trdno površino, zato ni potrebno vračati izgubljene biomase, da bi ohranili zadostno količino mikroorganizmov

5.1.1 Precejalniki

Precejalniki so naprave, skozi katero teče odpadna voda, v njih pa so kamniti, keramični ali plastični nosilci velikosti od 5 do 20 centimetrov, na katerih so mikroorganizmi, ki čistijo vodo. Precejalniki so konvencionalni tipi reaktorjev z biofilmom. Izboljšava precejalnikov v primerjavi s talnimi filtri je v tem, da zagotavljajo učinkovitejše in stalno prezračevanje v celotni globini precejalnika. Oskrba s kisikom iz zraka se vrši preko prezračevanja s površine. Biomasa se skladno s svojim življenjskim ciklusom obnavlja, po odlučanju pa sedimentira v naknadnem usedalniku naprave. Kvaliteta čiščenja odpadne vode je v veliki meri odvisna od konstrukcije, polnilnega materiala in stopnje obremenitve. Zelo pomembna je površina polnilnega materiala, to je specifična površina materiala (m^2/m^3) in vmesni prostori, kjer se vršijo osnovni transportni procesi.

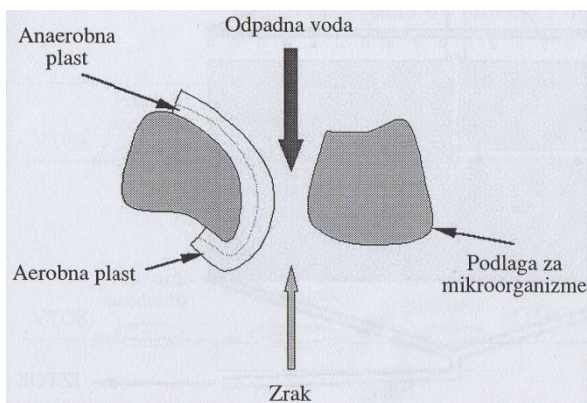


Slika 16: Precejalnik (Roš, 2001)

Precejalnike je potrebno pogosto nadzorovati. Pri kontroli posvečamo največ pozornosti pravilni razporeditvi vode, napravam za doziranje in površini precejalnika. Če se na površini prične nabirati voda, pomeni, da se je biološki filter zamašil in da naprava ne bo omogočala zahtevanega čiščenja. Pogosto se zgodi, da je potrebno zamenjati celotno polnilo ali ga temeljito izprati. Precejalnike je potrebno v zadostni meri prezračevati tako, da zrak prehaja skozi celotno polnilo in ne le lokalno. Tudi dno precejalnikov je potrebno čistiti, da očiščena voda nemoteno odteka.

5.1.2 Biofiltri

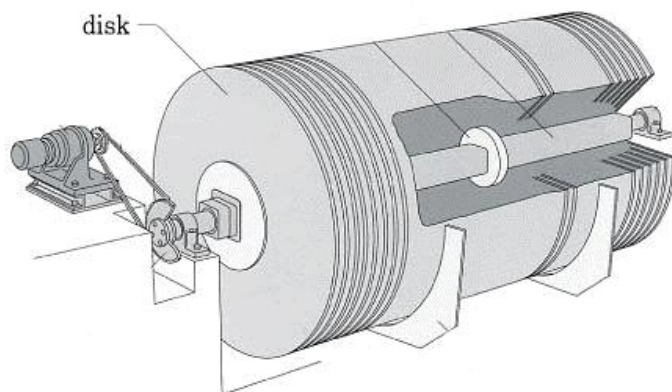
Biofiltri so nadaljnja razvojna stopnja precejalnikov. So pretočni aerobni reaktorji, napolnjeni s plastičnim, mineralnim ali drugim nosilnim materialom z veliko površino. To pomeni, da se bo aktivna biomasa ob vzpostavljanju biološkega procesa deloma vezala nanj v obliki biofilma, deloma pa bo ostajala v flokulirani obliki, ujeta v medprostorih. Delež pritrjene rasti je razmeroma majhen. Polnilo deluje tudi kot nekakšen separator oziroma usedalnik, služi pa tudi kot separator plin/trdna snov. Svežo odpadno vodo črpamo v reaktor pri dnu, razgradnja pa teče skozi ves aktivni volumen. Obdelana odpadna voda odteka v prelivu na vrhu, kjer lahko ločeno izstopa tudi plin. Proces je srednje učinkovit, rad kanalizira in se pogosto maši, zato ni primeren za odpadne vode z večjimi količinami suspendiranih snovi.



Slika 17: Shema biofilma pritrjenega na nosilni material v biofiltrih (Roš, 2001)

5.1.3 Rotirajoči biološki kontaktorji ali biodiski

Biodisk sestavlja os na kateri so nameščene okrogle plošče ali cevi in pogonski del. Rotirajočo podlago se izmenoma potaplja v vodo in izpostavlja zraku. Površino plošč obrastejo mikroorganizmi, ki se prehranjujejo z organskimi snovmi in nutrienti v odpadni vodi. Diski so oblikovani tako, da nudijo veliko specifično površino in veliko volumsko učinkovitost. Ob nizki porabi energije, tvori rotacija zadovoljivo areacijo vode in zadovoljiv kontakt med vodo in biofilmom. Debelino biofilma se kontrolira s turbulenco, ki jo kontrolira hitrost rotacije.



Slika 18: Skica biodiska

(http://www.kostak.si/dokumenti/mcn/primerjava_razlicnih_BCN.pdf).

Proces čiščenja odpadnih voda z biodiski zahteva primarno odstranjevanje usedljivih, netopnih snovi. Biofilm, ki po naravni poti zraste na biodiskih, sestavljajo različni mikroorganizmi.

Ti mikroorganizmi razgrajujejo organsko onesnaženje, pri čemer je vrsta organizmov odvisna od vrste odpadne vode in od pogojev delovanja naprave. Diski, ki so med seboj oddaljeni do 2 cm, se vrtijo s hitrostjo približno 0,5 obrata na minuto.

Vrtenje diskov je pomembno predvsem zaradi:

- aeracije, ki omogoča izmenično izpostavljanje biofilma zraku in vodi. Pri vrtenju biofilma skozi zrak se mikroorganizmom dovaja kisik, pri vrtenju skozi vodo pa ustrezna količina hraniv.
- masne izmenjave. Tekočina, ki je oddaljena od diska, se giblje proti njegovi površini v tanki plasti in tik ob njem privzame njegovo krožno gibanje. Pod vplivom take »centrifuge« tekočina privzame tudi radialno hitrost in rotacija pospeši masni prenos na biofilm.

5.2 Z razpršeno biomaso – poživljeno ali aktivno blato

Postopek temelji na spoznanjih Arderna in Locketta že iz leta 1914, ki sta ugotovila, da se proces čiščenja odpadne vode z zračenjem pospeši, če že ob pričetku zračenja zagotovimo ustrezno koncentracijo mikroorganizmov. To dosežemo tako, da del blata ponovno vrnemo na začetek procesa - povratno blato. Glavna elementa biološke čistilne naprave z aktivnim blatom sta biološki reaktor in naknadni ali sekundarni usedalnik.

Princip delovanja te naprave je v tem, da se aktivno blato z aktivnim mešanjem ali prezračevanjem vzdržuje v stalnem gibanju. Poleg žive biomase vsebujejo neraztopljene snovi anorganske in organske delce. Organizmi v aktivnem blatu prevzemajo organske snovi iz odpadne vode in jih spreminjajo v nove organizme, ki tvorijo kosme aktivnega blata, katere izločamo iz vode z usedanjem. Nekateri organski delci se s hidrolizo razgrajujejo, drugi ostanejo inertni. Organska snov, ki vstopa v proces z aktivnim blatom ima tri izhode: ogljikov dioksid (CO₂), odvišno blato in iztok.

Biološko čiščenje z razpršeno biomaso je proces, pri katerem se mikroorganizmi, odgovorni za razgradnjo organske materije in drugih primesi v odpadni vodi, nahajajo v obliki suspenzije. Bakterijska združba porablja za svojo rast organske nečistoče iz odpadne vode in kisik. Za intenzivni aerobni razkroj polutantov je potrebna velika količina kisika, ki mora biti vnešena na pravem mestu in v dovolj finih mehurčkih.

Neusedljiva, raztopljena organska materija se spremeni v usedljivo in mineralizirano, odpadna voda pa se na tak način biološko očisti.

Trije glavni vzroki so odgovorni za dobro ali slabo učinkovanje naprave z aktivnim blatom:

1. tehnična kakovost naprave in stopnja njene izkoriščenosti,
2. stanje odpadne vode,
3. kako osebe upravlja in vzdržuje napravo.

Pogled skozi mikroskop kaže, da aktivno blato sestavlja življenjska skupnost mnogih različnih organizmov, katerih najpomembnejše smo že spoznali v podpoglavju zgradba biofilma. Diverziteta organizmov v aktivnem blatu je predpogoj za optimalno razgrajevanje, vendar je manjša, kot pri precejalnikih. Samo vsled različnih prehrabnih navad teh živih bitij, se lahko blato prilagodi veliki paleti snovi, ki jih vsebujejo odpadne vode ter njihovim razgradnim produktom. Tako aktivno blato uteleša celo vrsto različnih prehranjevalnih tipov. Mnogi organizmi lahko sprejemajo samo pravo ali koloidno raztopljeno hrano. Sprejem poteka ali difuzno po vsej površini telesa ali pa na nekem določenem izgrajenem mestu.

5.2.1 Aerobna stabilizacija oziroma podaljšana aeracija

Postopek je bil iznajden okoli leta 1947. Namen postopka je stabilizirati aktivno blato v prezračevalnem bazenu in ne kasneje v gniliščih. Glavna značilnost postopka je daljši prezračevalni čas (vsaj 24 ur) in daljši zadrževalni čas (okoli 30 dni). Po Gram-Pearson teoriji je idealni čas podaljšane aeracije takrat, ko je rast izenačena z razpadom blata. Aeracijski bazeni so ponavadi ovalne oblike z mehanskimi mešali in prezračevalniki za zagotavljanje zadostne količine kisika in polno premešanje.

Postopek daje zelo visok efekt čiščenja. Pri taki zasnovi ni potrebna izgradnja primarnega usedalnika, stabilizirano blato se ne razpada in se ne širijo neprijetne vonjave.

Splošne značilnosti:

- daljši čas zadrževanja,
- majhna specifična obremenitev blata,
- majhna specifična volumska obremenitev,
- visoka stopnja čiščenja.

Vse te karakteristike zagotavljajo veliko obratovalno varnost, kakor tudi odpornost na "udarne obremenitve" s stališča onesnaženja in zelo majhno produkcijo viška blata. Višek blata, ki nastane v takih pogojih, ima visoko stopnjo stabilizacije oz. mineralizacije.

Slabosti aerobne stabilizacije so: velika poraba energije za vpihavanje zraka in mešanje, vsa sproščena toplota od razpada organskih snovi gre v nič, potrebno je čiščenje izpušnega zraka (biofilter). Limitni faktorji aerobnega procesa so: transport kisika do mikroorganizmov, njihova koncentracija in prisotnost zaviralcev (npr. težke kovine).

Hitrost procesa je prav tako temperaturno zelo odvisna, pri ambientni temperaturi je proces zelo počasen, zadrževalni časi so nad 30 dni, v termofilnem območju pa je lahko proces tudi zelo hiter, saj je zadosti že 7 dni zadrževalnega časa.

Aerobna stabilizacija blata (podaljšana aeracija)

- Obremenitev blata cca 0,05 kg BPK₅/kg TS, vsebnost suhe snovi blata do 5 kg SS/m³, Indeks blata do 110 ml/g
- poznane so številne modifikacije postopka, v preteklosti je bil to najbolj pogosto uporabljen postopek na napravah srednje velikosti z gornjo mejo do 20.000-40.000 PE,
- z zaostrovanjem mejnih vrednosti iztoka iz naprav (čiščenje dušika), se je zaradi potrebnega nižjega F/M razmerja, pomaknila zgornja meja uporabe tega postopka precej navzgor,
- postopek je zelo razširjen in ponovno pridobiva na veljavi.

Osnovne značilnosti postopka

- ekstenziven sistem z veliko obratovalno varnostjo,
- zahteva večje površine,
- relativno visoka poraba električne energije,
- relativno majhni stroški za osebje.

Delna aerobna stabilizacija in po potrebi dostabilizacija z dodajanjem apna (CaO)

- ekstenziven sistem z veliko obratovalno varnostjo,
- zahteva srednje velike površine,
- srednja poraba električne energije,
- relativno majhni stroški za osebje.

Osnovne značilnosti postopka

- Obremenitev blata cca 0,08 kg BPK₅/kg TS, vsebnost suhe snovi blata do 4,5 kg SS/m³, Indeks blata do 140 ml/g,
- z manjšim povečanjem F/M razmerja se potrebna prostornina prezračevalnih bazenov pomembno zmanjša, blato pa se dostabilizira z dodajanjem CaO, postopek ni zelo razširjen.

5.3 Kombinacija pritrjene in razpršene biomase

5.3.1 Sistem s pritrjeno biomaso na gibljivih nosilcih - MBBR

Sistem s pritrjeno biomaso na gibljivih nosilcih - MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) je nova tehnologija, ki združuje dobre lastnosti sistemov z razpršeno biomaso (aktivnim blatom) in s pritrjeno biomaso, pri tem pa se izogiba negativnim lastnostim konvencionalnih sistemov, kot je možnost zamašitve pri enkratnih visokih obremenitvah, ali velikih izgub biomase zaradi hidravličnih udarov. Podobno, kot sistem z aktivnim blatom, tudi gibljivi sloj uporablja celoten volumen bazena, vendar le-ta zadržuje večji del biomase (pritrjene na nosilcih) v reaktorju, medtem ko moramo pri aktivnem blatu biomaso kontinuirno vračati iz naknadnega usedalnika. Ko se iz nosilcev odlušči sloj biomase, se le-ta izloči kot presežno blato.

Nekaj temeljnih načel pri sistemu MBBR:

- delovati mora kontinuirno,
- biti mora odporen na visoke vstopne obremenitve,
- imeti mora majhne izgube biomase,
- imeti mora veliko specifično površino,
- biti mora modularen in imeti možnost nadgradnje.

Sistem MBBR je sistem, kjer so mikroorganizmi priraščeni na mobilne polietilenske nosilce, ki se prosto gibljejo v reaktorju. Za obstoj pritrjenih mikroorganizmov je oskrba s kisikom nepogrešljiva. Biomasa priraščena na nosilec se med prezračevanjem prosto giblje po bazenu, prihaja v stik s prisotnim onesnaženjem in ga odstranjuje. Poznamo različne vrste gibljivih nosilcev, ki so lahko iz naravnih materialov (glineni) ali iz umetnih mas (poliester), različnih oblik. Gibljivi nosilec narejen iz polietilena manjše gostote od vode, je cilindrične oblike s križem v notranjosti cilindra in nazobčan navzven. Oblika in velikost nosilca je razvita z namenom doseganja največjega možnega koeficienta difuzije tako na notranji kot na zunanji strani biofilma. Primer takih nosilcev je prikazan na slikah 19 in 20. Na nosilcih so tako vedno mikroorganizmi, ki so najbolj prilagojeni specifičnim pogojem in je zato kinetika odstranjevanja blizu maksimalne stopnje. Če je bazen pregrajen, se v vsakem biološkem bazenu razvijejo za posamezen proces najustreznejši mikroorganizmi. Največje učinke dosega ravno pri odstranjevanju dušikovih spojin, saj običajno procesa nitrifikacija in denitrifikacija potekata v ločenih stopnjah.

Sistem MBBR predvideva napolnjenost bazena z nosilci do 67% celotnega volumna, kar ustreza specifični uporabni površini za rast mikroorganizmov cca. $350 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Glede na potrebe, način čiščenja in obliko bazena lahko uporabljamo različne polnitve bazenov. Visoko stabilnost delovanja in učinek čiščenja čistilnih naprav pri sistemu s pritrjeno biomaso na gibljivih nosilcih dosegamo zaradi ločevanja različnih bioloških reakcij v ločene stopnje, zaradi preverjene oblike in materiala nosilcev, zaradi učinkovitega prenosa kisika v procesu in prilagojenega sistema odstranjevanja hranil (od končne biološke stopnje pa vse do začetka procesa). Če odstranjevanja dušikovih spojin ne potrebujemo, se temu primerno čistilna naprava poenostavi in zmanjša. Sistem MBBR je še posebej primeren za čiščenje odpadnih voda manjših naselij, kjer mora biti upravljanje naprave enostavno in ekonomično.



Slika 19: Podvodni detajl v biološkem reaktorju (<http://www.istrabenzplini.si>)

Prednosti MBBR sistema so:

- visok učinek čiščenja,
- optimalen proces čiščenja s selekcioniranjem mikroorganizmov,
- hitro in učinkovito ločevanje suspendiranih snovi,
- manjši volumen bazenov v primerjavi s klasičnim načinom in
- visoka odpornost na hidravlične in organske preobremenitve.

Naslednja slika prikazuje različne tipe polietilenskih nosilcev.



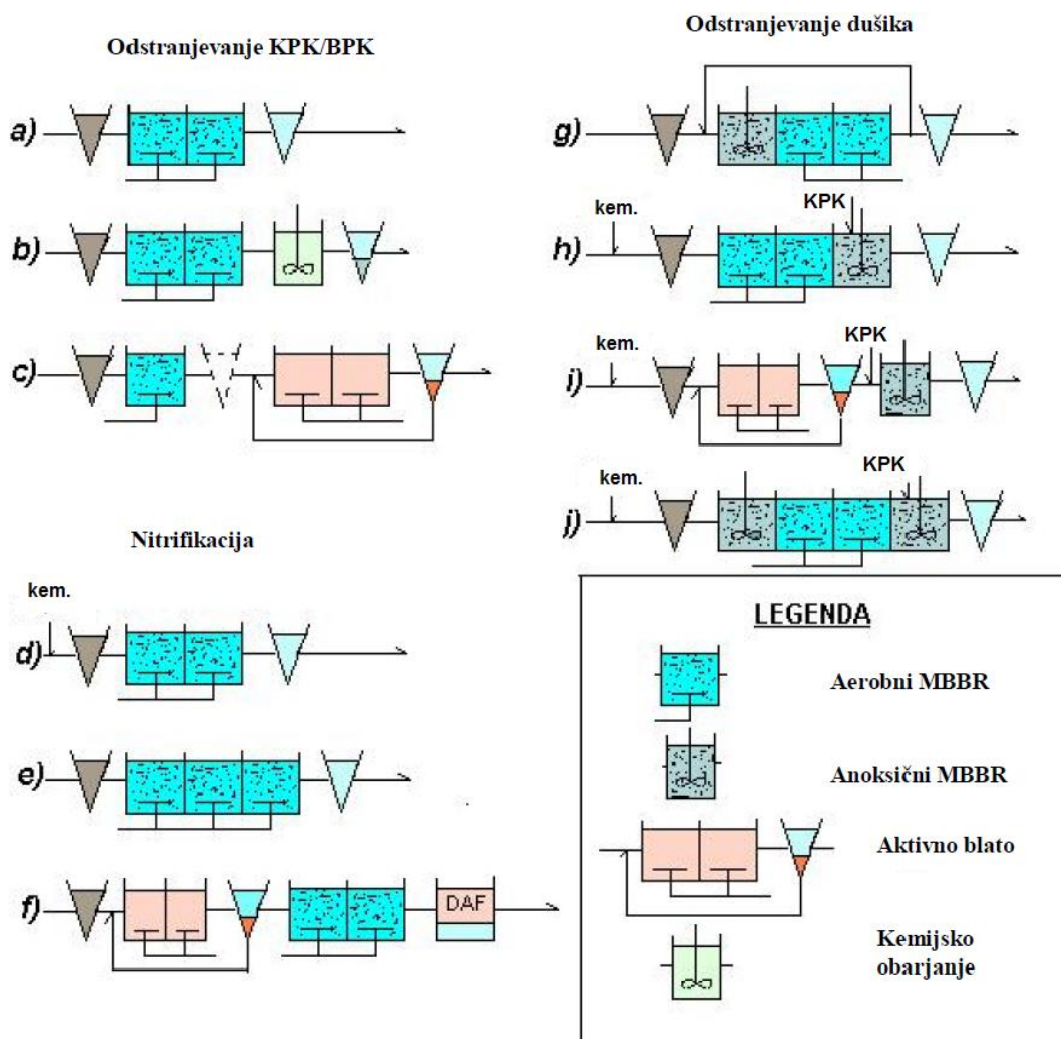
Slika 20: Različni polietilenski nosilci (<http://www.anoxkaldnes.com>).

Na spodnji sliki je prikazan nosilec poraščen z biofilmom.



Slika 21: Biofilm priraščen na nosilec (<http://www.anoxkaldnes.com>)

Slika 22 prikazuje različne možnosti uporabe MBBR sistema. Čeprav primarna sedimentacija ni nepogrešljiva, se še vedno uporablja, saj povečuje končni učinek čiščenja. Iz slike je razvidno tudi, da je vsakršen recikel biomase odvečen.



Slika 22: Diagrami osnovnih konfiguracij uporabe sistema s pritrjeno biomaso na gibljivih nosilcih (<http://www.istrabenzplini.si>).

Nitrifikacija je področje v katerem ima v primerjavi z ostalimi procesi sistem MBBR izrazito prednost. Največje prednosti so pri uporabljenih prostorninah, še posebno če ga uporabimo za terciarno čiščenje po fazi odstranjevanja ogljikovih spojin. V tem primeru specializirana avtotrofna biomasa, v okolju bogatem s kisikom bistveno hitreje asimilira sproščen dušik, kot sistemi z aktivnim blatom, hkrati pa je bolj odporna na toksične šoke.

Glede na vsebnosti dušika in kisika, je kinetika razgradnje veliko bolj odvisna od koncentracije raztopljenega kisika, kot od koncentracije amonija, predvsem zaradi težje difuzije oksidiranega substrata v notranjost biofilma. Zato imamo najvišje hitrosti odstranjevanja pri visokih koncentracijah raztopljenega kisika.

Na kinetiko najbolj vplivajo:

- organska obremenitev (BPK/KPK),
- koncentracija amonijevega dušika (NH_4),
- koncentracija raztopljenega kisika (O_2).

Slika v točkah (d), (e) in (f) prikazuje različne možnosti čiščenja. V primeru (d) in (e) prihaja do nitrifikacije takoj po odstranjevanju organske snovi, brez vmesne stopnje ločevanja. Kjer so nitrifikacijski bazeni postavljeni za bazeni z aktivnim blatom (f), je mogoče govoriti o primernosti večstopenjskih procesov. Zanje je značilna visoka začetna stopnja odstranjevanja amonija, ki mu sledi faza puliranja. Pozitivna lastnost take konfiguracije je v nizki produkciji avtotrofnega blata, zato v mnogih primerih ni potrebna naknadna separacija biomase.

