

UNIVERZA V NOVI GORICI
POSLOVNO-TEHNIŠKA FAKULTETA

**CELOVITA PRIMERJAVA TEHNOLOGIJ ZA
ČIŠČENJE KOMUNALNE ODPADNE VODE**

MAGISTRSKO DELO

Mitja Gorjan

Mentor: doc. dr. Henrik Gjerkeš

Nova Gorica, 2012

NASLOV

Celovita primerjava tehnologij za čiščenje komunalne odpadne vode

IZVLEČEK

Uveljavljeni principi čiščenja komunalne odpadne vode temeljijo na bioloških procesih oziroma anaerobni in aerobni razgradnji. Namen magistrskega dela je bil pregledati že uveljavljene načine in preveriti primernost čiščenja komunalne odpadne vode s pomočjo membranske tehnologije za čistilne naprave velikosti približno 50.000 populacijskih ekvivalentov (PE).

S pomočjo literature smo se seznanili z osnovnimi principi in tehnologijami za čiščenje odpadne vode. V delu smo primerjali: konvencionalno ali klasično (aktivno blato), čistilno napravo s šaržnim biološkim reaktorjem (SBR = Sequencing Batch Reactor) in membransko čistilno napravo (MBR= Membrane Bio Reactor). Za vsako tehnologijo smo ocenili investicijske, obratovalne stroške, izračunali produkcijo blata in strošek končne dispozicije. Prvi dve tehnologiji sta precej razširjeni in dobro poznani. Novejša membranska tehnologija je v našem okolju manj znana in velja v delu strokovne javnosti za energijsko potratno. Za vse tri primerjane tehnologije smo uporabili enaka merila in zahteve. Pokazati smo želeli, da je lahko tudi uporaba membranske tehnologije optimalna izbira.

Ugotovili smo, da s primerjanjem očiščene vode in sposobnost doseganja enakomerne visoke kvalitete očiščene vode ne glede na obremenitev, kaže na absolutno prednost MBR tehnologije, ki pa je zaradi višjih stroškov električne energije in višje letne stopnje amortizacije nekoliko manj izrazita. MBR tehnologija prehaja v zrelo obdobje. Na trgu se to odraža s povečanjem števila proizvajalcev membran, kar neposredno vpliva na zniževanje investicijskih in obratovalnih stroškov. Zaradi teh dejstev, je v bodoče pričakovati vse večjo uporabo MBR tehnologij, zlasti za naprave do 100.000 PE.

KLJUČNE BESEDE

Komunalna odpadna voda, čistilna naprava, aktivno blato/biomasa, MBR tehnologija.

TITLE

A comprehensive comparison of urban waste water treatment technologies

ABSTRACT

All the common and widely accepted urban waste water treatment methods are based on biological processes such as anaerobic and aerobic digestion. The goal of the master's thesis was to check the established treatment methods as well as verify the suitability of waste water treatment with membrane technology for plants sized approximately 50,000 population equivalent (PE).

The facts about basic principles and technologies of waste water treatment were found in literature. The thesis compares conventional or classical treatment (activated sludge), sequencing batch reactor (SBR) and membrane bio reactor (MBR) plants. We assessed the investment and operating costs as well as calculated the production of sludge and the costs of final disposition for each method. The former two technologies are known and quiet common while the later is relatively unknown and considered highly energy-consuming by a part of expert public. While evaluating the processes, we used the same standards and requirements for each of the three methods. Our aim was to prove that the membrane technology can also be an optimum choice.

Considering the quality of treated water and the capability of continuously providing high-quality treated water regardless of the loading, the MBR technology has an absolute advantage compared to the other two methods. The only disadvantages are slightly higher operating costs due to power consumption as well as higher annual depreciation rates. MBR technology is approaching its maturity. There are more and more membrane producers, which inevitably leads to lower prices and therefore lower investment and operating costs. Due to the above mentioned facts, the MBR technology is expected to become a common, widespread choice, particularly for plants sized up to 100,000 PE.

KEYWORDS

Urban waste water, activated sludge / biomass, Waste Water Treatment Plant (WWTP), MBR technology.