Odstranjevanje nitratnega dušika v procesu MBBR lahko dosežemo z različnimi postavitvami, kot prikazujejo na sliki točke (g), (h), (i) in (j). Na hitrost procesa vpliva koncentracija nitratov, koncentracija biološko razgradljive organske snovi ali koncentracija raztopljenega kisika. V primeru takojšnje razpoložljivosti organskega topnega substrata, je najbolj ekonomično uporabiti lasten substrat, za takojšnjo redukcijo nitrata v plinasti dušik (prednitrifikacija). Nasprotno pa v fazi naknadne denitrifikacije, kjer vir hitro razgradljivega ogljika dodajamo po biološki oksidaciji BPK_5 in amonija ter tako dosežemo tudi dvojne hitrosti odstranjevanja, v primerjavi s prejšnjim primerom. S tem dosežemo precejšnje zmanjšanje potrebnih volumnov in bolj učinkovito kontrolo procesa.

6 ČIŠČENJE KOMUNALNIH ODPADNIH VOD V SLOVENIJI

Komunalne čistilne naprave so namenjene čiščenju komunalnih odpadnih in padavinskih voda, ki nastajajo kot posledica uporabe vode v gospodinjstvih, v javnih objektih in na javnih površinah, v industriji idr. Odpadne vode se običajno v kvaliteti in količini le malo spreminjajo. Večje spremembe (koncentracije na dotoku, večji pretoki,...) nastopijo le ob deževjih zaradi padavinskih voda, ki se zajemajo in odvajajo z javnih in ostalih površin (parkirišča, ceste, itd.).

Težave povzročajo močni nalivi v naseljih, kjer je mešani kanalizacijski sistem. Težava prevelikih pretokov odpadne vode se lahko odpravi s pomočjo zadrževalnikov padavinskih voda. Težave povzročajo tudi zastareli kanalizacijski sistemi, ki lahko imajo velik odstotek infiltracije (dotok tujih voda v kanalizacijo) oz. eksfiltracije (iztekanje odpadne vode iz kanalizacije).

Z vključevanjem Slovenije v EU smo prevzeli evropski red tudi na področju okoljske zakonodaje. Nacionalni program varstva okolja določa na področju varstva voda, kot enega izmed glavnih strateških ciljev, zmanjšanje emisij iz točkovnih virov. Ta v skladu z zahtevami direktive EU na omenjenem področju zahteva predvsem izgradnjo novih, oziroma dogradnjo sedanjih čistilnih naprav in kanalizacijskih sistemov. Slovenija mora tako do leta 2017 za vse vire onesnaževanja zagotoviti ustrezno čiščenje odpadne vode. Osnovna zahtevana stopnja čiščenja, ki velja za vsa območja poselitve, je sekundarno čiščenje, na občutljivih območjih pa tudi terciarno čiščenje.

Po Operativnem programu odvodnje in čiščenja komunalnih odpadnih voda je potrebno urediti ustrezno odvajanje in čiščenje komunalnih odpadnih voda, za vsa naselja z več kot 50 prebivalci.

Slovenska zakonodaja predpisuje kakovost iztokov iz komunalnih čistilnih naprav, tako glede na velikost, kot glede na občutljivost območja. Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih voda iz komunalnih čistilnih naprav (Uradni list RS, št. 35/1996, 90/1998, 31/2001, 62/2001, 41/2004-ZVO-1, 45/2007) določa posebne zahteve v zvezi z emisijo snovi pri odvajanju odpadnih vod iz komunalnih čistilnih naprav, in sicer:

- mejne vrednosti parametrov odpadne vode,
- mejne vrednosti učinka čiščenja odpadne vode,
- posebne ukrepe v zvezi z načrtovanjem in obratovanjem komunalnih čistilnih naprav.

Glede na velikost čistilne naprave je odvisna koncentracija parametrov v iztoku, predvsem organskih snovi (KPK, BPK₅) in hraniv (N in P spojin).

Preglednica 2: Mejne vrednosti za koncentracijo neraztopljenih snovi, amonijevega in celotnega dušika, celotnega fosforja, KPK ter BPK₅ (<http://www.arso.gov.si>)

Parameter	Izražen kot	Enota	Zmogljivost čistilne naprave izražena v PE		
			$\geq 2.000 < 10.000$	$\geq 10.000 < 100.000$	≥ 100.000
Neraztopljene snovi	-	mg/l	60	35	35
Amonijev dušik	N	mg/l	10 ^{**}	10 ^{**}	5 ^{**}
Celotni dušik*	N	mg/l	25 ^{**}	25 ^{**}	20 ^{**}
Celotni fosfor	P	mg/l	2	2	2
KPK	O ₂	mg/l	125	110	100
BPK ₅	O ₂	mg/l	25	20	20

Preglednica 3: Mejne vrednosti za koncentracijo amonijevega dušika ter za koncentracijo in učinek čiščenja celotnega dušika in celotnega fosforja (<http://www.arso.gov.si>)

Parameter	Izražen kot	Enota	Zmogljivost ČN izražena v PE		
			$\geq 2.000 < 10.000$	$\geq 10.000 < 100.000$	≥ 100.000
Amonijev dušik	N	mg/l	10 ^{**}	10 ^{**}	5 ^{**}
Celotni dušik*	N	mg/l	15 ^{**}	15 ^{**}	10 ^{**}
Učinek čiščenja celotnega dušika		%	70	70	80
Celotni fosfor	P	mg/l	2	2	1
Učinek čiščenja celotnega fosforja		%	80	80	80

* Celotni dušik je vsota dušika po Kjeldalhu (Norganski + N-NH₄), nitratnega dušika (N-NO₃) in nitritnega dušika (N-NO₂).

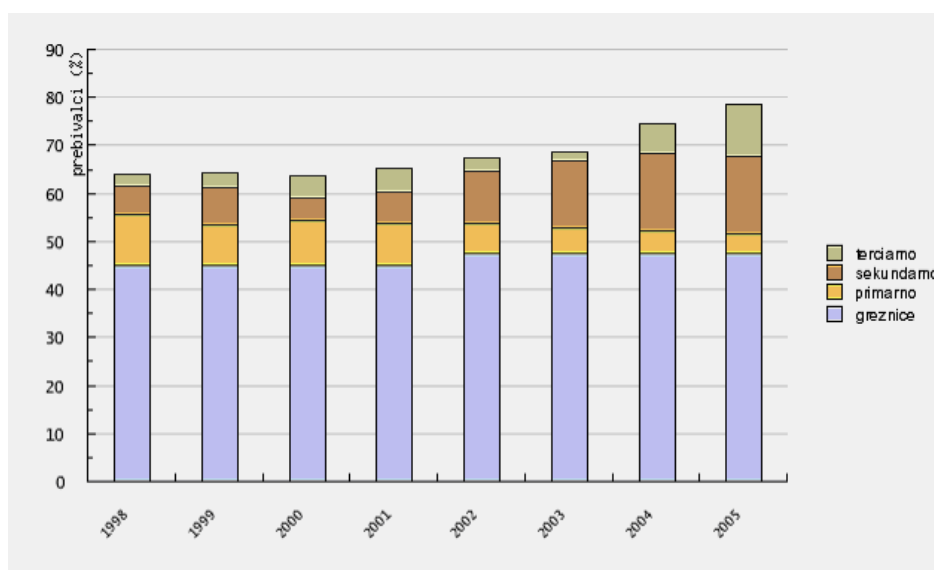
** Mejna vrednost za amonijev in celotni dušik se uporablja pri temperaturi odpadne vode 12 °C in več na iztoku aeracijskega bazena.

Po podatkih Agencije Republike Slovenije za Okolje (ARSO) je leta 2007 v Sloveniji delovalo 222 komunalnih čistilnih naprav. Leta 2000 je delovalo že 117 čistilnih naprav, v primerjavi z letom 1995, ko jih je delovalo le 92. Načini čiščenja odpadnih voda na čistilnih napravah za leto 1998, 2000, 2002, 2004, 2006 in 2007 so prikazani na grafikonu 1.

Preglednica 4: Število ČN pri posamezni stopnji čiščenja po letih

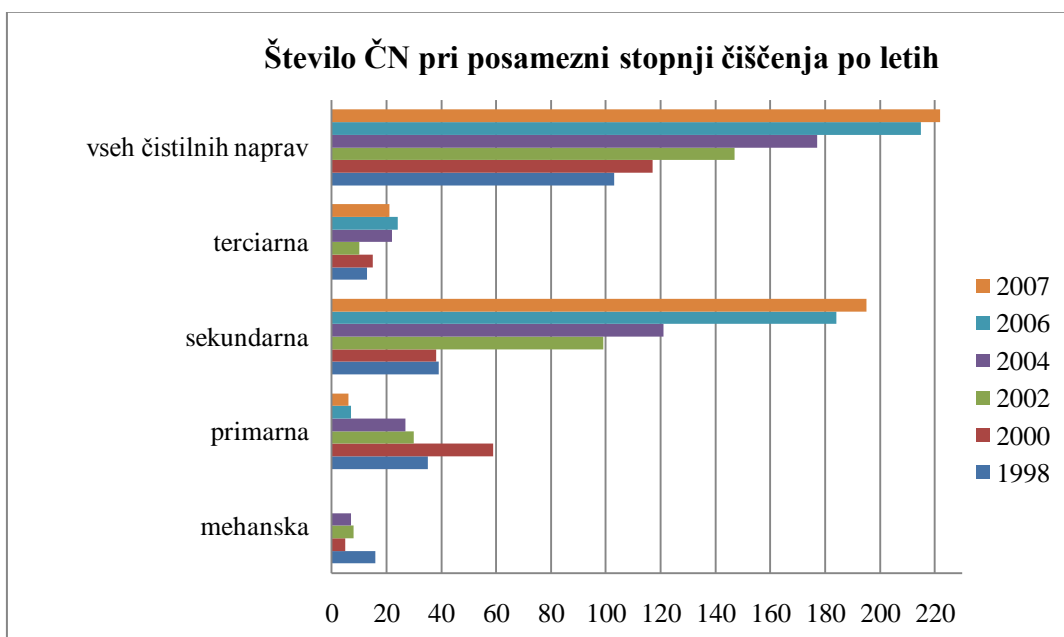
Stopnja čiščenja/ Leto	1998	2000	2002	2004	2006	2007
mehanska	16	5	8	7	0	0
primarna	35	59	30	27	7	6
sekundarna	39	38	99	121	184	195
terciarna	13	15	10	22	24	21
vseh čistilnih naprav	103	117	147	177	215	222

Iz preglednice 4 je razvidno, da ČN s samo mehansko stopnjo čiščenja v Sloveniji ni več, tudi ČN s primarno stopnjo čiščenja ni več veliko. Zelo pa je naraslo število naprav s sekundarnim čiščenjem. Zadnja leta pa se na občutljivih območjih gradi oziroma dograjuje tudi terciarna stopnja čiščenja. Če primerjamo število ČN leta 1998 in leta 2007, lahko vidimo, da se je število povečalo za več kot 100 %. Podatki iz te preglednice so ponazorjeni tudi v grafikonu 1.

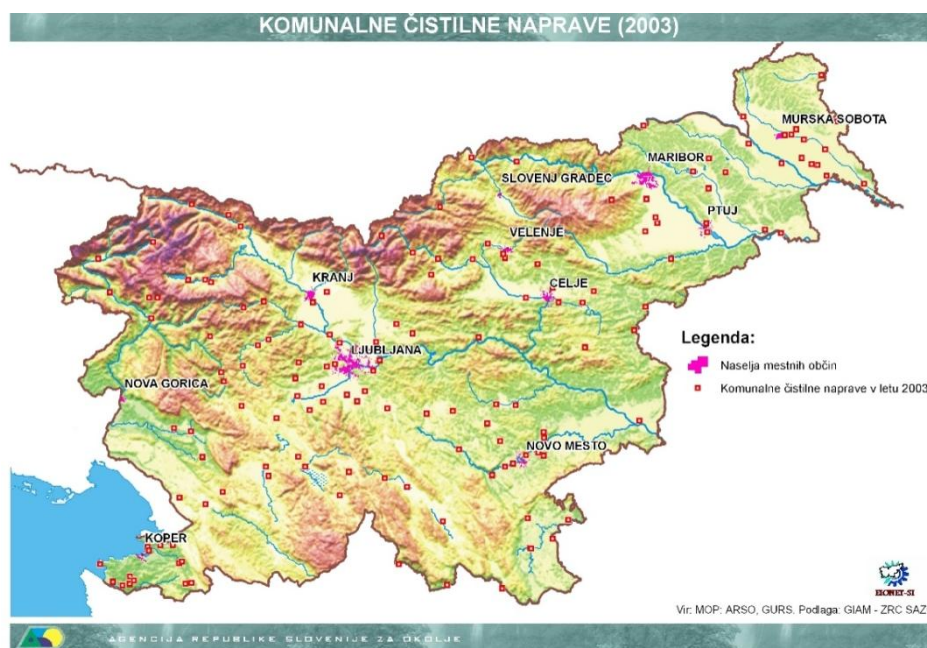


Slika 23: Stopnje obdelave odpadnih voda v Sloveniji (ARSO, 2007)

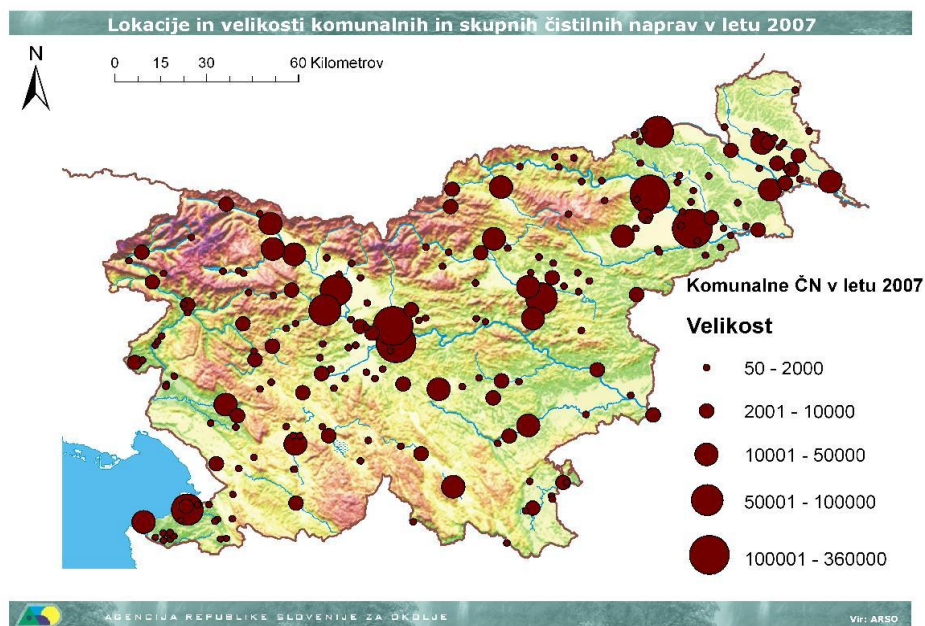
Iz strokovne ocene ARSO je poznan le delež prebivalcev, katerih odpadne vode se že prečiščujejo na čistilnih napravah, razvrščenih glede na stopnjo čiščenja. Zajeti so tudi podatki o čiščenju komunalnih odpadnih voda v greznicah, katere lahko opredelimo kot delno biološko čiščenje.



Grafikon 1: Število ČN pri posamezni stopnji čiščenja po letih

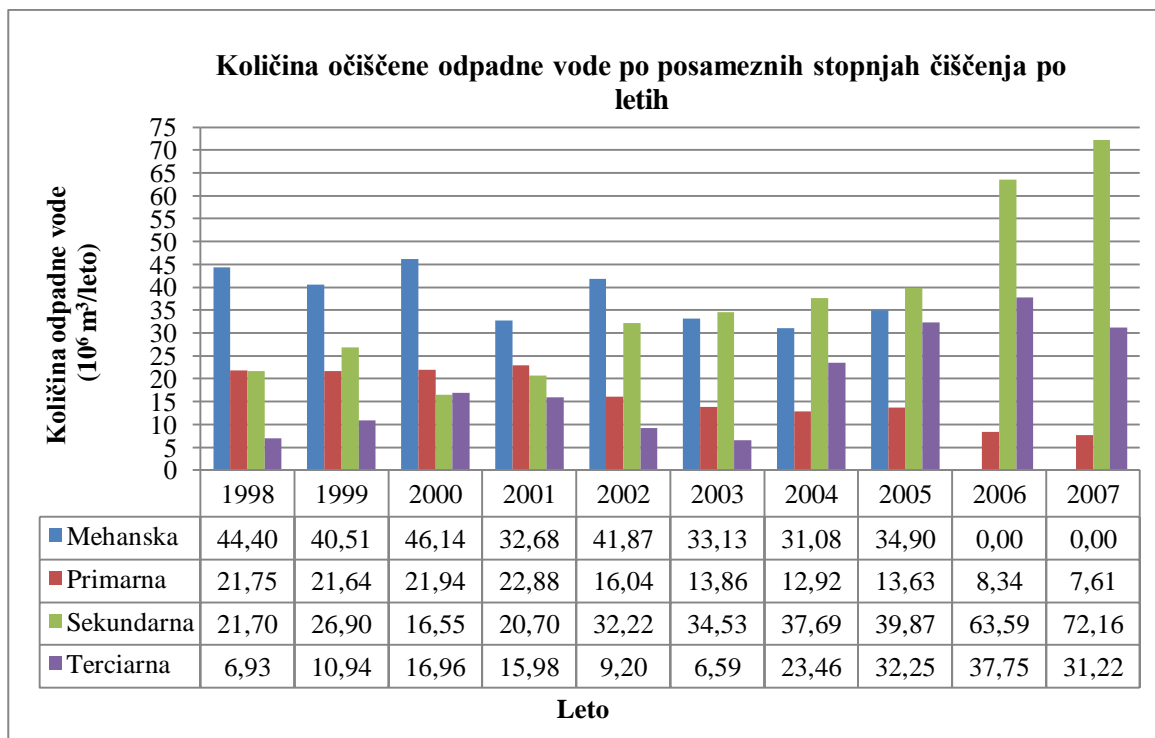


Slika 24: Prikaz komunalnih čistilnih naprav v Sloveniji v letu 2003 (<http://www.arso.gov.si/>)



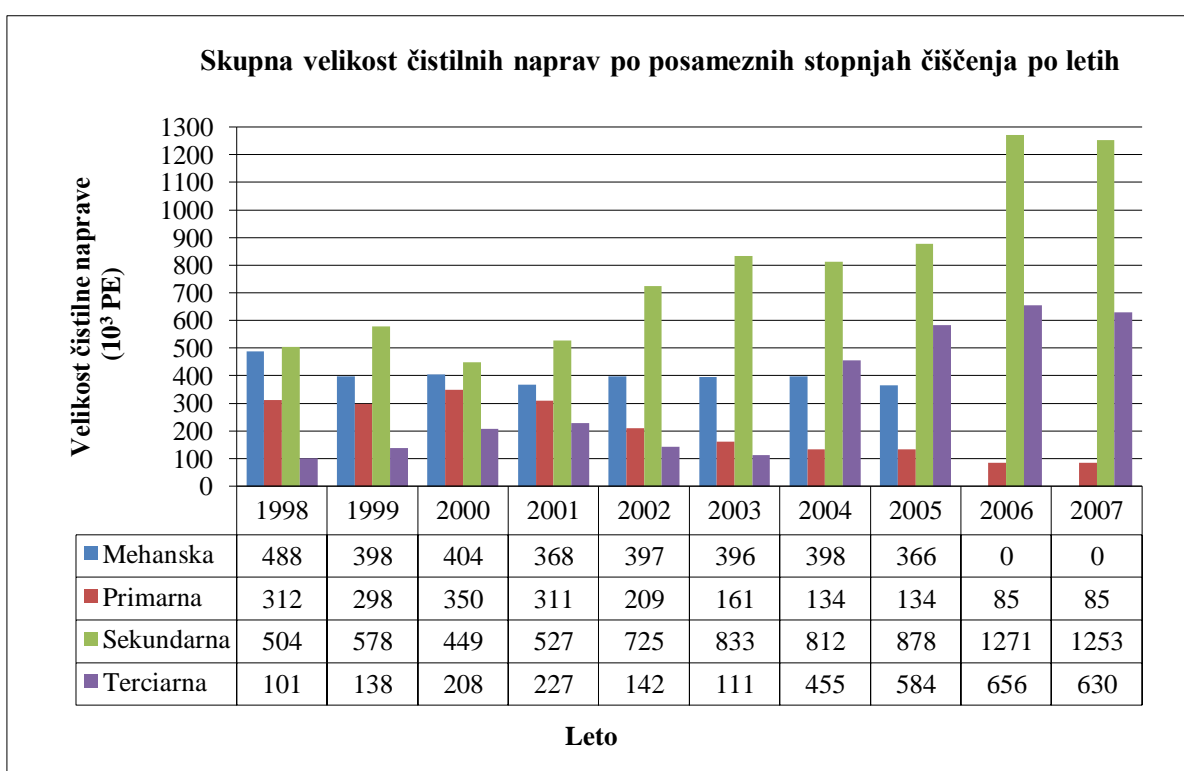
Slika 25: Prikaz komunalnih čistilnih naprav v Sloveniji v letu 2007 (<http://www.arso.gov.si>)

Iz slik 24 in 25 lahko razberemo, da se je tako število, kot tudi velikost ČN znatno povečala.



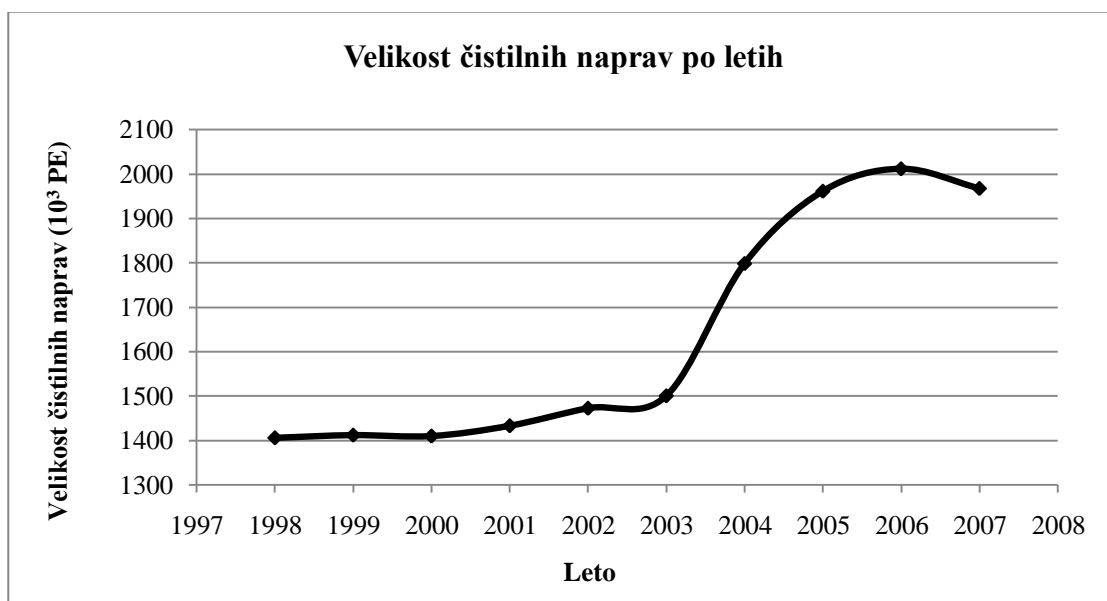
Grafikon 2: Količina očiščene odpadne vode po posameznih stopnjah čiščenja po letih

Količina mehansko očiščene odpadne vode se je od leta 1998, ko je znašala 44,40 milijon m³/leto, zmanjševala vse do leta 2006, ko ČN s samo mehansko stopnjo čiščenja ni bilo več. Podobno se je dogajalo z odpadno vodo, očiščeno s primarno stopnjo. Njena količina se je postopno zmanjševala iz leta v leto. Od leta 1998 do 2007 se je njena količina zmanjšala za 63 %. Nasprotno se je količina sekundarno očiščene odpadne vode iz leta v leto povečevala. Leta 2007 je znašala 72,16 milijonov m³/leto, kar je za 70 % več kot leta 1998. Količina terciarno očiščene odpadne vode pa se je povečala za skoraj 78 %. Skupna velikost ČN (PE) se je od leta 1998 do 2007 povečala za skoraj 30 %.



Grafikon 3: Skupna velikost ČN po posameznih stopnjah čiščenja po letih

Na grafikonu 4 vidimo, da po letu 2003 začne velikost ČN (PE) znatno naraščati in doseže vrhunec v letu 2006.



Grafikon 4: Velikost čistilnih naprav po letih

Čistilna naprava služi popolnemu ali delnemu očiščenju odpadne vode do te mere, da zmešana z vodo površinskega vodotoka zagotavlja normalni razvoj vodne flore in favne ter omogoča kopanje in napajanje živine. Zahtevana kvaliteta voda je podana z zakonsko določenimi vrednostmi posameznih parametrov snovi. Kakovost sprejemnikov očiščenih voda je odvisna od vrste čistilne naprave, ter njenega učinkovitega upravljanja. Da lahko upravljalec pravilno in učinkovito upravlja s čistilno napravo, mora imeti vsa potrebna znanja in izkušnje in natančne podatke o odpadni vodi, ki priteka na čistilno napravo. Nenehno mora spremljati procese čiščenja na čistilni napravi, kar se nadzira z zakonsko predpisanim monitoringom.

Ker čiščenje vključuje tudi padavinske odpadne vode, Slovenska zakonodaja predpisuje tudi Uredbo o emisiji snovi pri odvajanju padavinske vode z javnih cest (Uradni list RS, št.: 47/2005). Ta uredba določa v zvezi z zmanjševanjem onesnaževanja okolja zaradi odvajanja padavinske vode, ki nastaja na območju javnih cest:

- ukrepe zmanjševanja emisije snovi z odvajanjem padavinske odpadne vode,
- mejne vrednosti emisije snovi v vode in v javno kanalizacijo za padavinsko odpadno vodo, ki se odvaja s cestišča javne ceste,
- vrednotenje in merjenje emisije snovi.

Upravljalavec javnih cest mora zagotavljati meritve onesnaženosti padavinske odpadne vode na iztoku zadrževalnika in čistilne naprave padavinske odpadne vode. Emisija snovi se določa na iztoku padavinske vode iz naprave tako, da ni vpliva zaradi morebitnega razredčevanja z zalednimi vodami (padavinske vode, ki padejo na neutrjene površine javnih cest, kot so npr. zatravljene površine pobočij na odsekih v vkopu ipd. in se razpršeno stekajo proti cestnemu telesu; zaledne vode niso v stiku z vodami s cestišča). Vzorčenje se izvaja v obdobju deževnega vremena. Pri določanju pogostosti izvajanja meritev se upošteva porazdelitev padavin na letni ravni. Vzorec se odvzame na iztoku iz zadrževalnika ali čistilne naprave. Letna pogostost občasnih meritev in obdobje vzorčenja je glede na velikost prispevne površine, za katero je urejeno odvajanje preko zadrževalnika ali čistilne naprave za padavinsko odpadno vodo.

Mejne vrednosti parametrov za neposredno in posredno odvajanje padavinske vode ter za odvajanje padavinske odpadne vode v javno kanalizacijo so prikazane na sliki 26.

Parameter	Izražen kot	Enota	MEJNE VREDNOSTI	
			za odvajanje posredno ali neposredno v vode	za odvajanje v javno kanalizacijo
I. SPLOŠNI PARAMETRI				
1. Neraztopljene snovi		mg/l	80/160 (a)	(b)
2. Usedljive snovi		ml/l	0,5/10 (a)	10
III. ANORGANSKI PARAMETRI				
3. Kadmij*	Cd	mg/l	0,1	0,1
4. Baker *	Cu	mg/l	0,5	0,5
5. Cink *	Zn	mg/l	2,0	2,0
6. Celotni krom *	Cr	mg/l	0,5	0,5
7. Nikelj *	Ni	mg/l	0,5	0,5
IV. ORGANSKI PARAMETRI				
8. Celotni ogljikovodiki * (mineralna olja)		mg/l	10/50 (a)	20
9. Lahkohlapni aromatski ogljikovodiki * – BTX (c)		mg/l	0,1	1,0
10. Adsorbiljivi organski halogeni * – AOX	Cl	mg/l	0,5	0,5
11. Fenoli*	C ₆ H ₅ OH	mg/l	0,1	10
12. PAH*(d)		mg/l	0,00006	-

Opomba: parametri, ki imajo oznako*, so s predpisom, ki ureja emisijo toplote in snovi pri odvajanju odpadnih vod v vodo in javno kanalizacijo, določeni kot nevarna snov.

Oznake:

(a) manjša vrednost velja za vodovarstvena območja v skladu s predpisi, ki urejajo vodovarstvena območja,
(b) mejna koncentracija neraztopljenih snovi v padavinski vodi se določi v okoljevarstvenem dovoljenju z vrednostjo, pri kateri še ni vpliva na kanalizacijo ali čistilno napravo,

(c) vsota benzena, toluena in ksilena,

(d) policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH) so vsota izmerjenih koncentracij benzo(a)pirena, fluoroantena, benzo(b)fluoroantena, benzo(k)fluoroantena, benzo(ghi)perilena in indeno(1,2,3-cd)pirena. PAH so značilni parameter naftnih derivatov, mejno vrednost predstavlja meja določanja.

Slika 26: Mejne vrednosti parametrov za padavinsko odpadno vodo

7 PRIMERJAVA POSTOPKA BIOFILTRACIJE (CČN ŠALEŠKE DOLINE) IN PODALJŠANE AERACIJE (CČN CELJE) PRI ČIŠČENJU ODPADNIH VODA

7.1 Centralna Čistilna Naprava Šaleške Doline

Šaleška dolina je imela sredi osemdesetih let podobo onesnažene pokrajine. Njen glavni vodotok – reka Paka je spadal med najbolj obremenjene in onesnažene vodotoke v Sloveniji. Da bi izboljšali situacijo, so leta 1989 pričeli graditi I. fazo CČN Šaleške doline, ki je vključevala mehansko čiščenje z linijo obdelave biološkega blata. V II. fazi izgradnje je bilo predvideno še biološko čiščenje, ki pa takrat ni bilo izvedeno. Zgrajena I. faza čistilne naprave je sicer dosegala tudi do 60 % učinek odstranjevanja KPK oziroma BPK₅, vendar je še vedno presegala mejne vrednosti za iztok. Poleg tega CČN Šaleške doline ni omogočala odstranjevanja amonijevega dušika. Nadgradnja naprave z biološkim čiščenjem odpadnih voda in kompletna rekonstrukcija sklopov mehanskega čiščenja in linije obdelave blata je bila izvedena v letih 2005 in 2006.



Slika 27: Slika iz zraka CČN Šaleške doline pred izgradnjo II. faze (Šterbenk, 1997)

Lokacija

CČN Šaleške doline leži ob Primorski cesti, v industrijskem predelu med mestom Šoštanj in naseljem Pohrastnik. Na severu je lokacija omejena z reko Pako, na jugu s cesto Šoštanj - Penk in Pušnikovim bregom.

Na vzhodu meji na večji industrijski kompleks, na zahodu pa na večjo, delno pogozdeno površino. CČN čisti onesnažene vode na območju Mestne občine Velenje in občine Šoštanj.



Slika 28: Slika iz zraka CČN Šaleške doline po izgradnji II. faze (Naveršnik, 2007)

Celotni potek čiščenja odpadne vode na čistilni napravi je prikazan na shemi CČN Šaleške doline v prilogi B.

Tehnologija čiščenja

Pri sami izbiri ustreznega tehnološkega postopka biološkega čiščenja za II. fazo izgradnje CČN Šaleške doline je bilo potrebno upoštevati naslednje omejitve:

- dodatne zahteve za vrednosti iztoka očiščene vode v reko Pako,
- izgradnja na obstoječi lokaciji, ki je prostorsko omejena,
- ekonomska upravičenost izgradnje CČN in čiščenja odpadnih vod.

Na osnovi zgoraj navedenih kriterijev, je bila izbrana tehnologija biofiltracije, kot najprimernejši tehnološki postopek biološkega čiščenja odpadnih vod.

Tehnološki postopek čiščenja odpadnih voda na CČN Šaleške doline lahko po rekonstrukciji in izgradnji biofiltracije razdelimo na tri zaokrožene tehnološke sklope, in sicer na:

- mehansko čiščenje,
- biofiltracijo ter
- linijo za obdelavo blata in izrabo bioplina.

MEHANSKO ČIŠČENJE

Odpadna voda doteka na mehansko čiščenje po obstoječem kanalu. Na začetku kanala je poglabitev za lovilec kamenja. Za lovilec kamenja so grablje z razmikom 6 mm. Odpadki z grabelj se operejo in skompaktirajo. Nato odpadna voda odteče v črpališče, iz katerega se glede na pretok prečrpa v prezračevan peskolov z maščobnikom. Prezračevan peskolov z maščobnikom je narejen iz dveh vzporedno delujočih stez. Za boljše izločanje maščob se peskolov in maščobnik prepiljuje z zrakom. Izločen pesek se prečrpava s pomočjo potopnih črpalk na pralnik peska. Izločene maščobe se zbirajo v poglobitvi za maščobe, od koder se jih preda pooblaščenemu podjetju za zbiranje maščob.

Iz peskolova se odpadna voda preliva v dva vzporedno delujoča primarna usedalnika. Na dotok v vsak usedalnik se vodi tudi odpadna voda od pranja biofiltrov, ki vsebuje biološko blato iz biofiltracije. Posedlo blato se nato prečrpa v zgoščevalnik za blato. Mostova imata tudi posnemalo za odstranjevanje plavajočega blata, ki se prečrpa v zalogovnik za pregnito blato. Na mehanski stopnji je možen tudi sprejem grezničnih gošč.



Slika 29: Linija mehanskega čiščenja (Naveršnik, 2006)

OPIS TEHNOLOŠKEGA POSTOPKA BIOLOŠKEGA ČIŠČENJA Z BIOFILTRACIJO



Slika 30: Biološko čiščenje - biofiltri (Naveršnik, 2006)

Biofiltracija je tehnološki postopek biološkega čiščenja odpadnih vod s pritrjeno biomaso, pri kateri se odpadna voda prefiltrira skozi strnjen sloj. Nosilci za pritrjeno biomaso so okrogli delci ekspanzirane gline z natančno določeno velikostjo in gostoto, ki tvorijo strnjen sloj. Onesnažena odpadna voda prehaja od spodaj navzgor skozi strnjen sloj nosilcev obraslih z biomaso. V samem strjenem sloju potekata hkrati dva procesa: biološko čiščenje in filtracija.



Slika 31: Nosilni material – glineni delci v biofiltrih (Pipuš, 2007)

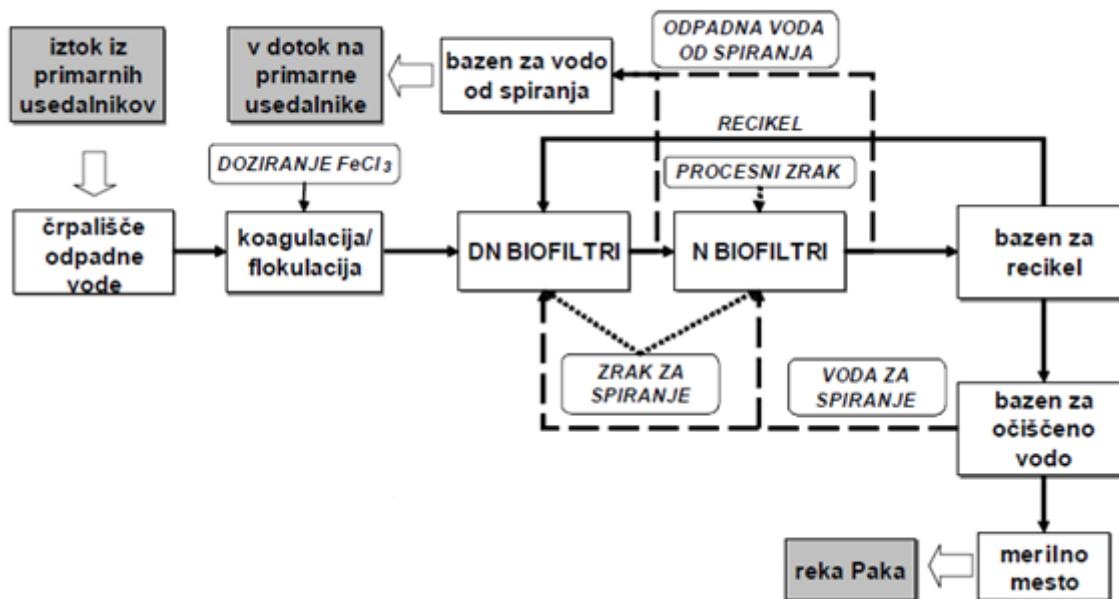
V procesu filtracije odpadne vode skozi strnjen sloj se suspendirane snovi izločijo iz odpadne vode in ostanejo ujete med nosilce biomase. S časom se količina izločenih suspendiranih snovi povečuje, s tem pa se povečuje tudi hidravlični upor.

Odvisno od zahtevanih bioloških procesov čiščenja (odstranjevanje C, nitrifikacija, denitrifikacija, odstranjevanje P) so poznane tudi različne vrste biofiltrrov. Na CČN Šaleške doline sta vgrajeni dve različni vrsti biofiltrrov zato, da se doseže biološko odstranjevanje dušikovih spojin. Ena vrsta biofiltrrov je namenjena denitrifikaciji (DN biofiltri), druga vrsta biofiltrrov pa je namenjena predvsem nitrifikaciji in tudi odstranjevanju organskega onesnaženja (N biofiltri). Glavna razlika med DN biofiltri in N biofiltri je predvsem v tem, da se N biofiltri prezračujejo, DN pa ne.

Zaradi izločenih suspendiranih snovi v procesu filtracije in prirasle biomase, upor proti toku odpadne vode skozi biofilter počasi raste, zato je potrebno biofiltre občasno spirati. Spiranje poteka s kombinacijo očiščene vode in zraka.

Biološko čiščenje z biofiltracijo na CČN Šaleške doline je sestavljeno iz sledečih tehnoloških enot:

- črpališče odpadne vode s finim sitom
- bazena za koagulacijo/flokulacijo
- osem DN biofiltrrov
- osem N biofiltrrov s puhalci za procesni zrak
- bazen za recikel s črpalkami
- bazen za očiščeno vodo s črpalkami za spiranje biofiltrrov
- doziranje FeCl_3
- puhalci za zrak za spiranje
- on-line merilniki



Slika 32: Shema delovanja biofiltracije na CČN Šaleške doline. (Pipuš, 2007)

Črpalnice in dotok odpadne vode na biofiltracijo

Odpadna voda iz primarnih usedalnikov se preliva na fine grablje z velikostjo odprtin 2,0 mm v črpalnice odpadne vode. Na finih grabljah se izločijo vsi morebitni mehanski delci, ki se niso izločili v mehanskem predčiščenju, in lahko zamašijo šobe biofiltriranih bazenov. Na biofiltraciji je predvideni pretok odpadne vode od 200 m³/h do 1.800 m³/h, pri čemer je lahko pretok odpadne vode iz pranja biofiltriranih bazenov do 400 m³/h. V črpalnici odpadne vode so vgrajene 3 potopne črpalke, ki črpajo odpadno vodo na biofiltracijo. Vsaka črpalka ima svoj tlačni cevovod, ki je opremljen z merilnikom pretoka in vodi do biofiltracije. Izmerjen pretok se uporablja za regulacijo internega recikla odpadne vode in za regulacijo pretoka na posamezne biofiltre ter za regulacijo doziranja kemikalij za izločanje fosforja.



Slika 33: Črpališče ČCN Šaleške doline (Pipuš, 2007)

Koagulacija/flokulacija

Odpadna voda se črpa iz črpališča odpadne vode na koagulacijo. S pomočjo koagulacije se iz odpadne vode odstranjuje fosfor. Odpadna voda najprej doteka v kanal pred bazenom za koagulacijo, ki upočasni njen tok. Dotok v bazen za koagulacijo je z vrha, iztok pa z dna, kar omogoča bolj optimalno koagulacijo. V bazen se dozira tehnična raztopina oz. koagulant FeCl_3 . Nato odpadna voda nadaljuje pot v bazen za flokulacijo. Oba bazena sta opremljena s počasno vrtečimi mešali. Doziranje FeCl_3 je pretočno proporcionalno, glede na izmerjeni dotok na biofiltracijo. Dodatno se regulira doziranje še s pomočjo on-line merilnika koncentracije $\text{PO}_4\text{-P}$, ki meri koncentracijo na dotoku na biofiltracijo. Algoritem izračuna potrebno koncentracijo koagulanta glede na izmerjeno koncentracijo $\text{PO}_4\text{-P}$ in podano stehiometrično razmerje.

Recikel

Po dodajanju kemikalij se odpadna voda meša z internim reciklom odpadne vode iz nitrifikacijskih bazenov, ki vsebuje nitratni dušik. Recikel se črpa s pomočjo treh frekvenčno reguliranih črpalk, od tega sta dve delovni, ena pa rezervna. Recikel se avtomatsko regulira glede na pretok, na izmerjeno koncentracijo nitratnega dušika na iztoku iz denitrifikacije in na iztoku iz ČN.

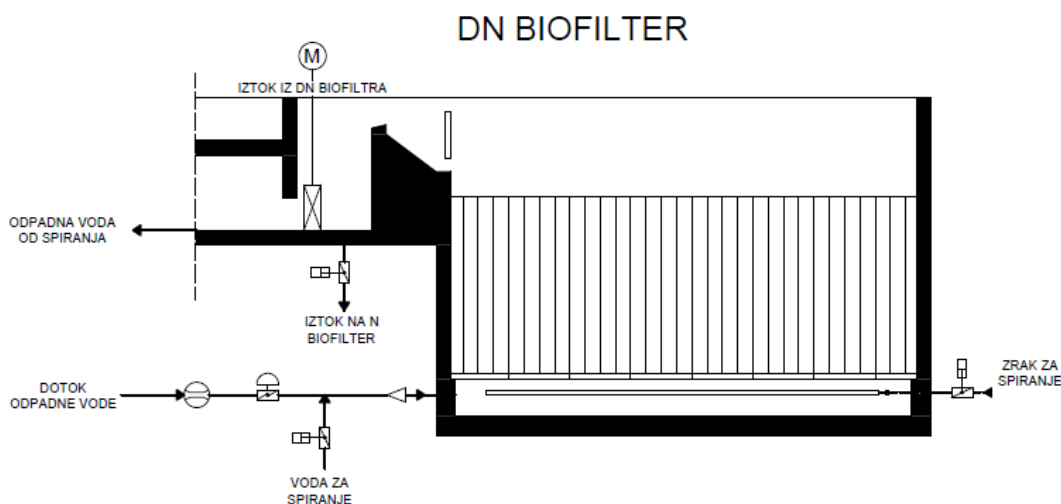
Iz izmerjene koncentracije nitratnega dušika se izračuna razmerje potrebnega recikla in na osnovi izmerjenega dotoka na biofiltracijo se v algoritmu izračuna pretok recikla oziroma skupni dotok odpadne vode na biofiltre.

Denitrifikacija

Odpadna voda z reciklom teče po cevovodu DN 900 na 8 vzporedno delujočih DN biofiltrah, kjer poteka denitrifikacija. Distribucija odpadne vode poteka s pomočjo regulirnega ventila in merilnika pretoka za vsak biofilter posebej. S pomočjo merilnika pretoka se regulira pretok odpadne vode tako, da se ustrezno spreminja odprtost regulirnega ventila. Ta način omogoča, da se na vsak delujoči biofilter vodi enak pretok odpadne vode, hkrati pa ga tudi beleži.

DN biofiltri imajo površino 35,1 m² vsak in višino nosilnega materiala 3,0 m. Ekspandirana glina s premerom delcev 4 – 8 mm se uporablja kot nosilec za biomaso. Voda doteka v biofilter od spodaj skozi talno ploščo s šobami, nato teče skozi filtrni sloj in odteka na vrhu preko pregrade. Namen pregrade je preprečevanje izplavljanja filtrnega materiala iz biofiltra. Iz DN biofiltra se odpadna voda preliva preko pregrade v jašek za iztok. Nato gravitacijsko teče na N biofilter skozi cevovod premera DN 350, na katerem je elektropnevmatski ventil, ki lahko zapre dotok na N biofilter. DN biofiltri in N biofiltri delujejo v tandemu. Vsak posamezni DN biofilter je direktno povezan s samo enim N biofiltrom tako, da ni potrebna vmesna distribucija odpadne vode. To bistveno poenostavi tok odpadne vode skozi biofilter. DN biofiltri se spirajo na vsakih 24 ur. Spiranje poteka s kombinacijo zraka in vode ali pa samo z zrakom ali samo z vodo. Za spiranje se uporablja očiščena odpadna voda iz iztoka iz N biofiltrah, ki se shranjuje v bazenu čiste vode.

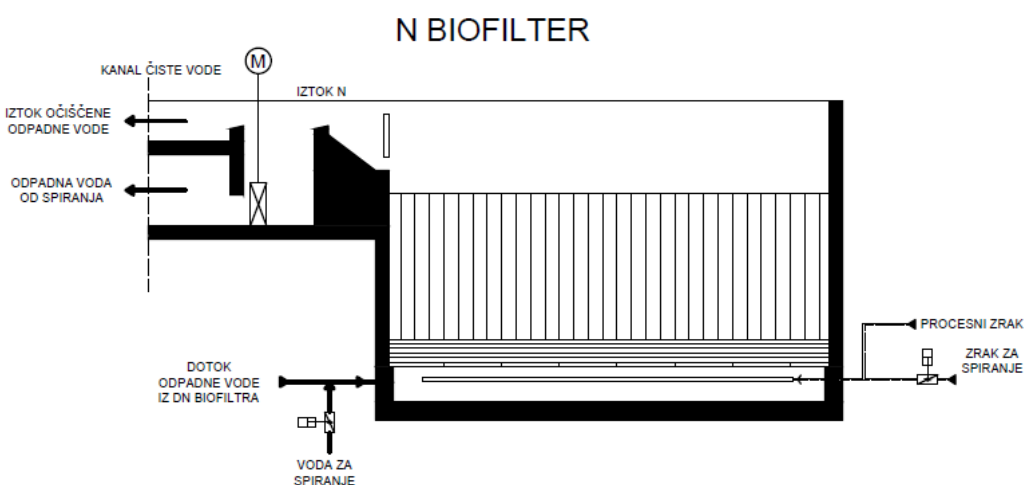
Odpadna voda od spiranja zapušča DN biofilter z vrha preko pregrade skozi dvignjeno zapornico v kanal za odpadno vodo od spiranja. Nato odteka po kanalu vzdolž celotne zgradbe biofiltracije v bazen za odpadno vodo od spiranja z volumnom ca 570 m³. Med spiranjem je ventil na dovodnem cevovodu do N biofiltra zaprt.



Slika 34: Shema delovanja DN biofiltrov

Nitrifikacija

Nitrifikacija poteka v 8 N biofiltrih, ki so v tandemu z DN biofiltri. N biofiltri imajo površino 40,9 m² vsak in višino filtrnega materiala 3,7 m. Ekspandirana glina s premerom delcev 2,5 – 5 mm tvori strnjen sloj filtrirnega materiala. Nad talno ploščo s šobami je plast peska, ker se lahko zaradi majhne velikosti delcev filtrirnega materiala zamašijo šobe za distribucijo zraka in odpadne vode. Odpadna voda v biofilter dostopa od spodaj skozi talno ploščo s šobami, teče skozi filterni material in se na vrhu biofiltra preliva preko pregrade. Očiščena voda iz filtra se preliva preko pregrade v iztočni jašek in teče po kanalu za očiščeno vodo v bazen za recirkulacijo, od koder se del vode prečrpa kot recikel nazaj na DN filtre. Ostali del očiščene vode pa se preliva v bazen čiste vode.



Slika 35: Shema delovanja N biofiltrov

Zrak potreben za nitrifikacijo se vpahuje s pomočjo osmih puhal. Vsak N biofilter ima po eno puhalo. Zrak se vpahuje skozi šobe, ki omogočajo sočasen pretok zraka in vode v biofilter. Pod talno ploščo so vgrajeni distributorji za zrak, ki ustvarijo zračno blazino pod talnimi ploščami.

N biofiltri se redno spirajo vsakih 36 ur. Spiranje biofiltrrov poteka izmenično s pretokom zraka in vode ali pa samo zraka ali samo vode. Odpadna voda od spiranja se preliva preko preliva in pada v iztočni jašek. Iz iztočnega jaška pa teče skozi odprto zapornico v kanal za odpadno vodo od spiranja. Odpadna voda od spiranja N biofiltrrov se zbira v bazenu za odpadno vodo od spiranja, od tam pa se prečrpa v primarna usedalnika.

Režimi delovanja biofiltrrov

Na CČN Šaleške doline je vgrajenih po osem vzporedno delujočih DN biofiltrrov in po osem N biofiltrrov. Vsi biofiltri so lahko v treh različnih obratovalnih režimih: delovanju, pripravljenosti ali v procesu spiranja.

Število biofiltrrov, ki so v obratovanju je odvisno od:

- celotnega pretoka odpadne vode na biofiltracijo, da se zagotovi delovanje biofiltrrov v območju med maksimalno in minimalno hitrostjo filtriranja odpadne vode,
- obremenitve z $\text{NH}_4\text{-N}$, ki se meri z on-line merilnikom in pretoka dotoka na posamezne DN filtre,
- potrebe po spiranju.

Če ni potrebno, da so vsi biofiltri hkrati v delovanju, je lahko eden ali več biofiltrrov v stanju pripravljenosti. V stanju pripravljenosti je potrebno N biofiltre občasno preprihovati s procesnim zrakom.

Procesni zrak

Vseh osem puhal za procesni zrak je opremljenih s frekvenčno regulacijo hitrosti glede na potrebe po zraku, kar omogoča prihranek pri obratovalnih stroških.

Regulacija puhal poteka s pomočjo algoritma na procesnem računalniku, ki direktno izračuna iz izmerjene koncentracije amonijevega dušika na dotoku na N biofiltre potrebno hitrost puhal in frekvenco za frekvenčni regulator. Koncentracija amonijevega dušika na dotoku v N biofiltre se meri s pomočjo on-line merilnika.

Spiranje

Nabrane trdne delce in prirasli biofilm je potrebno iz biofiltriranih odstraniti v rednih časovnih presledkih. To se opravi v procesu spiranja biofiltriranih. Proces spiranja biofiltriranih poteka s pomočjo zraka za spiranje in vode za spiranje, ki tečeta skozi filtrirni sloj od spodaj navzgor. Spiranje poteka pri dosti večjih hitrostih kot sama biofiltracija zato da se sloj filtrirnega materiala razrahlja, kar omogoča da se prirasla biomasa in akumulirani trdni delci sperejo s površine.

Za spiranje se uporablja očiščena odpadna voda, ki se shranjuje v bazenu za očiščeno odpadno vodo volumna 480 m³. Bazeni je običajno polni, ker se skozi njega pretaka celoten iztok očiščene odpadne vode iz ČN, ki se preliva iz bazena skozi jašek. Preliv določa maksimalno gladino v bazenu. Med samim spiranjem pa nivo vode v bazenu pade.

Spiranje filtrov se vključi v odvisnosti od štirih kriterijev:

- količine prefiltrirane odpadne vode od zadnjega spiranja,
- pretečenega časa od zadnjega spiranja,
- tlačnih izgub v filtrih,
- ročne vključitve spiranja

Postopek spiranja biofiltriranih je sestavljeno iz več zaporednih sekvenc, ki pa se med spiranje ponavljajo:

- dreniranje filtra,
- spiranje z zrakom, ki odstrani biofilm s filternega materiala,
- spiranje z zrakom in vodo, ki povzroči močnejše odstranjevanje s površine in tudi transport izločenih delcev iz biofiltra,
- spiranje z vodo, ki odstrani vse suspendirane snovi iz biofiltra pred začetkom normalnega filtriranja.

Spiranje biofiltriv poteka tako, da se najprej zapre ventil na dotoku in ventil na iztoku posameznega biofiltra ter se odpre zapornica za preliv odpadne vode od spiranja biofiltriv. Nato se biofilter drenira, tako da voda iz biofiltra gravitacijsko odteče v bazen za odpadno vodo od spiranja. Količina drenirane vode se meri z merilnikom pretoka. Ko preteče določena količina drenirane vode, se zapre ustrezen ventil in dreniranje se prekine.

Spiranje z zrakom poteka s pomočjo puhal za spiranje. Na začetku je potrebno počasno uvajanje zraka, da se pod talnimi ploščami ustvari enakomerna zračna blazina. Nato se počasi povečuje pretok zraka za spiranje. Spiranje z vodo poteka s pomočjo treh črpalk za spiranje biofiltriv, dve sta delovni, ena je rezervna. Med pranjem se uporablja različne pretoke vode za spiranje. Pretok se nastavlja z delovanjem ene ali dveh črpalk in v kratkih časovnih obdobjih tudi s frekvenčno regulacijo črpalk. Te sekvence se kontrolira z merilnikom pretoka na tlačnem cevovodu črpalk za spiranje.

Spiranje biofiltriv poteka z več različnimi sekvencami, med katerimi poteka spiranje samo z zrakom, spiranje z zrakom in vodo, ter spiranje samo z vodo. Sekvence spiranja se večkrat ponovijo. Pogoj za začetek delovanja spiranja je zadostna količina vode v bazenu za spiranje. Med spiranjem N biofiltriv se zapre dotok odpadne vode na pripadajoči DN biofilter. Zapre se ventile na dotoku na DN biofilter in na dotoku na N biofilter.

Na N biofiltru se odpre zapornica, ki omogoča, da se odpadna voda od spiranja odvaja v kanal za odpadno vodo od spiranja. Spiranje N biofiltriv poteka enako kot DN biofiltriv, le da se N biofiltre spira redkeje.

Bazen odpadne vode od spiranja

Opadna voda od spiranja iz vseh DN biofiltriv in N biofiltriv se zbira v kanalu za odpadno vodo od spiranja, ki vodi odpadno vodo v bazen odpadne vode od spiranja z volumnom 570 m³. Iz bazena se odpadna voda od spiranja prečrpava s konstantnim pretokom na dotok v primarne usedalnice s pomočjo dveh potopnih črpalk.

Opadna voda od spiranja vsebuje suspendirane snovi – kosme biofilma v koncentraciji približno od 0,3 do 1 g/l. Te suspendirane snovi se hitro usedajo in imajo nizek volumski indeks (med 30 do 60 ml/g). Usedanje poteka v primarnem usedalniku, kjer se suspendirane snovi iz spiranja izločijo skupaj s primarnim blatom. Iz primarnega usedalnika se posedlo blato vodi na anaerobno stabilizacijo.

Iztok očiščene vode

Očiščena odpadna voda priteče po kanalu najprej v bazen za recirkulacijo, ki se nahaja pod bazeni za koagulacijo in flokulacijo. Nivo vode v bazenu je določen s prelivnim robom. Iz bazena za recirkulacijo se očiščena odpadna voda preliva v bazen za očiščeno odpadno vodo. Bazeni očiščene vode je namenjen za shranjevanje očiščene vode za potrebe spiranja biofiltriranih. Iz bazena očiščene vode se očiščena odpadna voda nato preliva preko prelivnega roba v jašek in teče skozi merilno mesto v reko Pako. Merno mesto omogoča tudi izvajanje meritev pretoka očiščene odpadne vode in vzorčevanja za potrebe obratovalnega monitoringa odpadnih voda.

Doziranje FeCl_3

Tehnična raztopina FeCl_3 za potrebe obarjanja fosforja se shranjuje v 20 m³ rezervoarju. Rezervoar je nameščen znotraj lovilne betonske posode, ki zbere kemikalijo v primeru puščanja. Raztopina FeCl_3 se dozira s pomočjo dveh dozirnih črpalk, katerih delovanje uravnava pretok dozirnega sredstva.

Doziranje FeCl_3 poteka proporcionalno glede na izmerjen pretok na biofiltracijo in izmerjeno koncentracijo z merilnikom P-PO₄ na dotoku v biofiltracijo. Dodatno pa se količina doziranja kontrolira glede na signal iz PO₄-P merilnika, ki meri koncentracijo v dotoku na biofilter.

LINIJA OBDELAVE BLATA IN IZRABE BIOPLINA

Primarno in sekundarno biološko blato se iz obeh primarnih usedalnikov črpa v zgoščevalnik za blato. V zgoščevalniku se blato zgosti do cca. 4% sušine blata (Sb). Iz zgoščevalnika se lahko blato črpa direktno v gnilišče ali pa na napravo za mehansko zgoščevanje blata, ki blato dodatno zgosti do 6% Sb in se nato črpa v primarno gnilišče.



Slika 36: Predzgoščevalnik blata (Naveršnik, 2006)

Dve gnilišči sta mezofilni in ogrevani od 35 do 37 °C. Gnilišči delujeta kot vezni posodi. Iz prvega gnilišča se delno pregneto blato preliva v drugo gnilišče, kjer se dokončno anaerobno stabilizira. Vsako gnilišče je opremljeno s štirimi obtočnimi črpalkami za mešanje vsebine. Na vsakem tlačnem cevovodu obtočnih črpalk so cevni izmenjevalci toplote za pokrivanje toplotnih izgub in gretje gnilišč. Na vsakem gnilišču je merilnik temperature, ki uravnava ogrevanje gnilišč. Na vrhu obeh gnilišč je mešalo za razbijanje skorje in pen. Obe gnilišči sta plinotesni in imata varnostni ventil za bioplin. Na vrhu gnilišč se bioplin zajema in vodi do plinohrana.



Slika 37: Gnilišči blata (Pipuš, 2007)

Drugo gnilišče ima odprt preliv, preko katerega se morebitni višek gnile vode preliva v napravo za sprejem grezničnih vsebin. Iz drugega gnilišča se blato črpa v zalogovnik za pregneto blato. V zalogovnik za pregneto blato se črpa tudi plavajoče blato iz primarnih usedalnikov. Zalogovnik je opremljen z varnostnim prelivom, ki vodi v bazen za sprejem grezničnih vsebin. Blato iz zalogovnika za pregneto blato se črpa na centrifugo, kjer dehidrira. Povratna voda od centrifugiranja se po interni kanalizaciji vodi v napravo za sprejem grezničnih vsebin.



Slika 38: Zgoščevalnik blata (Naveršnik, 2006)



Slika 39: Centrifuga (Naveršnik, 2006)

Nastali bioplin iz obeh gnilišč se vodi v obstoječi plinohran. Na cevovodu je merilnik količine bioplina. Povprečno nastane približno 20 l/PEdan oziroma 1000 m³/dan bioplina. Poleg tega je na skupnem cevovodu še peščeni filter za izločanje pen, ter lovilnik kondenza. Iz plinohrana se bioplin vodi na porabnike s pomočjo obstoječega puhala.

Primarno se bioplin porablja na dveh plinskih motorjih za proizvodnjo električne in toplotne energije, ki se nahajata v objektu dehidracije. Stari plinski motor ima kapaciteto 45 kW, novi pa 150 kW. Nastala toplota se uporablja za ogrevanje gnilišč in prostorov v upravni in pogonski stavbi preko sistema toplotnih izmenjevalcev in sistema ogrevanja. V primeru, da plinska motorja ne obratujeta, se lahko bioplin sežge v plinski peči, ki je namenjena za proizvodnjo toplote za ogrevanje gnilišč in prostorov ter proizvodnjo tople vode. V primeru viškov bioplina ali izpada porabnikov bioplina, se morebitne viške kontrolirano sežge na plinski bakli.



Slika 40: Izraba gniliščnega plina
(Naveršnik, 2006)



Slika 41: Dehidrirano blato (Naveršnik,
2006)



Slika 42: Očiščena voda (Naveršnik, 2006)

7.2 Centralna Čistilna Naprava Celje

Čistilna naprava Celje je bila zgrajena leta 2003, leta 2004 pa je pričela poskusno obratovati. V letu 2005 jo je v svoje upravljanje prevzelo podjetje Vodovod - Kanalizacija Celje. Na tej čistilni napravi je tudi sedež Obrata za čiščenje odpadne vode. V letu 2006 je bila končana tudi nadgradnja kanalizacijskega sistema mesta Celja, pri kateri so bila zgrajena črpališča in zadrževalni bazeni na posameznih rajonskih zbiralnikih. V teh zadrževalnih bazenih se zadrži prvi val padavinskih voda, ki se potem, ko nivo vode v kanalizaciji pade, prečrpa v kanalizacijo in očisti na čistilni napravi Celje. Čistilna naprava Celje je zgrajena za končno obremenitev 85000 PE. Namenjena je mehanski in biološki obdelavi odpadnih voda mesta Celja in bližnjih naselij.

V procesu čiščenja se iz odpadne vode odstranijo organske snovi ter dušikove in fosforjeve spojine, s tem pa se močno zmanjša vpliv mesta Celje na površinski odvodnik reko Savinjo.



Slika 43: CČN Celje (<http://www.ekorg.si>)

Lokacija

ČN se nahaja severovzhodno od naselja Tremerje, približno 4 km nizvodno ob Savinji. Območje obsega 26.000 m² in leži tik pred stičiščem železniške proge Zidani most – Celje in lokalne ceste Celje – Laško na levi strani Savinje pod vznožjem Vipote.



Slika 44: Upravna stavba CČN Celje

Tehnologija čiščenja

Biolško čiščenje odpadne vode se vrši s suspenzijo biološkega blata. Do obremenitve cca 75.000 PE naprava obratuje kot naprava z aerobno stabilizacijo blata (podaljšana aeracija). Ko se obremenitev naprave poveča nad omenjeno vrednost, je predvidena dostabilizacija blata z doziranjem apna k že zgoščenemu blatu. Čiščenje odpadne vode obsega odstranjevanje mehanskih delcev, organskih, dušikovih in fosforjevih spojin. Dušikove spojine se odstranjujejo z nitri/denitrifikacijo, fosforjeve spojine pa s kombiniranim biološko - kemijskim izločanjem fosforja. V ta namen sta zgrajena anaerobna bazena. Potreben kisik za delovanje mikroorganizmov v suspenziji biološkega blata se v prezračevalne/aerobne bazene dovaja preko puhal s stisnjenim zrakom. Podvodna mešala, vgrajena v anaerobnem bazenu, anoksičnem in oksičnem delu prezračevalnega bazena, mešajo vsebino bazenov in preprečujejo usedanje biološkega blata na dno bazenov.

Celotni potek čiščenja odpadne vode na čistilni napravi je prikazan na shemi CČN Celje v prilogi A.

MEHANSKO ČIŠČENJE

Čiščenje surove odpadne vode se prične v mehanski stopnji čiščenja. Odpadna voda priteče po dovodnem glavnem kanalizacijskem zbiralniku v čistilno napravo v lovilec gramoza, kjer se usedajo večji in težji delci gramoza in se občasno odstranijo v kontejner. Iz lovilca gramoza voda teče preko betonskega preliva v vhodno črpališče s tremi potopnimi črpalkami, ki odpadno vodo dvignejo na koto grabelj.



Slika 45: Dotok odpadne vode iz kanalizacije v CČN Celje

V postaji grabelj so nameščene dvojne elektromotorne verižne grablje ter ročne paličaste grablje za primer okvare elektromotornih. Odpadki grabelj se strojno odstranjujejo na polžni transporter – kompaktor, kjer se odpadki dehidrirajo in padajo v kolesni zabojnik. Iztisnjena voda se vrača v čiščenje.



Slika 46: Grablje v mehanskem delu čiščenja

Pred dotokom odpadne vode v ozračeni peskolov so nameščeni avtomatski vzorčevalnik za odvzem vzorcev odpadne vode ter instrumenti za on-line merjenje pH vrednosti, temperature elektroprevodnosti, ter KPK, ki te podatke avtomatično prenašajo na centralni računalnik v komandni sobi.



Slika 47: Odpadki grabelj v kolesnem zabojniku

Odpadna voda nato teče v ozračeni peskolov in maščobnik. Peskolov in maščobnik na čistilni napravi sta dvostezna, vzdolžna in prezračena, s pomičnim mostom, na katerem sta nameščeni strgali za pesek in posnemali maščobe.

Strgalo na dnu usedli pesek potiska v poglobljeni del peskolova, od koder se pesek prečrpava do klasifikatorja peska. V klasifikatorju peska se pesek loči od vode in se odlaga v kontejnerje, voda pa se vrača v vhodno črpališče.



Slika 48: Peskolov in maščobnik

Peskolov je prezračen, tako da ostanejo lažji delci organskih snovi v suspenziji, pesek se odlaga v kontejnerje, maščobo pa zrak potiska med lamelami, ki ločujejo peskolov in maščobnik, v maščobnik. Plavajočo maščobo posnemalo potiska v smeri toka vode iz maščobnika v rezervoar maščob.



Slika 49: Pesek iz peskolova

Iz objekta predčiščenja se zrak preko navlaževalne komore vodi na biofilter, kjer se zrak očisti, tako da ne prihaja do emisij smradu v okolje.

BIOLOŠKO ČIŠČENJE Z AEROBNO STABILIZACIJO OZ. PODALJŠANO AERACIJO

V biološki stopnji poteka čiščenje odpadne vode z aktivnim blatom v obliki suspendirane biomase pri aerobnih pogojih. Biološko čiščenje na čistilni napravi se izvaja v dveh vzporednih anaerobnih bazenih in treh vzporednih prezračevalnih - aeracijskih bazenih. Mehansko očiščena odpadna voda priteče v dva vzporedna anaerobna bazena. Tu pridejo kosmi aktivnega blata v stik z organskimi snovmi iz surove odpadne vode.

V anaerobne bazene se vodi tudi povratno blato, ki še vsebuje nitrato, saj denitrifikacija v aeracijskih bazenih ni popolnoma končana.



Slika 50: Anaerobna bazena

V anaerobnih bazenih ni aeracije, v vodi ni vezanega kisika, saj ga porabijo mikroorganizmi, ki pridejo v anaerobni bazen s povratnim blatom. V anaerobnih pogojih se prične biološko odstranjevanje fosforja in dušika. V vsaki komori je potopno mešalo, ki preprečuje usedanje blata na dno in zagotavlja čim boljši stik mikroorganizmov z odpadno vodo.



Slika 51: Anaerobna bazena

Iz anaerobnih bazenov odpadna voda z aktivnim blatom teče v tri vzporedne aeracijske bazene. Bistveni del procesa poteka aerobno v aeracijskem bazenu. Gre za proces podaljšane aeracije aktivnega blata. Ogljik v organski snovi kot vir energije za rast celic se ob prisotnosti kisika, ki se vpahuje v mešanico odpadne vode in blata v aeracijskih bazenih, pretvarja v mikrobiološko celično maso, vodo in oksidirane končne produkte. Odvečno blato nastane zaradi celične rasti mikroorganizmov ob porabi ogljikovih spojin in obarjanje fosforja.

Odstranjevanje dušikovih spojin poteka v procesu dvostopenjske oksidacije amonija v nitrat ob prisotnosti avtotrofnih bakterij. Denitrifikacija poteka v anoksičnem okolju aeracijskega bazena, ko za heterotrofne mikroorganizme ni več raztopljenega kisika in morajo kot vir kisika uporabiti nitrat/nitrit.



Slika 52: Aeracijski bazeni



Slika 53: Aeracijski bazen

Na dnu vsakega bazena so nameščene štiri enote membranskih aeratorjev. Troje puhal, nameščenih v objektu predčiščenja, dovaja stisnjen zrak do membranskih aeratorjev. Ti razpršijo stisnjen zrak v obliki drobnih mehurčkov v odpadno vodo, s čimer prihaja do vnosa in raztapljanja kisika.



Slika 54: Puhala

V vsakem bazenu so nameščena štiri mešala, ki ustvarjajo kroženje vode. S krožnim pretokom odpadna voda teče preko aerobne cone, kjer so nameščeni aeratorji, in anoksične cone, kjer ni prezračevanja in poteka denitrifikacija.

Mešanica biološko očiščene vode in aktivnega blata iz aeracijskih bazenov teče po zbirni cevi v razdelilni objekt, kjer se voda preko preliva razdeli na dva enaka dela in preko povezovalnih cevi teče v dva naknadna usedalnika. V naknadnih usedalnikih se tok vode umiri, aktivno blato se gravitacijsko ločuje od očiščene odpadne vode.



Slika 55: Črpalke na razdelilnem objektu

NAKNADNA USEDALNIKA

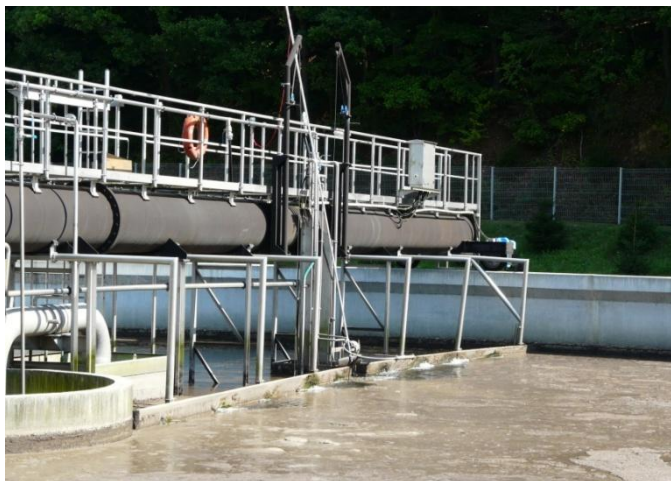
Čistilna naprava ima dva naknadna usedalnika okrogle oblike z ravnim dnom in s horizontalnim iztokom. Na vsakem naknadnem usedalniku je pomični most s krožnim strgalom, s sesalnimi cevmi ter posnemalom pene. Očiščena odpadna voda iz usedalnikov preko perforiranih odtočnih cevi odteka v odtočni kanal in se nato preko preliva izliva v odvodno cev.



Slika 56: Naknadni usedalnik

Blato se useda na dnu bazena. Krožno strgalo potuje po dnu in strga blato, ki se s sesalnimi cevmi po principu natege poseja preko sifona v zbirni jašek v osi.

Iz zbirnega jaška teče po cevovodu v črpališče povratnega blata. V njem so nameščene tri črpalke za povratno blato, po ena za vsak naknadni usedalnik in ena rezervna, ter črpalka za odstranjevanje plavajočega blata. Črpalke za povratno blato so vodene prek frekvenčnega regulatorja in merilca pretoka povratnega blata, kar omogoča določanje zelene količine povratnega blata.



Slika 57: Krožno strgalo (naknadni usedalnik)

Na iztoku iz čistilne naprave je nameščen magnetni induktivni merilnik pretoka. Pred iztokom očiščene odpadne vode v reko Savinjo je nameščen avtomatski vzorčevalnik za odvzem vzorcev na iztoku ter on-line merilne postaje za merjenje pH vrednosti, amonijevega dušika, nitratnega dušika in KPK/BPK₅. Rezultati meritev se prikazujejo na centralnem računalniku v kontrolni sobi.



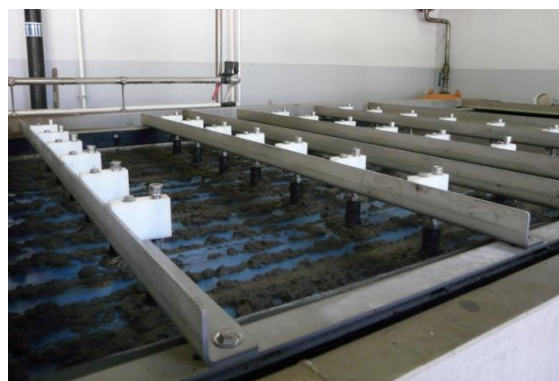
Slika 58: Iztok očiščene vode

LINIJA OBDELAVE BLATA

Linijo blata sestavljajo enota za strojno predzgoščanje blata, zalogovnik blata, enota za dehidracijo ter postaja za sprejem grezničnih gošč. Linija blata se prične v naknadnih usedalnikih, kjer se blato loči od očiščene vode. Del blata se vrača nazaj v anaerobne bazene kot povratno blato, s katerim se vzdržuje potrebna koncentracija aktivne biomase v biološkem delu, ostali del blata pa se kot odvečno blato obdeluje na napravah za zgoščanje blata. Blato se z dodatkom tekočega flokulanta predzgošča na tračnem zgoščevalcu.



Slika 59: Naprava za zgoščanje blata



Slika 60: Naprava za zgoščanje blata

Predzgoščeno blato se vodi v zalogovnik blata, od tam pa se črpa na dve centrifugi.



Slika 61: Zalogovnik blata

Pred centrifugiranjem se blatu dodajajo flokulanti. Po potrebi se blatu po centrifugiranju dodaja tudi apno za higienizacijo.



Slika 62: Dehidracija blata



Slika 63: Del linije obdelave blata – centrifuga

Zgoščeno blato se po cevovodu s pomočjo ekscentrične črpalke potiska v kontejnerje in odvažava v Toplarno Celje, kjer se blato sežiga skupaj z lahko gorljivo frakcijo komunalnih odpadkov.

Za avtomatizacijo obratovanja Čistilne naprave Celje skrbi programabilni logični regulator (PLC), ki izvaja avtomatski nadzor celotne čistilne naprave. V nadzorni sobi se s pomočjo sistema SCADA na operaterskih postajah prikazujejo procesi v sistemu čiščenja, stanje motorjev, stanje zasunov, parametri procesa, obratovalne ure opreme, informacije o trenutnem stanju opreme in alarmi ob okvarah.

Podatki se prenašajo tudi v operativni center na sedežu podjetja Vodovod – Kanalizacija Celje, kar omogoča stalen nadzor nad obratovanjem čistilne naprave tudi izven rednega delovnega časa.

7.3 Primerjava obeh čistilnih naprav

Iz prejšnjih dveh podpoglavij smo izvedeli, kako posamezna čistilna naprava deluje, v tem podpoglavju pa je prikazana primerjava biološkega čiščenja teh dveh čistilnih naprav.

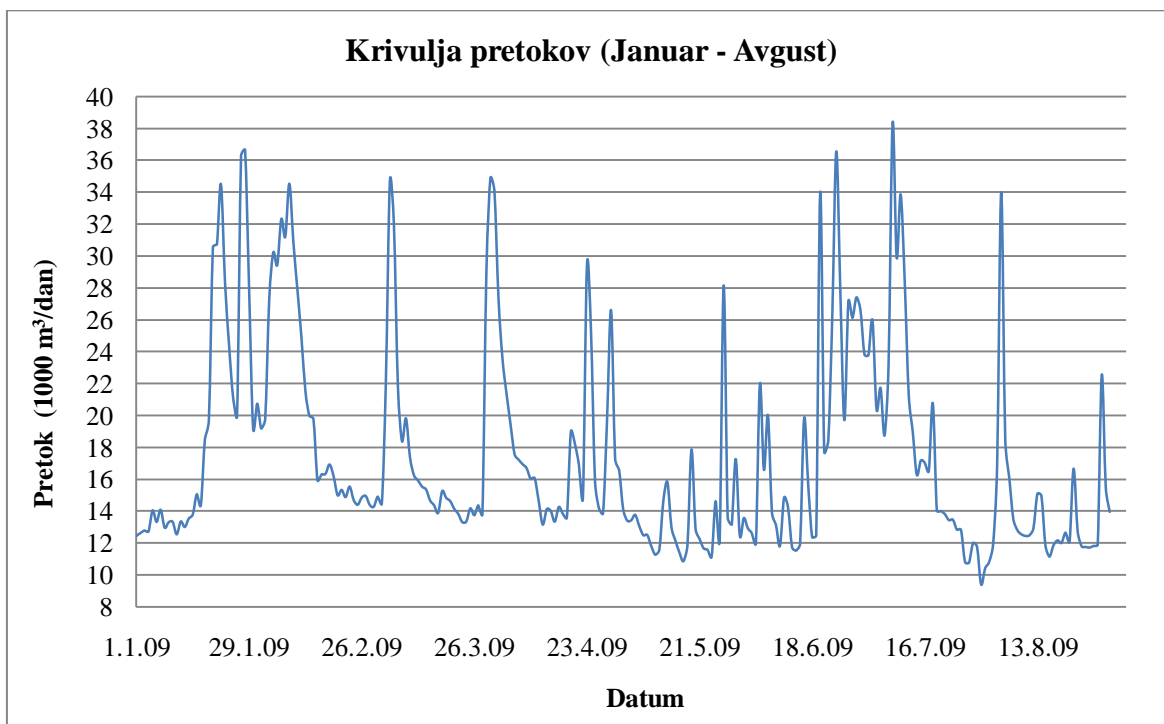
7.3.1 Hidravlične obremenitve

Osnovni karakteristični podatki hidravlične obremenitve so prikazani v naslednji tabeli.

Preglednica 5: Osnovni karakteristični podatki obeh ČN

Leto 2008	CČN Celje	CČN Šaleške doline
Dimenzionirana obremenitev (PE)	85000	50000
Sušni dotok (m ³ /h)	1480	900
Deževni dotok (m ³ /h)	2425	1400
Povprečni dnevni dotok odpadne vode (m ³ /dan)	29000	18000

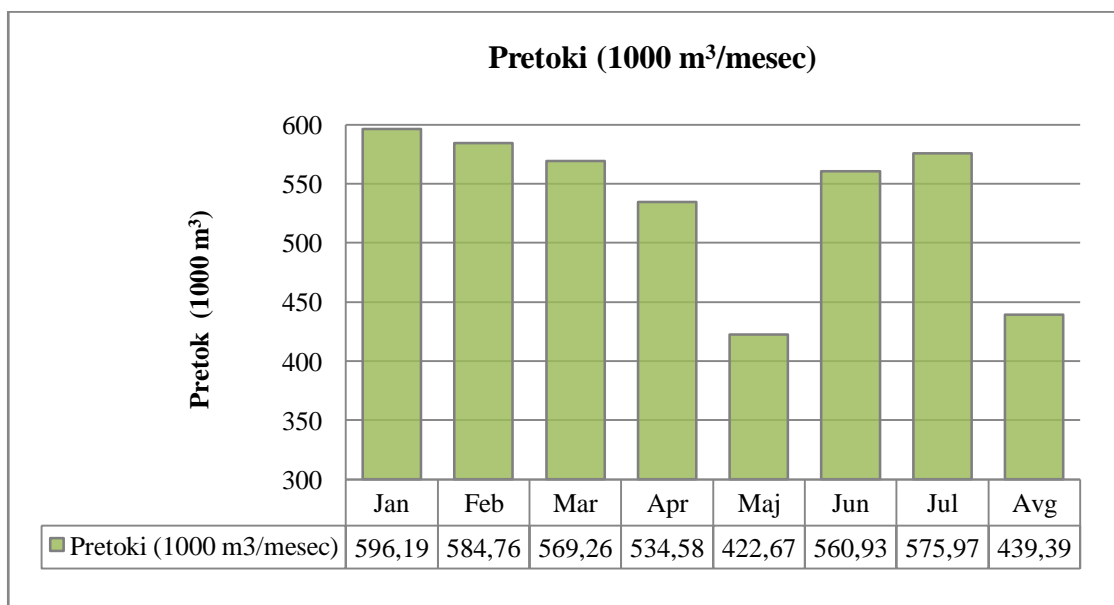
Iz preglednice lahko razberemo, da je CČN Celje dimenzionirana za večje obremenitve. Tudi dotok na ČN je pri CČN Celje večji.



Grafikon 5: Krivulja pretokov na CČN Šaleške doline (Januar – Avgust)

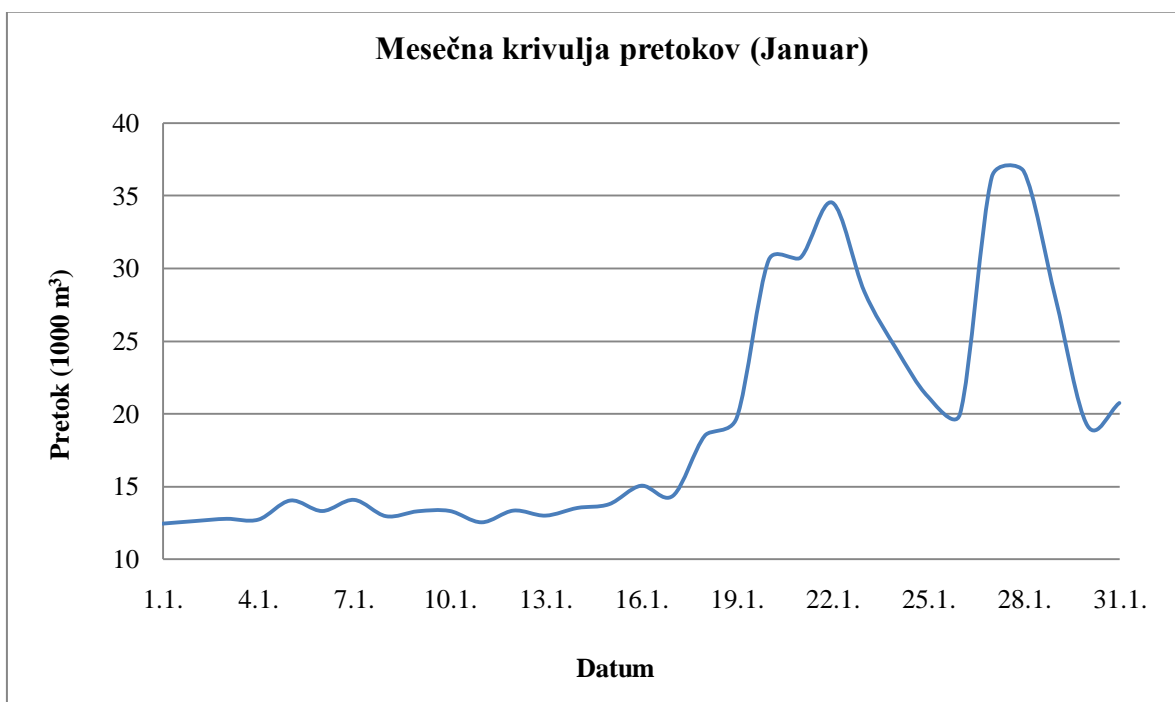
Grafikon 5 prikazuje primer krivulje pretokov za vsak dan od meseca Januarja do Avgusta v CČN Šaleške doline leta 2009. Grafikon je namenjen, da si lažje predstavljamo obliko krivulje in predstavimo o kakšnih količinah odpadne vode govorimo.

Na spodnjem grafikonu so prikazani mesečni pretoki, za lažjo predstavbo, kakšne količine odpadne vode pritečejo na ČN, v tem primeru na CČN Šaleške doline. Pretoki se gibljejo od 0,422 milijonov m³/mesec do 0,596 m³/mesec.

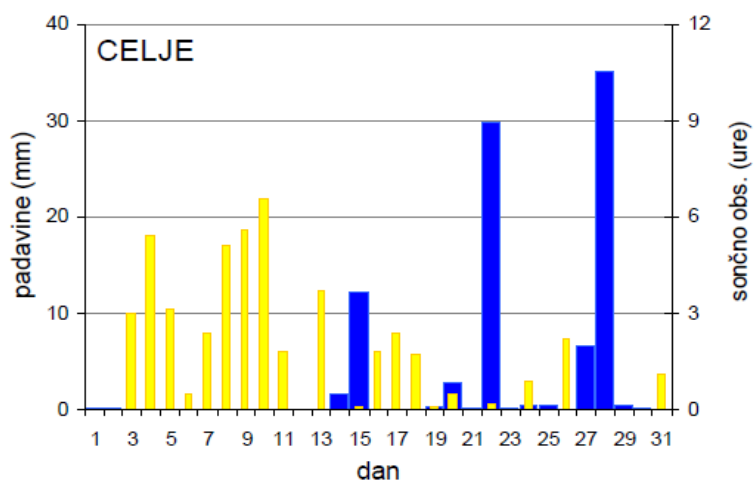


Grafikon 6: Mesečni pretoki na CČN Šaleške doline leta 2009

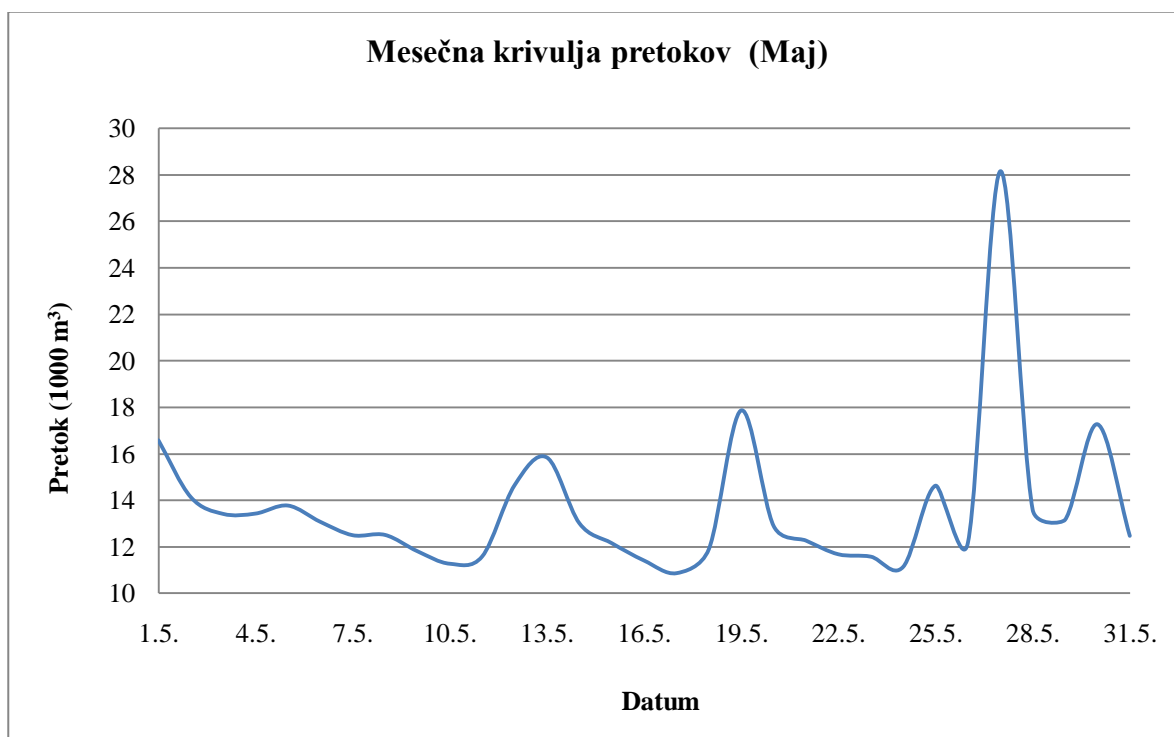
Primerjava mesečne krivulje pretokov med mesecem Januarjem, ki ima največji pretok in mesecem Majem, ki ima najmanjšega. Ker padavine vplivajo na količino pretoka oz. dotoka odpadne vode na ČN, sta prikazani še sliki grafikonov padavin za mesec Januar in Maj. Iz grafikonov padavin, lahko razberemo, da so konice pretokov v času večjih padavin.



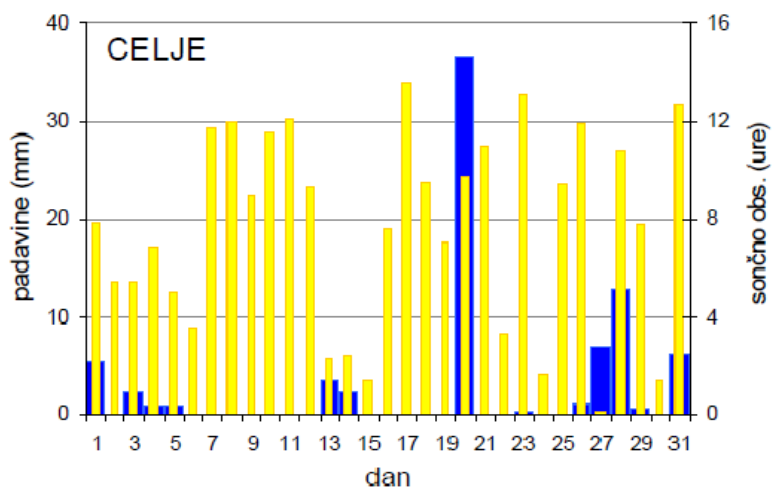
Grafikon 7: Mesečna krivulja pretokov na CČN Šaleške doline (Januar)



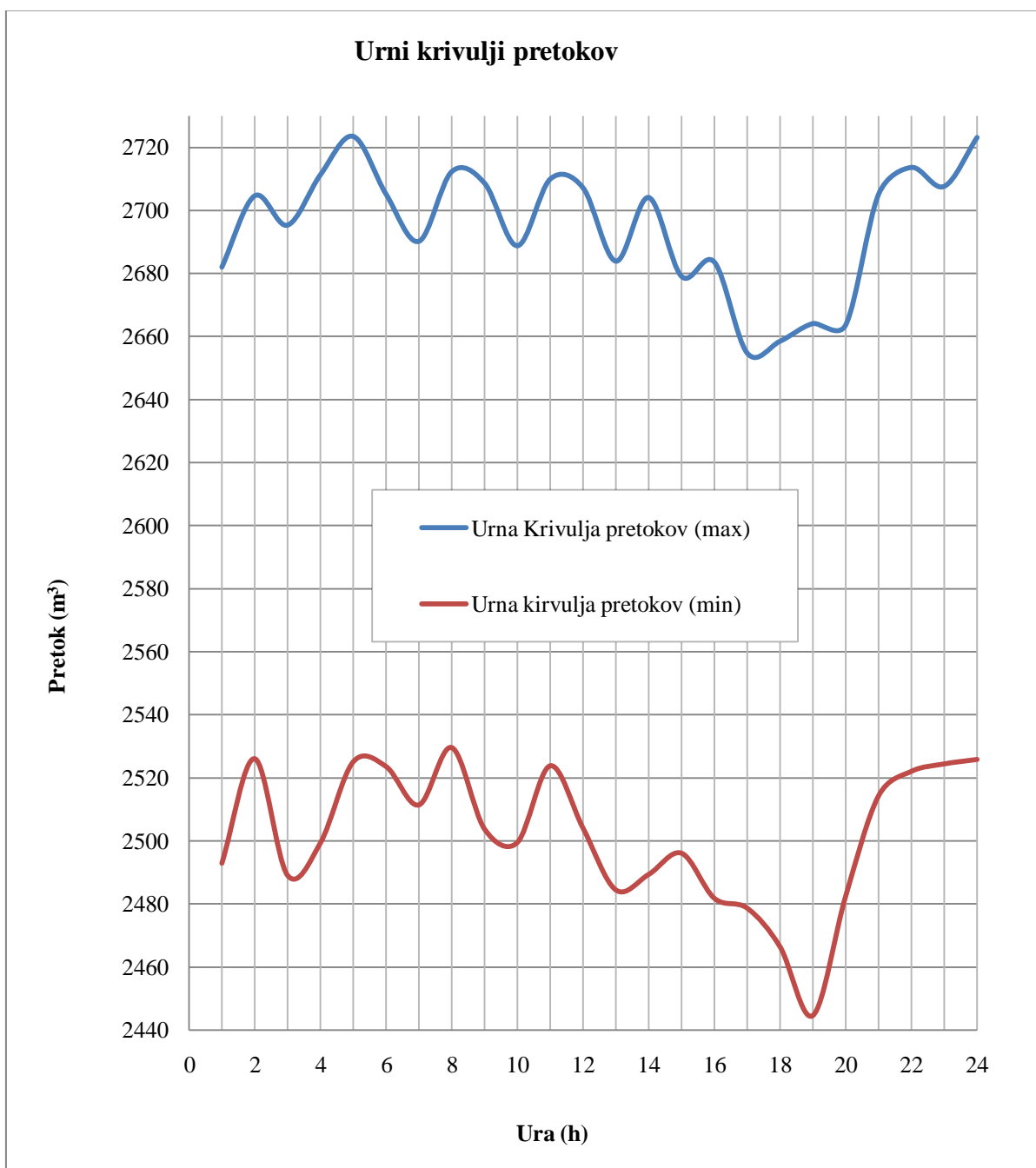
Slika 64: Graf padavin za mesec Januar (ARSO, 2009)



Grafikon 8: Mesečna krivulja pretokov na CČN Šaleške doline (Maj)



Slika 65: Graf padavin za mesec Maj (ARSO, 2009)



Grafikon 9: Urni krivulji pretokov (maksimum in minimum) na CČN Celje

Grafikon 9 prikazuje urni krivulji pretokov za naključen dan (12.12.2008) v CČN Celje. Ta dan so bili veliki pretoki glede na povprečje, zato krivulja nima tipične oblike. Modra krivulja prikazuje maksimalne, rdeča pa minimalne urne vrednosti pretokov. Krivulji imata podobno obliko.

7.3.2 Biokemijske obremenitve

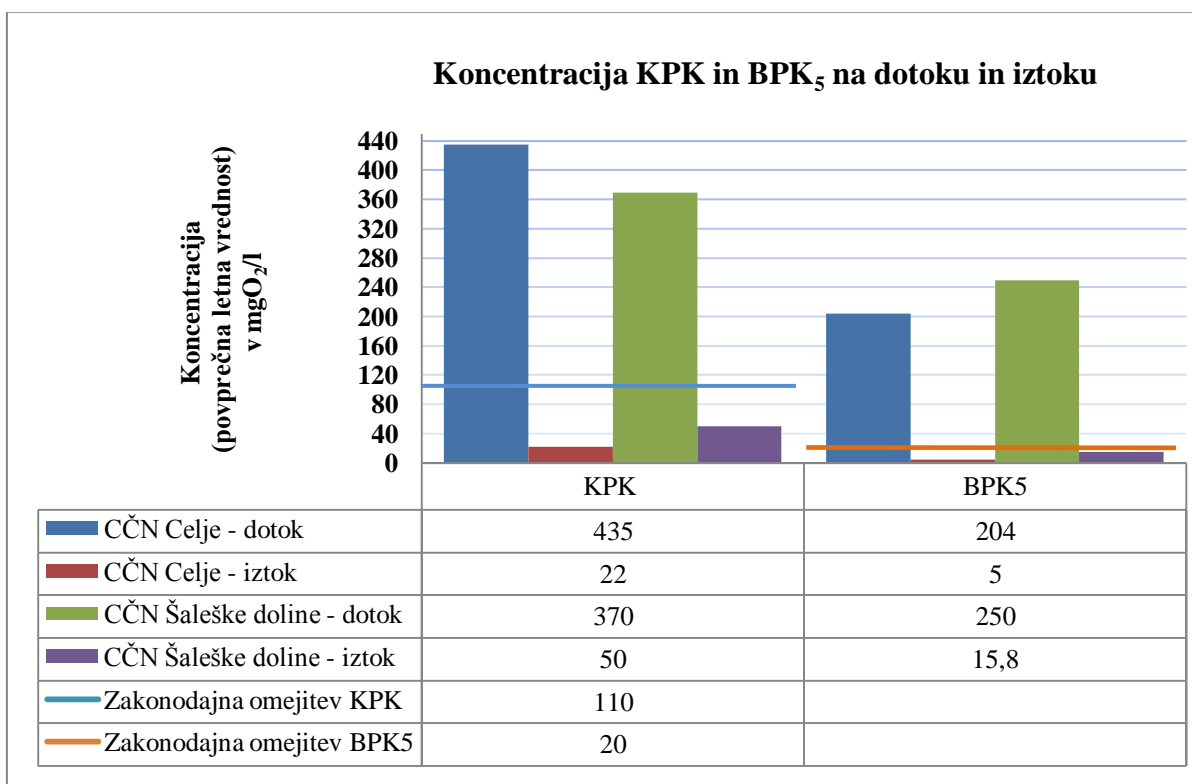
Biološko čiščenje se pri obeh ČN razlikuje že v samem sistemu čiščenja, kar smo izvedeli že v prejšnjih podpoglavjih. CČN Celje deluje po sistemu z razpršeno biomaso (aktivnega blato) in sicer po postopku podaljšane aeracije. CČN Šaleške doline pa deluje po sistemu pritrjene biomase, po postopku biofiltracije. Že na prvi pogled je opazna razlika velikosti bazenov za biološko čiščenje (nitrifikacija in denitrifikacija). Bazeni CČN Celje (17900 m³) imajo skoraj devetkrat večjo prostornino, kot bazeni CČN Šaleške doline (2026 m³).

Preglednica 6: Nekateri podatki obeh ČN za leto 2008

Leto 2008	CČN CELJE	CČN ŠALEŠKE DOLINE
Letna količina očiščene odplake (1000 m ³)	8313,50	5707,2
Povprečna obremenitev ČN v PE (KPK)	67800	40827
Povprečna obremenitev ČN v PE (BPK ₅)	65990	44432
Biokemijska obremenitev BPK5 (kg O ₂ /dan)	5110	3600
Kemijska obremenitev KPK (kg O ₂ /dan)	10200	6300
Neraztopljene snovi (kg/dan)	4500	3600
Količina proizvedenega blata (ton)	5297	3144
Povprečna suha snov (%)	25	23,60

Iz preglednice 6 vidimo, da je CČN Celje znatno bolj obremenjena, vendar je tudi dimenzionirana za večje obremenitve. Tako je tudi količina proizvedenega blata večja kot pri CČN Šaleške doline. CČN Šaleške doline, kot smo izvedeli v poglavju 7.1, izrablja blato za pridobivanje bioplina. Bioplin se porablja na dveh plinskih motorjih za proizvodnjo električne in toplotne energije, ki se nahajata v objektu dehidracije. Nastala toplota se uporablja za ogrevanje gnilišč in prostorov v upravni in pogonski stavbi preko sistema toplotnih izmenjevalcev in sistema ogrevanja. Blato, ki ga proizvedejo na CČN Celje, pa odpeljejo v Toplarno Celje, kjer se blato sežiga skupaj z lahko gorljivo frakcijo komunalnih odpadkov.

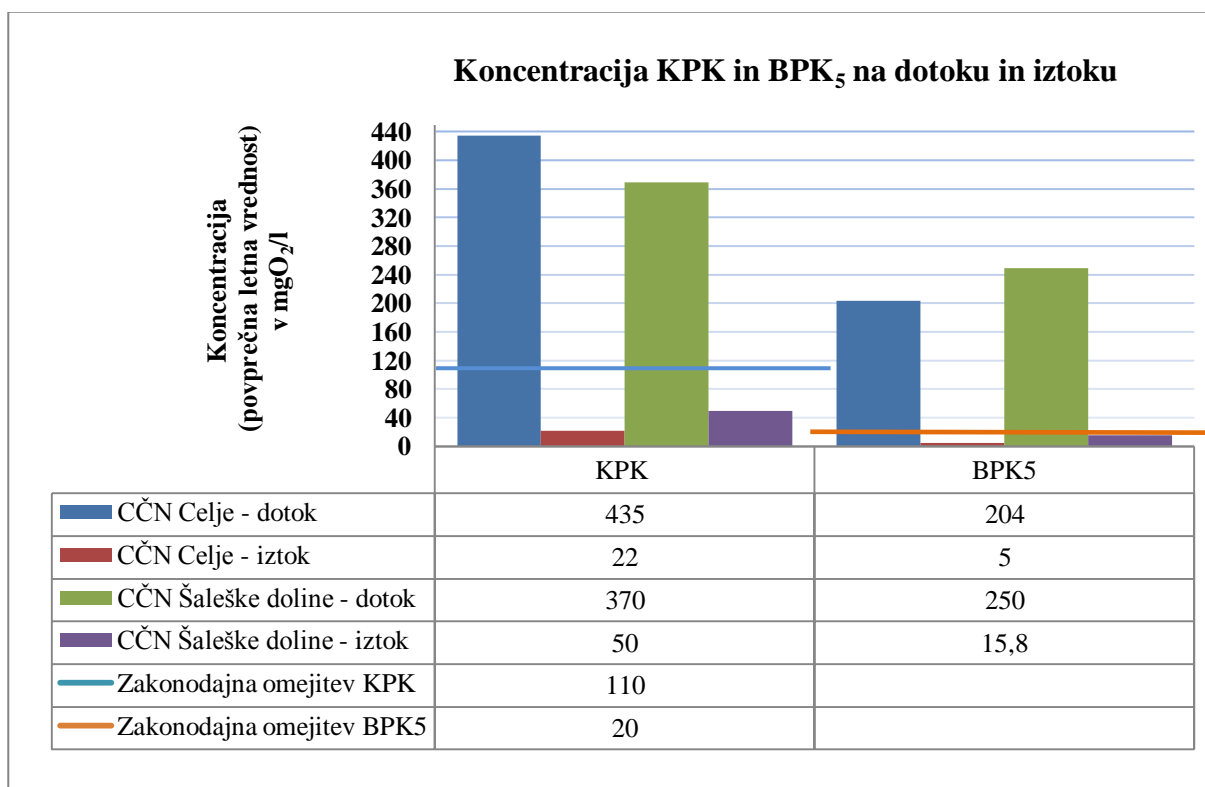
Cena očiščene odpadne vode znaša pri CČN Celje 0,646 eura/m³ z DDV, CČN Šaleške doline, pa očisti odpadno vodo za 0,6635 eura/m³, kar je 0,175 eura več.



Grafikon 10: Koncentracija KPK in BPK₅ na dotoku in iztoku leta 2007

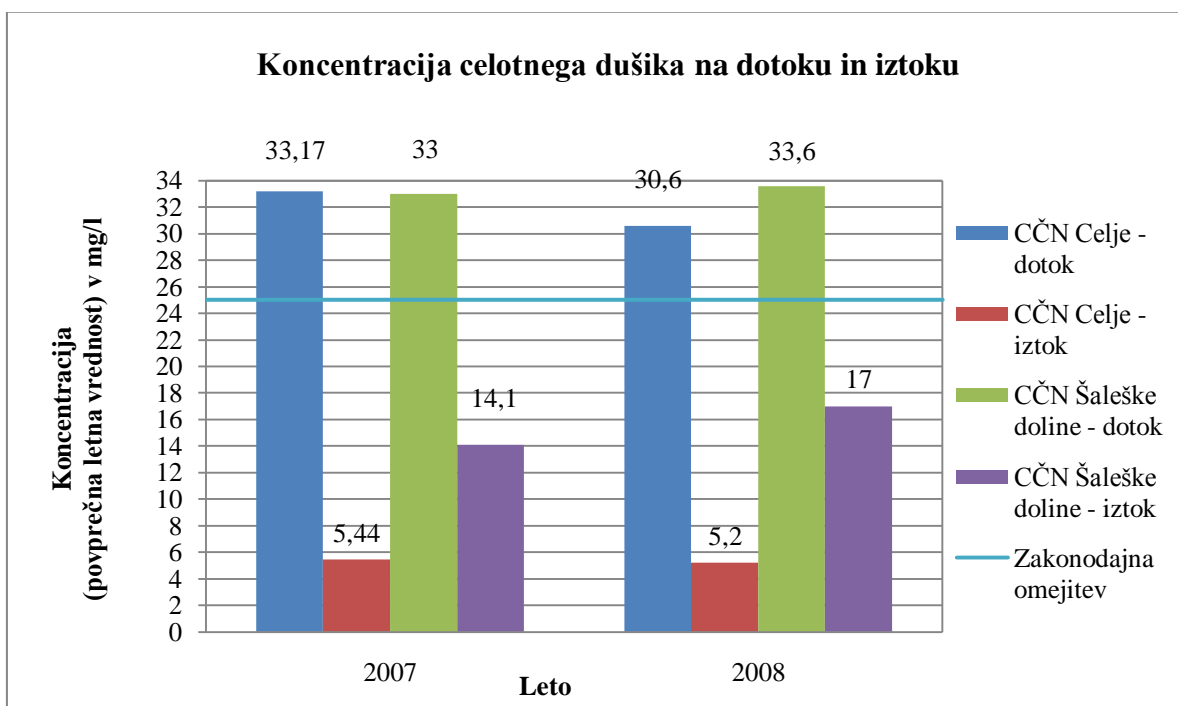
V grafikonu 10 je prikazana povprečna letna vrednost koncentracije KPK in BPK₅ na dotoku in iztoku za obe ČN za leto 2007. Obe koncentraciji iztoka sta pod zakonodajnimi omejitvami.

CČN Celje ima višjo koncentracijo KPK na dotoku in manjšo na iztoku, iz česar je razvidno, da je CČN Celje učinkovitejša. Koncentracija BPK₅ je višja pri CČN Šaleške doline, vendar je koncentracija na iztoku nižja pri CČN Celje, tako je učinek čiščenja tudi na strani CČN Celje.



Grafikon 11: Koncentracija KPK in BPK₅ na dotoku in iztoku leta 2008

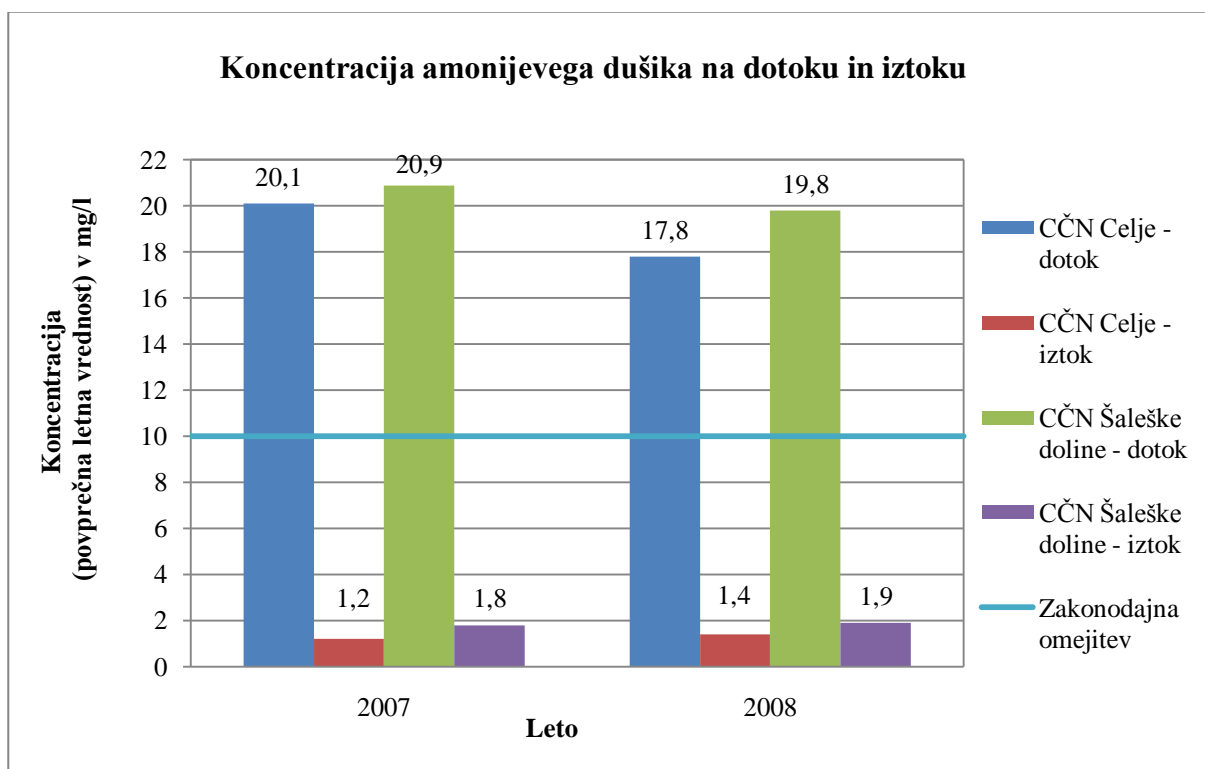
Grafikon zgoraj prikazuje vrednost koncentracije KPK in BPK₅ na dotoku in iztoku za leto 2008. CČN Celje ima višjo koncentracijo KPK na dotoku in nižjo na iztoku, kar pomeni, da je CČN Celje učinkovitejša. Koncentracija BPK₅ je nekoliko višja pri CČN Celje, vendar je koncentracija na iztoku manjša pri CČN Celje, tako je učinek čiščenja prav tako v prid CČN Celje. Obe koncentraciji iztoka sta pod zakonodajnimi omejitvami.



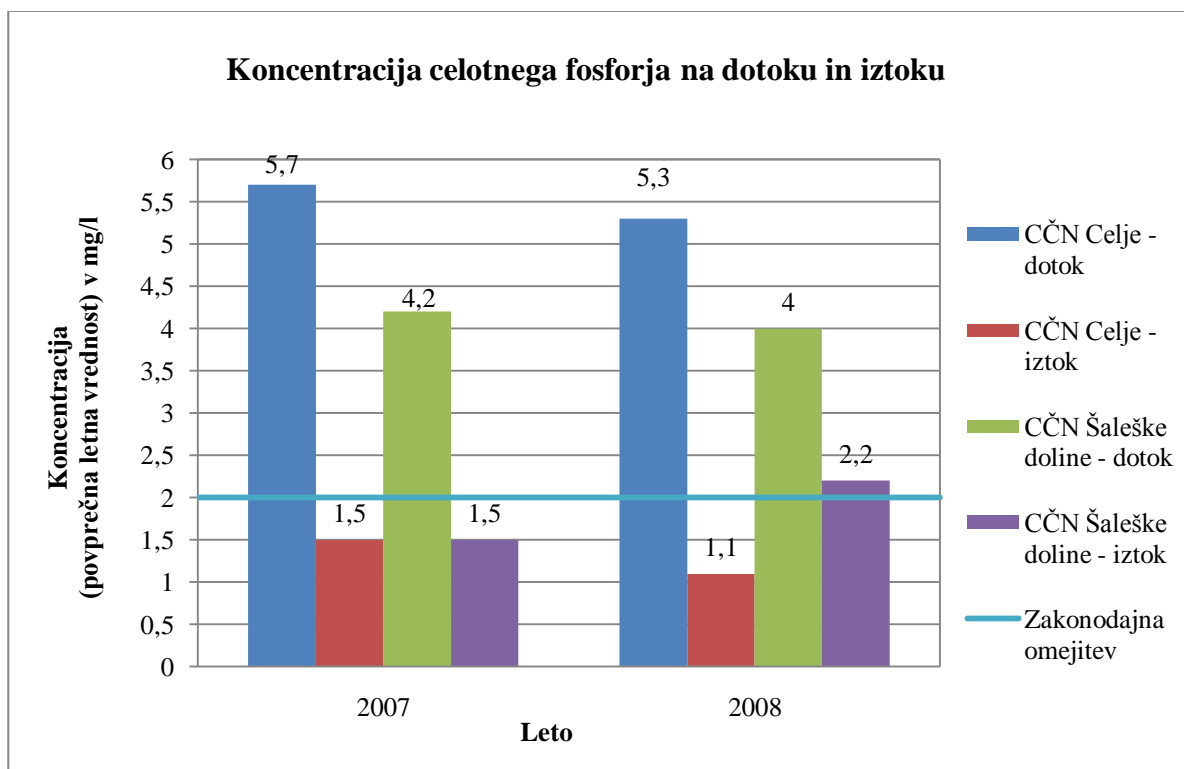
Grafikon 12: Koncentracija celotnega dušika na dotoku in iztoku

Grafikon 12 prikazuje koncentracijo celotnega dušika na dotoku in iztoku. Leta 2007 sta vrednosti dotoka na obe CCN podobni, vendar se vrednosti na iztoku razlikujejo. Višja koncentracija iztoka je pri CCN Šaleške doline, za 2,6 krat, vendar še vedno pod zakonodajno omejitvijo. V letu 2008 imamo podoben primer, s to razliko, da je koncentracija na dotoku in iztoku višja pri CCN Šaleške doline. Vrednost na iztoku pri CCN Šaleške doline je za 3,3 krat višja od vrednosti na iztoku pri CCN Celje in presega zakonodajno omejitvev za 2 mg/l. Tudi pri koncentraciji celotnega dušika je pri čiščenju učinkovitejša CCN Celje, v letu 2008 za več kot 40 %.

Grafikon 13 prikazuje koncentracijo amonijevega dušika na dotoku in iztoku. Koncentracije amonijevega dušika na dotoku in iztoku so podobne, nekoliko višja je pri CCN Šaleške doline, posebno v letu 2008. Učinek čiščenja je ponovno višji pri CCN Celje. Vrednosti iztokov so pod zakonodajno omejitvijo.

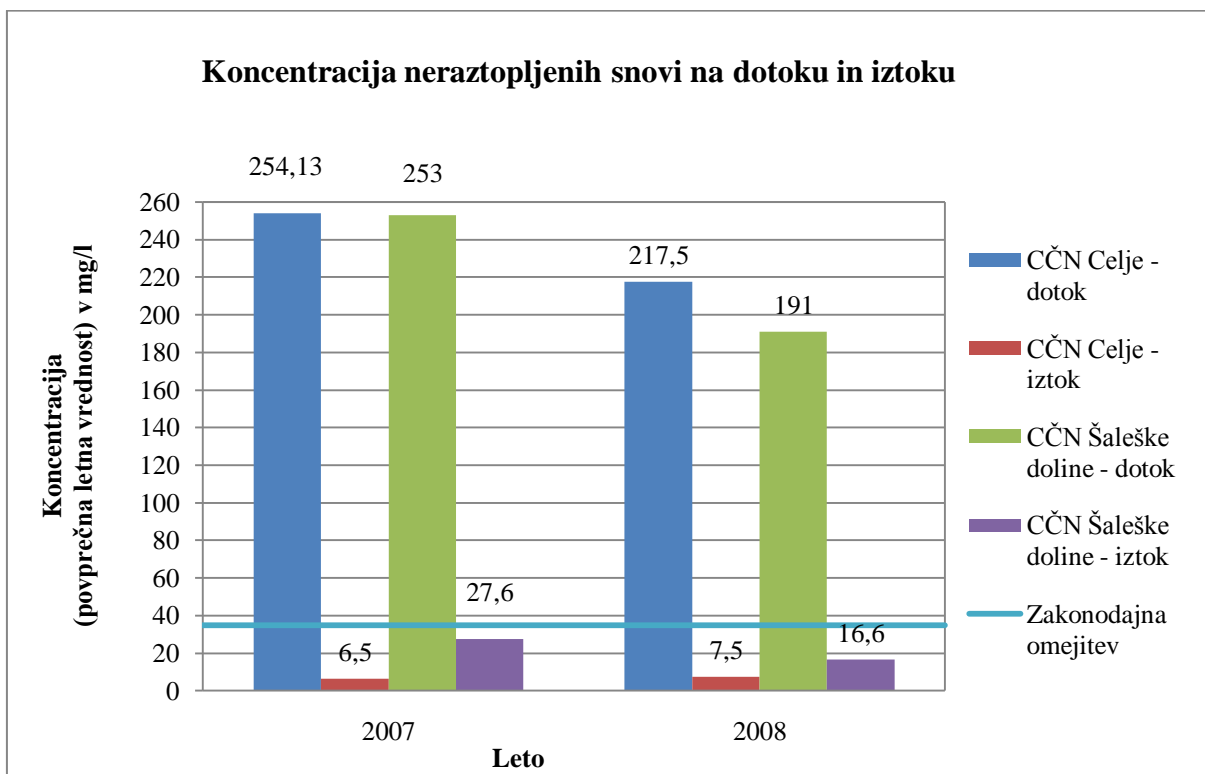


Grafikon 13: Koncentracija amonijevega dušika na dotoku in iztoku



Grafikon 14: Koncentracija celotnega fosforja na dotoku in iztoku

CČN Celje je imela v letih 2007 in 2008 nekoliko višjo koncentracijo celotnega fosforja na dotoku, kot pa CČN Šaleške doline. V letu 2007 sta vrednosti pod zakonodajnimi omejitvami, v letu 2008 pa jo CČN Šaleške doline nekoliko presega, za 0.2 mg/l.

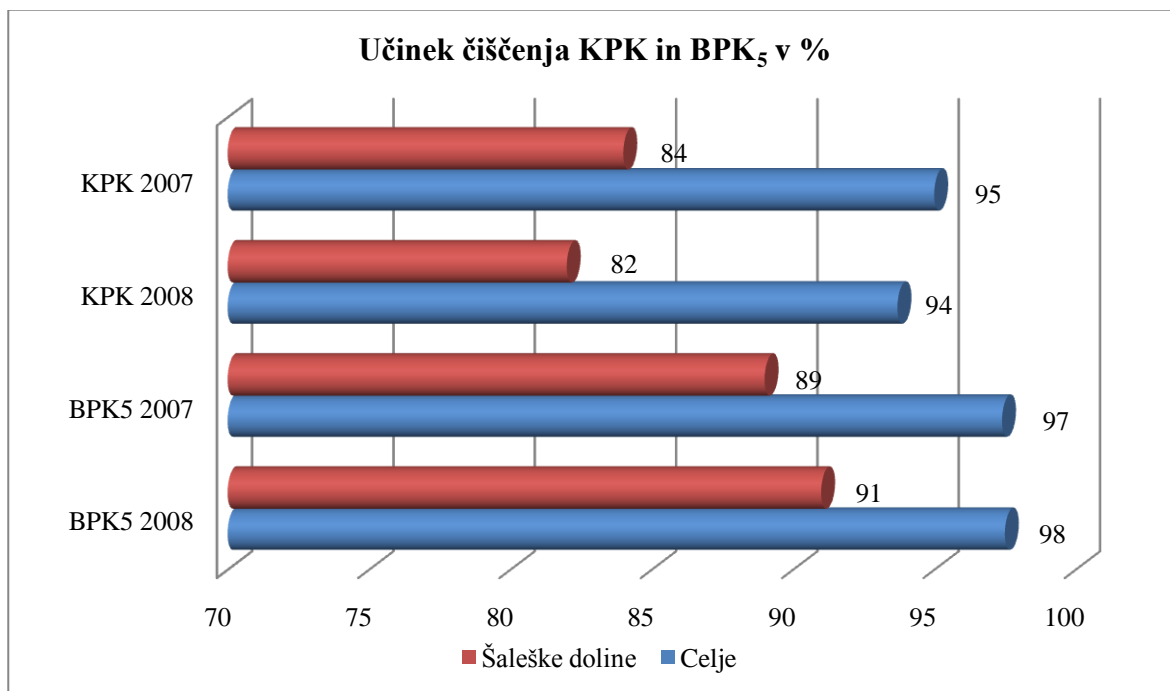


Grafikon 15: Koncentracija neraztopljenih snovi na dotoku in iztoku

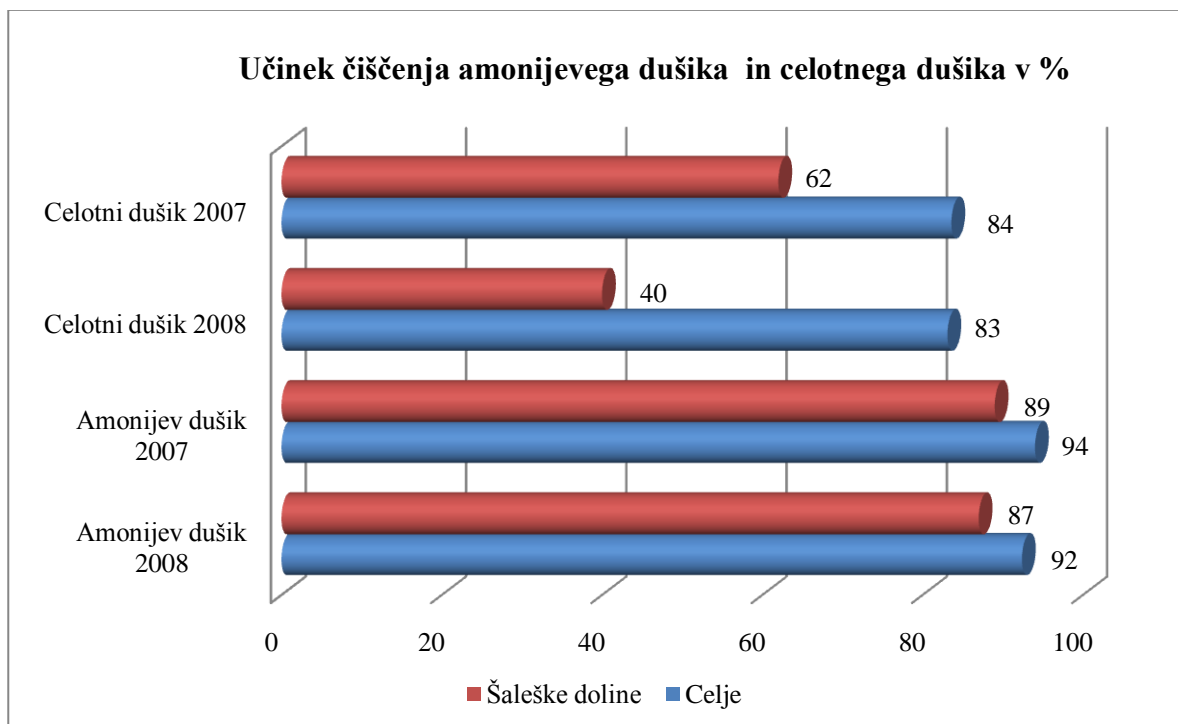
Kot se je izkazalo v prejšnjih primerih je tudi koncentracija neraztopljenih snovi na CČN Celje višja na vtoku in nižja na iztoku, kar kaže na večjo učinkovitost čiščenja tudi v tem primeru. Vrednosti na iztoku sta v obeh primerih pod zakonodajnimi omejitvami.

Kot je razvidno že iz prejšnjih grafikonov, tudi na naslednjih treh opazimo, da je CČN Celje bolj učinkovita od CČN Šaleške doline, še posebno pri čiščenju celotnega fosforja in celotnega dušika.

Na grafikonu učinkovitosti čiščenja KPK in BPK₅ vidimo, da je učinkovitost CČN Celje večja od CČN Šaleške doline za od 7 do 12 odstotkov.

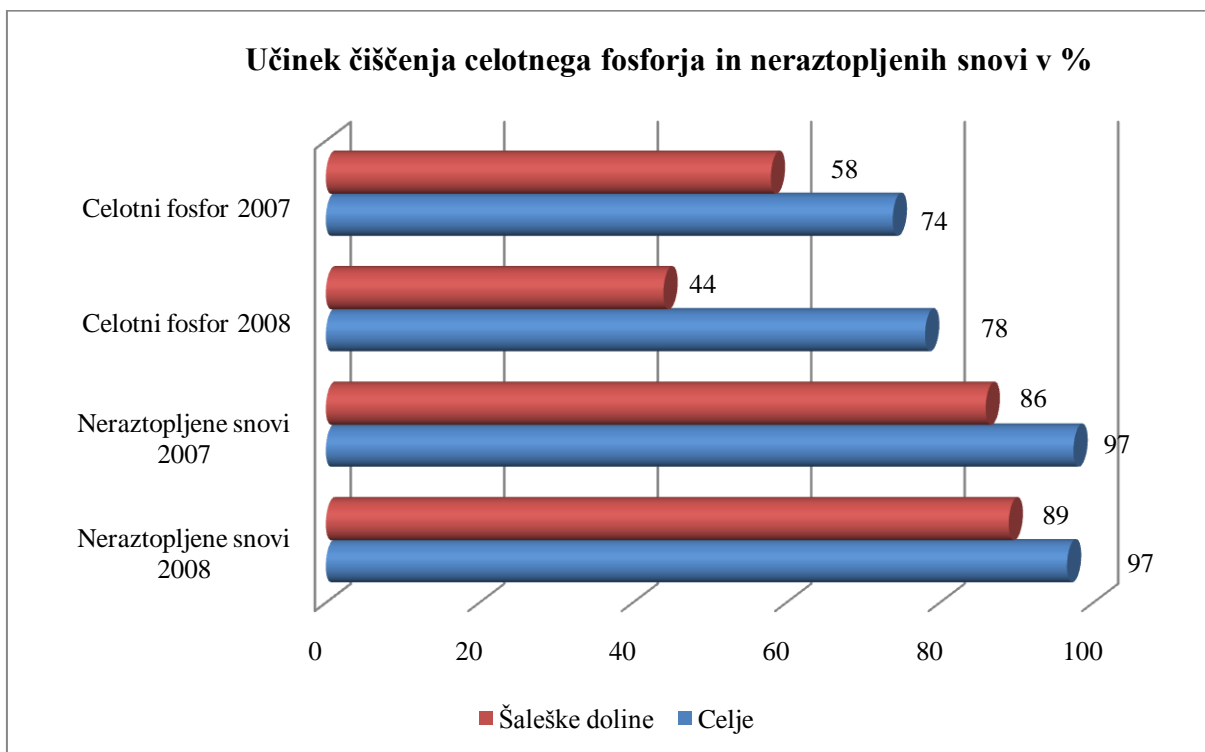


Grafikon 16: Učinkovitost čiščenja KPK in BPK₅ na obeh ČN v letu 2007 in 2008



Grafikon 17: Učinkovitost čiščenja amonijevega in celotnega dušika na obeh ČN v letu 2007 in 2008

Pri čiščenju celotnega dušika je med čistilnima napravama velika razlika, sploh v letu 2008, ko CČN Celje »premaga« CČN Šoštanj za več kot 40 %. Pri čiščenju amonijevega dušika sta učinka precej podobna, vendar še vedno »zmaguje« CČN Celje.



Grafikon 18: Učinkovitost čiščenja KPK in BPK₅ obeh ČN v letu 2007 in 2008

Podobno kot pri prejšnjih dveh grafikonih, je tudi pri čiščenju celotnega fosforja precej bolj učinkovita CČN Celje. Pri čiščenju neraztopljenih snovi pa so učinki CČN Celje malo večji.

*Voda ni nikoli tako čista,
da se ne bi mogla skaliti in
nikoli tako kalna,
da se ne bi mogla zbistriti.
(Slovenski pregovor)*

8. ZAKLJUČEK

Človek za svoj obstoj in kakovostno urbano bivanje potrebuje veliko vode, tako v gospodinjstvu, komunali, industriji, kot tudi v kmetijstvu. Voda, ki je po uporabi onesnažena z različnimi snovmi, kot so organske in mineralne snovi, se izlije v vodne tokove in morje. Voda spada med obnovljive naravne vire, vendar z netrajnostno uporabo vode lahko povzročimo spremembe v strukturi voda in s tem nezmožnost obnavljanja. To za daljše obdobje pomeni nevarnost za obstoj živih organizmov in s tem tudi človeštva v prihodnosti. Vedno večje domače potrebe, industrijsko proizvodnjanje in kmetijstvo pripomorejo k vse večji onesnaženosti voda, kar presega samočistilno sposobnost vodotokov. Zato je potrebno onesnažene vode obdelati s primernimi čistilnimi napravami.

Pri čiščenju odpadnih voda ima biofilm velik pomen. Z njegovo pomočjo ekonomično in kvalitetno odstranimo biorazgradljive snovi iz odpadne vode. Da je čiščenje z biofilmom optimalno, je potrebno veliko študij in raziskav za razumevanje njegovega formiranja in delovanja. Zavedati se moramo, da je biofilm organizirana in strukturirana združba mikroorganizmov, in ne le neka sluzasta površina na podlagi. Posebno pozornost moramo posvetiti bakterijam, ker so najštevilčnejši predstavnik biofilma. Sledijo jim praživali, alge in na koncu še mnogoceličarji. Prav tako moramo veliko pozornost usmeriti tudi v okolje, kjer biofilm nastaja. Veliko okoljskih dejavnikov, kot so substrat, hranila, raztopljen kisik, pH vrednost, temperatura in vodni tok, vpliva na njegov razvoj.

Čiščenje odpadnih voda s pomočjo biofilma zajema, tako sisteme s pritrjeno, kot tudi z razpršeno biomaso (aktivno blato). Različne študije so pokazale na prednost imobilizirane biokulture pred suspendirano, ker ni tako občutljiva na hidravlična nihanja in na preobremenitve.

Vzrok prednosti imobilizirane biomase je v večji koncentraciji avtotrofnih aktivnih mikroorganizmov, odgovornih za proces nitrifikacije, ki je najbolj občutljiva stopnja čiščenja odpadne vode. V procesu s suspendirano biomaso je koncentracija aktivnih avtotrofnih mikroorganizmov petkrat manjša.

Slabost sistemov s pritrjeno biomaso pa je razmeroma nizka učinkovitost biomase, to pa zato, ker se morajo hranilne snovi transportirati skozi biofilm, da jih mikroorganizmi lahko odstranijo. Transport snovi poteka z molekularno difuzijo, ki je počasen proces. V Sloveniji se še vedno večinoma uporabljajo konvencionalni sistemi, kot so sistemi z aktivnim blatom in precejalniki.

Vsaka čistilna naprava »proizvaja« očiščeno vodo in odvečno blato. Zaradi vse večje ekološke obremenjenosti okolja in v skladu z naraščajočimi ekološkimi zahtevami je potrebno zagotavljati vedno večjo kakovost obeh "produktov". Za očiščeno vodo ne zadošča le eliminacija organskega ogljika, temveč tudi odstranjevanje hranil, dušika in fosforja, kar lahko dosežemo z vključevanjem tretje stopnje čiščenja v postopke obdelave odpadnih voda.

Za naturalizacijo in povrnitev splošne uporabnosti vode je potrebno zagotoviti tudi bakteriološko kakovost sprejemnikov očiščenih odpadnih voda. Zaščita okolja zahteva čim večje približanje očiščene odpadne vode kakovosti naravnih vodnih sistemov. Podobno velja tudi glede stopnje obdelave in dispozicije odpadnega blata iz čistilnih naprav. Blato mora biti za okolje sprejemljivo. Ne sme povzročati smradu, ne sme vsebovati škodljivih snovi in biti mora higiensko neoporečno. Kakovost biološkega čiščenja odpadnih voda je odvisna predvsem od aktivnosti in količine mikroorganizmov in s tem od dimenzij samih čistilnih naprav, manj pa je kakovost čiščenja odvisna od specifičnih tehnologij. Te se bolj razlikujejo po obliki biokemijskih reaktorjev, kot po razlikah samih biokemijskih procesov, ki so odločilni za uspeh čiščenja.

Na količino dotoka odpadne vode na ČN vplivajo vremenske razmere in specifična poraba vode, tako so konice pretokov v času večjih padavin.

Cenovno gledano je CČN Celje cenejša, saj v primerjavi s CČN Šaleške doline očisti vodo za 0,175 eura/m³ očiščene odpadne vode ceneje.

Prav tako je CČN Celje bolj obremenjena, očisti tudi večjo količino odpadne vode in proizvede večjo količino biološkega blata. Povprečna suha snov tega blata je 25 %, medtem ko ima blato CČN Šaleške doline povprečno le 23,60 % suhe snovi.

Skoraj devetkrat večja prostornina bazenov za biološko čiščenje CČN Celje, učinkoviteje čisti odpadno vodo. Koncentracije amonijevega in celotnega dušika na dotoku so pri obeh ČN podobne, vendar so na iztoku vrednosti nižje pri CČN Celje, kar kaže na učinkovitejše odstranjevanje dušika iz odpadne vode. Podobna zgodba se odvija tudi pri odstranjevanju celotnega fosforja, KPK in BPK₅. Zaključimo lahko z ugotovitvijo, da je v pogledu učinka čiščenja, CČN Celje v primerjavi s CČN Šaleške doline, po podatkih bolj učinkovita. Vendar večinoma obe ČN dosežeta željene rezultate, ki so pod zakonskimi omejitvami.

VIRI

Anžič, B., Kapun, G. "Biofilm – difuzijski model",

<http://www.kemik.org/dokumenti/st2/Biofilm.pdf> (1.8.2008)

Burica, O. 2003. Optimizacija bioprocesa čiščenja odpadne vode z imobilizirano biokulturo.

Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo, Doktorska disertacija: 140 str.

Čepelnik, P. 2009. Biofilm pri čiščenju odpadnih voda, seminar. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 43 str.

Devetak, D., Podobnik, A. 1997. Biologija. 4 in 5, Raznolikost živih bitij. Ljubljana, DZS: 256 str.

Drugovič, U., Kramer, R. 2004. Čistilna naprava Celje – gradnja, zagon in poskusno obratovanje. V: Roš, M. Strokovni seminar Vodni dnevi 2004, Zbornik referatov, Velenje. Ljubljana, Slovensko društvo za zaščito voda: str. 35-44.

Drugovič, U., Kramer, R. 2007. Naravi vračamao čisto vodo – ČN Celje. V: Roš, M. Strokovni seminar Vodni dnevi 2007, Zbornik referatov, Portorož. Ljubljana, Slovensko društvo za zaščito voda: str. 41-53.

Henze, M. 1995. Wastewater treatment : biological and chemical processes. Berlin, Springer-Verlag: 383 str.

Jass, J., Lappin-Scott, H. M., Roberts, S. K. 2002. Microbes and Enzymes in Biofilm. V: Burns, R. G. (ur.). Enzymes in the environment : activity, ecology, and applications. New York, Basel: ch. 12.

Mara, D., Horan, N. 2003. Handbook of water and wastewater microbiology. Amsterdam, Academic Press: 819 str.

Panjan, J. 2001a. Čiščenje odpadnih voda : študijsko gradivo. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za zdravstveno hidrotehniko: 171 f.

Panjan, J. 2001b. Osnove čiščenja voda - sedimentacija , koagulacija, absorbcija : študijsko gradivo. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za zdravstveno hidrotehniko: 60 f.

Panjan, J. 2004a. Osnove zaščite voda: študijsko gradivo. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za zdravstveno hidrotehniko: 93 f.

Panjan, J. 2004b. Količinske in kakovostne lastnosti voda: študijsko gradivo. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za zdravstveno hidrotehniko: 92 str.

Pipuš, G., 2007. Predstavitev tehnologije biofiltracije. V: Roš, M. Strokovni seminar Vodni dnevi 2007, Zbornik referatov, Portorož. Ljubljana, Slovensko društvo za zaščito voda: str. 54-63.

Roš, M. 2001. Biološko čiščenje odpadne vode: monografska publikacija. Ljubljana, GV založba: 243 str.

Roš, M. 2004. Čiščenje komunalnih odpadnih vod v Sloveniji. V: Roš, M. Strokovni seminar Vodni dnevi 2004, Zbornik referatov, Velenje. Ljubljana, Slovensko društvo za zaščito voda: str. 1-5.

Roš, M. 2005. Sistemi čiščenja s problematiko odpadnega blata. V: Roš, M. Strokovni seminar Vodni dnevi 2005, Zbornik referatov, Portorož. Ljubljana, Slovensko društvo za zaščito voda: str.18-26.

Stopar, D. 2007. Rast mikroorganizmov na površini: biofilmi. Ljubljana, Biotehniška fakulteta.

<http://web.bf.uni-lj.si/zt/mikro//homepage/biofilmiNS.pdf> (1.8.2008)

Šterbenk, E., Jedovnicki, M., Pražnikar, Š., Naveršnik, B., Metelko-Skutnik, V., Rošer Drev, A. 2007. Udejanjanje načel trajnostnega razvoja v malih, antropogeno preobremenjenih porečjih - Centralna čistilna naprava Šaleške doline, osrednji cilj sanacijskega programa Paka.

http://www.ff.uni-lj.si/oddelki/geo/publikacije/dela/files/Dela_28/22_sterbenk.pdf

(9.10.2009).

Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz komunalnih čistilnih naprav (Uradni list RS, št.:35/96, 90/98, 31/01, 62/01, 41/04-ZVO-1, 45/07: 2451).

Uredba o emisiji snovi pri odvajanju padavinske vode z javnih cest (Uradni list RS, št.: 47/2005: 1901).

Vunderl, T., Štramcar, A. 2008. Rekonstrukcija in izgradnja biološke stopnje čiščenja na Centralni čistilni napravi Šaleške doline po postopku biofiltracije s fiksirano biomaso. V: Čiščenje odpadnih voda 2008 : strokovno posvetovanje, Ljubljana: zbornik predavanj

Ljubljana : Zavod za tehnično izobraževanje: f. 153-166

CCN Celje – prospekti, internet, osebni in pisni kontakt

CCN Šaleške doline – prospekti, internet, osebni in pisni kontakt

Agencija republike Slovenije za okolje – Čistilne naprave.

<http://www.arso.gov.si> (12.5.2009)

Anoxkaldnes - Advanced wastewater treatment.

<http://www.anoxkaldnes.com> (21.11.2008)

Biological wastewater treatment processes.

<http://www.civilengineeringnetbase.com.nukweb.nuk.uni-lj.si> (24.9.2008)

Ekologija – biofilm.

<http://www.kemik.org/dokumenti/st2/Biofilm.pdf> (15.11.2008)

Ekorg – Stanje voda.

<http://www.ekorg.si> (20.9.2009)

Istrabenz plini – Čistilne naprave.

<http://www.istrabenzplini.si> (1.8.2008)

Komunalno podjetje Celje – Centralna čistilna naprava Celje.

<http://www.vo-ka-celje.si> (17.5.2009)

Komunalno podjetje Velenje – Centralna čistilna naprava Šaleške dolilne.

<http://www.kp-velenje.si> (17.5.2009)

Primerjava in vrednotenje tehnologij čiščenja odpadnih vod.

http://www.kostak.si/dokumenti/mcn/primerjava_razlicnih_BCN.pdf (9.12.2008)

Rast mikroorganizmov na površini: biofilmi.

<http://web.bf.uni-lj.si/zt/mikro//homepage/biofilmiNS.pdf> (15.11.2008)

Wastewater treatment.

<http://www.environetbase.com.nukweb.nuk.uni-lj.si> (24.9.2008)

UDK:	628.353(043.2)
Avtor:	Petra Čepelnik
Mentor:	izr. prof. dr. Jože Panjan
Naslov:	Primerjava biofiltracijskega reaktorja in čistilne naprave s podaljšano aeracijo
Obseg in oprema:	102 str., 6 pregl., 18 gr., 65 sl., 22 en.,
Ključne besede:	mikroorganizmi, odpadna voda, biološko čiščenje, biofilm, aktivno blato, podaljšana aeracija, biofiltracija, CČN Celje, CČN Šaleške doline

Izvleček

V uravnoteženem ekosistemu je samočistilnost voda zagotovljena. Z razvojem človeka in njegovih dejavnosti pa to ni dovolj, saj so emisije bistveno večje. Trajnostno ravnanje z vodami je tako neizbežno, zato je potrebno onesnažene vode obdelati s primernimi čistilnimi napravami. Zahtevana kvaliteta voda je podana z zakonsko določenimi vrednostmi posameznih parametrov snovi. Kakovost sprejemnikov očiščenih voda je odvisna od vrste čistilne naprave ter njenega učinkovitega upravljanja. Čistilna naprava služi popolnemu ali delnemu očiščenju odpadne vode do te mere, da zmešana z vodo površinskega vodotoka zagotavlja normalni razvoj vodne flore in favne.

Praktično so vsi uveljavljeni tehnološki postopki biološkega čiščenja učinkoviti, če so uporabljeni pravilno. To pomeni, da jih je potrebno primerno uporabiti za čiščenje konkretne odpadne vode, da je naprava pravilno dimenzionirana in da je uporabljena primerna oprema, ki mora biti funkcionalna in redno vzdrževana. Po vsakem od splošno uveljavljenih postopkov je možno očistiti odpadno vodo.

Namen diplomske naloge je prikazati velik pomen, delovanje biofilma in čistilnih naprav za naše okolje. Pomemben del naloge je primerjava dveh različnih tipov čistilne naprave in sicer Centralne čistilne naprave Celje, ki deluje na principu podaljšane aeracije in Centralne čistilne naprave Šaleške doline, ki deluje na principu biofiltracije.

UDC: 628.353(043.2)
Autor: Petra Čepelnik
Supervisor: assoc. prof. dr. Jože Panjan
Title: Comparison between biofiltration reactor and wastewater treatment plant with extended aeration
Notes: 102 p., 6 tab., 18 gr., 65 fig., 22 eq.
Key Words: microorganisms, wastewater, biological treatment, biofilm, active sludge, extended aeration, biofiltration, wastewater treatment plant

Abstract:

A balanced ecosystem provides an environment for water to clean itself. However, with the human evolution and development of its activities such environment is no longer possible as the emissions are substantially larger. Sustainable water management is therefore imminent and this is why polluted water needs to be handled in an appropriate wastewater treatment plant. The required quality of water is defined with statutory values of individual substance parameters. The quality of treated water depends on the type of wastewater treatment plant and efficiency of its management. In wastewater treatment plant wastewater can be fully or only partially purified and then mixed with surface watercourses, which ensures a normal evolution of fresh water flora and fauna.

If used properly practically all established technologies of biological treatment are effective. Therefore they have to be used appropriately for purification of specific wastewater to ensure proper design of a wastewater treatment plant and use of the appropriate equipment that has to be operational and regularly maintained. Each of the well established technology enables purification of wastewater.

This undergraduate dissertation focuses on the operation of biofilm and wastewater treatment plants and their significant importance for the environment. The main part of this dissertation is comparison of two different types of wastewater treatment plant. First one, central wastewater treatment plant located in Celje uses the process of extended aeration, and the second one, central wastewater treatment plant located in the Šaleška Valley uses the process of biofiltration.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
2 OSNOVE ČIŠČENJA ODPADNIH VODA	3
3 BIOFILM	7
3.1 Morfologija biofilma.....	7
3.2 Razvoj biofilma.....	8
3.3 Zgradba biofilma.....	12
3.3.1 Bakterije.....	13
3.3.2 Glive	13
3.3.3 Praživali	14
3.3.4 Alge in Cianobakterije.....	15
3.3.5 Mnogoceličarji	15
3.4 Princip delovanja biofilma.....	15
3.5 Vpliv okolja na ekologijo biofilma	17
3.5.1 Substrat in hranila	17
3.5.2 Raztopljeni kisik	17
3.5.3 pH vrednost.....	18
3.5.4 Temperatura	18
3.5.5 Vodni tok in strižne sile.....	18
3.6 Maska bilanca in kinetika biofilma	19
3.6.1 Maska bilanca	19
3.6.2 Kinetika biofilma	22
4 PROCESI, KI SE ODVIJAJO PRI ČIŠČENJU ODPADNIH VODA	28
4.1 Fizikalni procesi.....	29
4.2 Kemijski procesi	30
4.3 Biološki procesi	31
4.4 Glavni parametri odpadnih vod	31
4.4.1 Suspendirane snovi.....	31

4.4.2	Kemijska in biokemijska potreba po kisiku.....	31
4.4.3	Ogljik.....	32
4.4.4	Dušikove in fosforjeve spojine	33
5	POSTOPKI ČIŠČENJA ODPADNIH VODA	37
5.1	S pritrjeno biomaso	37
5.1.1	Precejalniki	37
5.1.2	Biofiltri	38
5.1.3	Rotirajoči biološki kontaktorji ali biodiski	39
5.2	Z razpršeno biomaso – poživljeno ali aktivno blato	40
5.3	Kombinacija pritrjene in razpršene biomase	43
5.3.1	Sistem s pritrjeno biomaso na gibljivih nosilcih - MBBR.....	43
6	ČIŠČENJE KOMUNALNIH ODPADNIH VOD V SLOVENIJI.....	47
7	PRIMERJAVA POSTOPKA BIOFILTRACIJE (CČN ŠALEŠKE DOLINE) IN PODALJŠANE AERACIJE (CČN CELJE) PRI ČIŠČENJU ODPADNIH VODA	56
7.1	Centralna Čistilna Naprava Šaleške Doline.....	56
7.2	Centralna Čistilna Naprava Celje.....	71
7.3	Primerjava obeh čistilnih naprav.....	83
7.3.1	Hidravlične obremenitve	83
7.3.2	Biokemijske obremenitve	88
8	ZAKLJUČEK.....	96
VIRI		99

PRILOGE

Priloga A: Shema Centralne čistilne naprave Celje

Priloga B: Shema Centralne čistilne naprave Šaleške doline

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Pregled postopkov čiščenja odpadne vode na čistilnih napravah (Panjan, 2001)	4
Preglednica 2: Mejne vrednosti za koncentracijo neraztopljenih snovi, amonijevega in celotnega dušika, celotnega fosforja, KPK ter BPK ₅ (http://www.arso.gov.si)	49
Preglednica 3: Mejne vrednosti za koncentracijo amonijevega dušika ter za koncentracijo in učinek čiščenja celotnega dušika in celotnega fosforja (http://www.arso.gov.si)	49
Preglednica 4: Število ČN pri posamezni stopnji čiščenja po letih	50
Preglednica 5: Osnovni karakteristični podatki obeh ČN	83
Preglednica 6: Nekateri podatki obeh ČN za leto 2008	88

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Število ČN pri posamezni stopnji čiščenja po letih	51
Grafikon 2: Količina očiščene odpadne vode po posameznih stopnjah čiščenja po letih	52
Grafikon 3: Skupna velikost ČN po posameznih stopnjah čiščenja po letih	53
Grafikon 4: Velikost čistilnih naprav po letih.....	54
Grafikon 5: Krivulja pretokov na CČN Šaleške doline (Januar – Avgust)	83
Grafikon 6: Mesečni pretoki na CČN Šaleške doline leta 2009	84
Grafikon 7: Mesečna krivulja pretokov na CČN Šaleške doline (Januar).....	85
Grafikon 8: Mesečna krivulja pretokov na CČN Šaleške doline (Maj)	86
Grafikon 9: Urni krivulji pretokov (maksimum in minimum) na CČN Celje	87
Grafikon 10: Koncentracija KPK in BPK ₅ na dotoku in iztoku leta 2007.....	89
Grafikon 11: Koncentracija KPK in BPK ₅ na dotoku in iztoku leta 2008.....	90
Grafikon 12: Koncentracija celotnega dušika na dotoku in iztoku	91
Grafikon 13: Koncentracija amonijevega dušika na dotoku in iztoku	92
Grafikon 14: Koncentracija celotnega fosforja na dotoku in iztoku	92
Grafikon 15: Koncentracija neraztopljenih snovi na dotoku in iztoku.....	93
Grafikon 16: Učinkovitost čiščenja KPK in BPK ₅ na obeh ČN v letu 2007 in 2008	94
Grafikon 17: Učinkovitost čiščenja amonijevega in celotnega dušika na obeh ČN v letu 2007 in 2008.....	94
Grafikon 18: Učinkovitost čiščenja KPK in BPK ₅ obeh ČN v letu 2007 in 2008	95

KAZALO SLIK

Slika 1: Odpadna voda CČN Celje.....	3
Slika 2: Shematični prikaz samočiščenja v naravi in umetnega biološkega čiščenja (Panjan, 2004).	6
Slika 3: Shematični prikaz strukture biofilma (Melo, 2003)	7
Slika 4: Struktura biofilma z raznoliko površino (http://web.bf.uni-lj.si/zt/mikro//homepage/biofilmiNS.pdf).	8
Slika 5: Shema razvoja biofilma (http://web.bf.uni-lj.si/zt/mikro//homepage/biofilmiNS.pdf).	9
Slika 6: Prikaz nastanka biofilma gledano pod mikroskopom (1000 kratna povečava)	10
Slika 7: Graf količine določenih mikroorganizmov v odvisnosti od časa (http://www.kemik.org/dokumenti/st2/Biofilm.pdf).	11
Slika 8: Shematski prikaz transporta substrata in produkta skozi biofilm (http://www.kemik.org/dokumenti/st2/Biofilm.pdf).	12
Slika 9: Shematski prikaz izmenjave snovi v biofilmu (http://www.kemik.org/dokumenti/st2/Biofilm.pdf).	16
Slika 10: Vpliv hidrodinamskih sil na obliko biofilma	18
Slika 11: Shematični prikaz različnih oblik biofilma pri tvorbi v različnih tokovnih pogojih (Jass in sod., 2002).	19
Slika 12: Shema pogojev in okolja (bio)kemijskih procesov oziroma reakcij	20
Slika 13: Primer homogeniziranega reaktorja	22
Slika 14: Primer nehomogeniziranega reaktorja	22
Slika 15: Shematski prikaz biofilmskih plasti (Henze, 1995).	23
Slika 16: Precejalnik (Roš, 2001).	38
Slika 17: Shema biofilma pritrjenega na nosilni material v biofiltrih (Roš, 2001).	39
Slika 18: Skica biodiska (http://www.kostak.si/dokumenti/mcn/primerjava_razlicnih_BCN.pdf).	39
Slika 19: Podvodni detajl v biološkem reaktorju (http://www.istrabenzplini.si)	44
Slika 20: Različni polietilenski nosilci (http://www.anoxkaldnes.com).	45
Slika 21: Biofilm priraščen na nosilec (http://www.anoxkaldnes.com)	45

Slika 22: Diagrami osnovnih konfiguracij uporabe sistema s pritrjeno biomaso na gibljivih nosilcih (http://www.istrabenzplini.si).....	46
Slika 23: Stopnje obdelave odpadnih voda v Sloveniji (ARSO, 2007).....	50
Slika 24: Prikaz komunalnih čistilnih naprav v Sloveniji v letu 2003 (http://www.arso.gov.si/)	51
Slika 25: Prikaz komunalnih čistilnih naprav v Sloveniji v letu 2007 (http://www.arso.gov.si/)	52
Slika 26: Mejne vrednosti parametrov za padavinsko odpadno vodo.....	55
Slika 27: Slika iz zraka CČN Šaleške doline pred izgradnjo II. faze (Šterbenk, 1997).....	56
Slika 28: Slika iz zraka CČN Šaleške doline po izgradnji II. faze (Naveršnik, 2007).....	57
Slika 29: Linija mehanskega čiščenja (Naveršnik, 2006).....	58
Slika 30: Biološko čiščenje - biofiltri (Naveršnik, 2006).....	59
Slika 31: Nosilni material – glineni delci v biofiltrih (Pipuš, 2007).....	59
Slika 32: Shema delovanja biofiltracije na CČN Šaleške doline. (Pipuš, 2007).....	61
Slika 33: Črpališče CČN Šaleške doline (Pipuš, 2007).....	62
Slika 34: Shema delovanja DN biofiltrov.....	64
Slika 35: Shema delovanja N biofiltrov.....	64
Slika 36: Predzgoščevalnik blata (Naveršnik, 2006).....	69
Slika 37: Gnilišči blata (Pipuš, 2007).....	69
Slika 38: Zgoščevalnik blata (Naveršnik, 2006).....	70
Slika 39: Centrifuga (Naveršnik, 2006).....	70
Slika 40: Izraba gniliščnega plina (Naveršnik, 2006).....	71
Slika 41: Dehidrirano blato (Naveršnik, 2006).....	71
Slika 42: Očiščena voda (Naveršnik, 2006).....	71
Slika 43: CČN Celje (http://www.ekorg.si).....	72
Slika 44: Upravna stavba CČN Celje.....	72
Slika 45: Dotok odpadne vode iz kanalizacije v CČN Celje.....	73
Slika 46: Grablje v mehanskem delu čiščenja.....	74
Slika 47: Odpadki grabelj v kolesnem zabojniku.....	74
Slika 48: Peskolov in maščobnik.....	75
Slika 49: Pesek iz peskolova.....	75
Slika 50: Anaerobna bazena.....	76

Slika 51: Anaerobna bazena	77
Slika 52: Aeracijski bazeni	77
Slika 53: Aeracijski bazen	78
Slika 54: Puhala	78
Slika 55: Črpalke na razdelilnem objektu.....	79
Slika 56: Naknadni usedalnik	79
Slika 57: Krožno strgalo (naknadni usedalnik).....	80
Slika 58: Iztok očiščene vode	80
Slika 59: Naprava za zgoščanje blata	81
Slika 60: Naprava za zgoščanje blata	81
Slika 61: Zalogovnik blata.....	81
Slika 62: Dehidracija blata.....	82
Slika 63: Del linije obdelave blata – centrifuga.....	82
Slika 64: Graf padavin za mesec Januar (ARSO, 2009)	85
Slika 65: Graf padavin za mesec Maj (ARSO, 2009)	86

KAZALO PRILOG

Priloga A: Shema Centralne čistilne naprave Celje

Priloga B: Shema Centralne čistilne naprave Šaleške doline

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

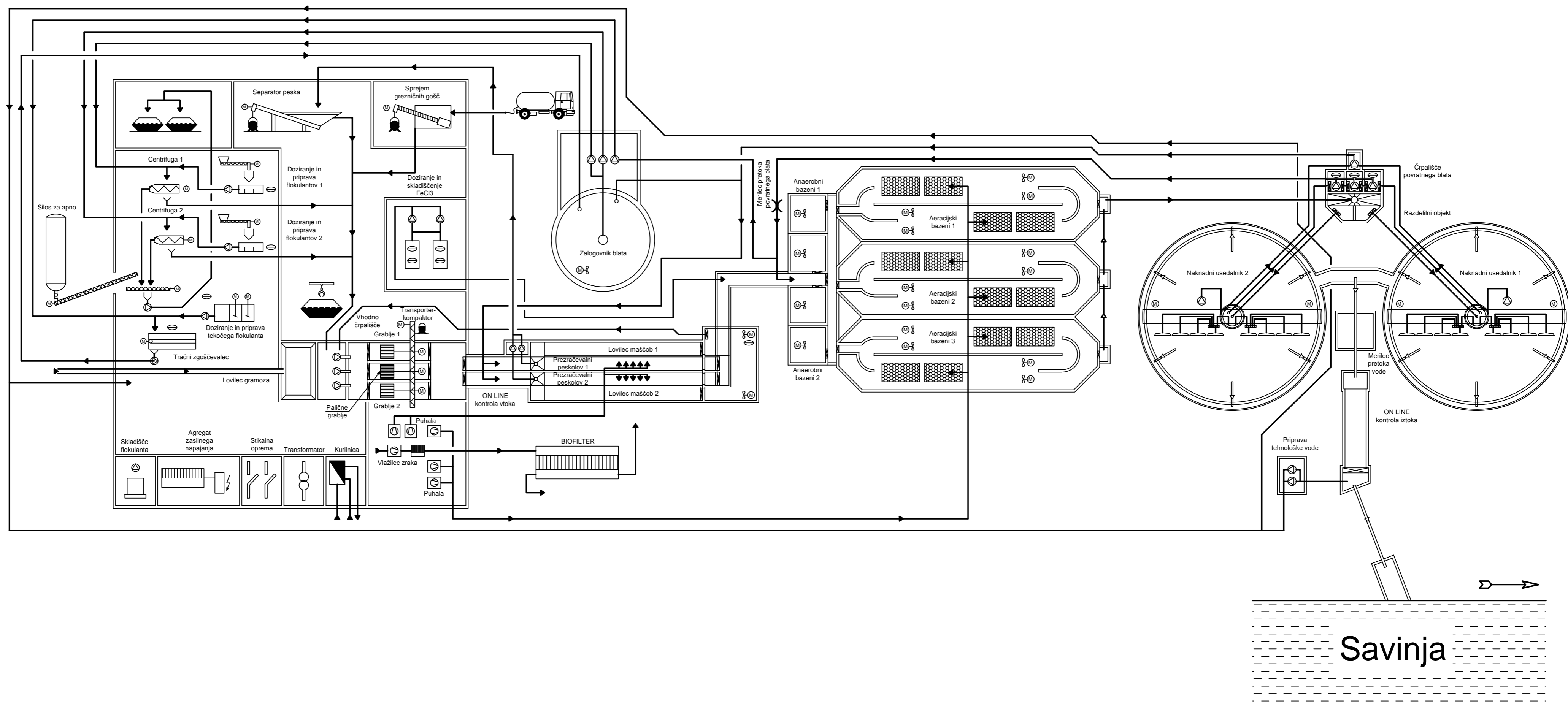
ARSO	Agencija Republike Slovenije za Okolje
BPK	Biokemijska Potreba po Kisiku
CČN	Centralna Čistilna Naprava
ČN	Čistilna naprava
EU	Evropska Unija
KPK	Kemijska Potreba po Kisiku
PE	Populacijski Ekvivalent
SS	Suspendirana Snov
Sb	Sušina blata
TS	Celotna trdna snov (neraztopljene snovi)


SLOVAR MANJ ZNANIH BESED IN TUJK

absorbirati	- sprejemati vase, vpijati, vsrkavati
adsorbicija	- zgoščevanje na površini
aglomerat	- skupek manjših delcev
aminoskupina	- atomska skupina, izvedena iz amoniaka z odvzemom enega atoma vodika
asimilacija	- vključevanje v določeno okolje s prevzemanjem njegovih značilnosti, lastnosti
biček (flagelum)	- nitast izrastek na celici, ki ji omogoča gibanje
biogen/abiogen	- nanašajoč se na živo/neživo naravo
deaminacija	- odcepitev aminoskupin iz molekule
diverziteta	- biološka, biotska raznolikost, mnogovrstnost
ekscentrična črpalka	- črpalka za prečrpavanje različnih medijev, uporablja se tudi v čistilnih napravah
evkariot	- živo bitje iz celic(e) z oblikovanim jedrom in mitohondriji
evtrofikacija	- prenasičenost s hranili in posledično prekomerna produkcija organskih snovi, kar povzroča odmiranje in porabo kisika za njihovo razgradnjo
hidroliza	- razstavljanje spojine z vodo tako, da se deli vode vežejo s sestavnimi deli spojine
ireverzibilen	- neobrnljiv, nepovrnljiv, enosmeren

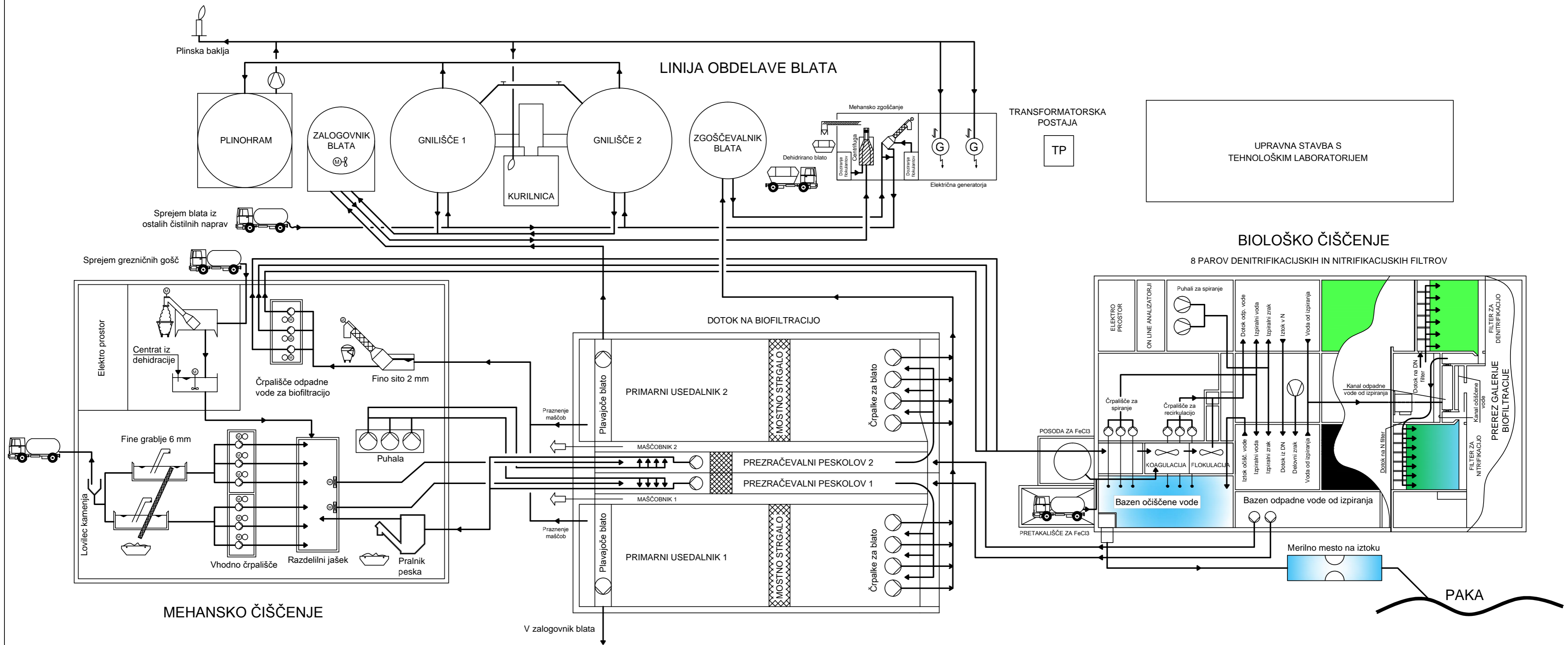
koloidni delci	- naravni ali umetni delci v amorfni obliki, ki v raztopini ne prehajajo skozi membrano
mezofilen	- ki uspeva ob srednjih temperaturah (optimum med 20° - 40°C)
mikroaerofilni pogoj	- okolje, kjer je približno 3% kisika, 10% ogljikovega dioksida in 87% dušika
mitohondrij	- membranska struktura, ki služi celičnemu dihanju
odvišno blato	- je blato, ki ga vodimo na zgoščevanje in v nadaljnjo obdelavo
populacijski ekvivalent	- je onesnaženje, ki ga dnevno prispeva človek ob predpostavki, da porabi med 200 in 300 litri vode in proizvede enako količino odpadne vode (iz gospodinjstva in z izločki, ki je obremenjena z detergenti, maščobami, dušikovimi spojinami, mikroorganizmi in drugimi organskimi ter neorganskimi primesmi)
povratno blato	- je aktivno blato, ki se useda v naknadnem čiščenju in se vrača v bazene z aktivnim blatom
volumski indeks	- razmerje med usedljivostjo in koncentracijo snovi


Centralna čistilna naprava Celje



 UNIVERZA V LJUBLJANI FGG - VKI		
Diplomski nalog: Primerjava biofiltracijskega reaktorja in ČN s podaljšano aeracijo		
Mentor :	izr. prof. Jože Panjan	
Somentor :	asist. dr. Mario Krzyk	
Vsebina :	Shema CČN Celje	
Izdela :	Petra Čepelnik	
Datum :	Merilo :	Priloga :
December 2009		A

Centralna čistilna naprava Šaleške doline



 UNIVERZA V LJUBLJANI FGG - VKI		
Diplomska naloga: Primerjava biofiltracijskega reaktorja in ČN s podaljšano aeracijo		
Mentor :	izr.prof. Jože Panjan	
Somentor :	asist. dr. Mario Krzyk	
Vsebina :	Shema ČČN Šaleške doline	
Izdela :	Petra Čepelnik	
Datum :	Merilo :	Priloga :
December 2009		B