KAZALO

1	UVOD.....	1
2	KOMUNALNA ODPADNA VODA.....	3
2.1	Splošno.....	3
2.2	Lastnosti in sestava odpadne vode.....	3
2.2.1	Barva in vonj odpadne vode.....	4
2.2.2	Organska in anorganska snov v odpadni komunalni vodi	5
2.2.3	Celotna vsebnost trdne snovi (angl. Total Solids - TS)	7
2.2.4	Celotna raztopljena trdna snov (TDS).....	10
2.2.5	Anorganska in organska lahkohlapna snov (FVS).....	10
2.2.6	Celotna usedla snov (SS)	11
2.2.7	Organska obremenitev komunalne odpadne vode, biokemijska potreba po kisiku (BPK) in kemijska potreba po kisiku (KPK).....	12
3	NAJBOLJ RAZŠIRJENE TEHNOLOGIJE ČIŠČENJA.....	15
3.1	Osnovni koncept bioloških procesov	15
3.2	Nastanek in prirast biomase v bioloških reaktorjih	19
3.2.1	Masna bilanca za biomaso	23
3.3	Procesi s suspendirano biomaso	24
3.3.1	Klasična čistilna naprava z aktivnim blatom	24
3.3.2	Čistilna naprava s podaljšano aeracijo	27
3.3.3	Čistilna naprava SBR	28
3.3.4	Membranska čistilna naprava.....	31

3.4	Procesi s pritrjeno biomaso.....	33
3.4.1	Čistilna naprava MBBR	35
3.4.2	Čistilna naprava z rotirajočimi kontaktorji	37
3.4.3	Čistilna naprava s fiksnimi nosilci	38
3.5	Prirast biomase in ravnanje z blatom.....	39
4	PRIMERJAVA TREH TEHNOLOGIJ ČISTILNIH NAPRAV	42
4.1	Osnovni podatki o primerjanih čistilnih napravah.....	42
4.2	Ocena investicijskih in obratovalnih stroškov	46
4.2.1	Investicijski stroški.....	46
4.2.2	Stroški obratovanja.....	49
4.3	Ekonomika in lastna cena	52
4.4	Primerjava tehnologij na podlagi ostalih parametrov	57
5	ZAKLJUČEK.....	59
6	LITERATURA	61
	PRILOGA 1: DENARNI TOK IN POSLOVNI IZID ZA KLASIČNO ČISTILNO NAPRAVO	64
	PRILOGA 2: DENARNI TOK IN POSLOVNI IZID ZA SBR ČISTILNO NAPRAVO	65
	PRILOGA 3: DENARNI TOK IN POSLOVNI IZID ZA MBR ČISTILNO NAPRAVO	66
	PRILOGA 4: BILANCA USPEHA ZA KLASIČNO ČISTILNO NAPRAVO (IRR ≥ 7 %).....	67
	PRILOGA 5: BILANCA USPEHA ZA MBR ČISTILNO NAPRAVO (IRR ≥ 7%)	68

PRILOGA 6: BILANCA USPEHA ZA SBR ČISTILNO NAPRAVO ($IRR \geq 7\%$)	69
PRILOGA 7: DENARNI TOK IN POSLOVNI IZID ZA KLASIČNO ČISTILNO NAPRAVO ($IRR \geq 7\%$).....	70
PRILOGA 8: DENARNI TOK IN POSLOVNI IZID MBR ČISTILNO NAPRAVO ($IRR \geq 7\%$).....	72
PRILOGA 9: DENARNI TOK IN POSLOVNI IZID ZA SBR ČISTILNO NAPRAVO ($IRR \geq 7\%$).....	74

KAZALO SLIK

Slika 1: Relacije trdne snovi v odpadni vodi	9
Slika 2: Inhoff vsedalnik	10
Slika 3: Aerobna in anaerobna razgradnja komunalne odpadne vode	17
Slika 4: Postopek čiščenja odpadne vode z aktivnim blatom	18
Slika 5: Prikaz krivulje rasti bakterijske kulture (mikrobna razgradnja) in porabe substrata oziroma razvoj mikroorganizmov v reaktorju	21
Slika 6: Proces z aktivnim blatom.....	25
Slika 7: Postopek čiščenja v SBR-reaktorju.....	29
Slika 8 a) Membranski modul, b) Prikaz delovanja membrane	31
Slika 9: Shematski prikaz membranske čistilne naprave	32
Slika 10: Shematski prikaz prenosa snovi v biofilmu	34
Slika 11: a) MBBR aerobni reaktor in b) MBBR anoksični reaktor.....	36
Slika 12: Shematski prikaz rotirajočih biodiskov	37
Slika 13: Proces čiščenja s fiksnimi nosilci	38
Slika 14: Blok shema čistilne naprave SBR.....	44
Slika 15: Blok shema klasične čistilne naprave	45
Slika 16: Blok shema čistilne naprave MBR	45

KAZALO TABEL

Tabela 1: Vsebnost komunalne odpadne vode	4
Tabela 2: Razdelitev odpadne vode po nastanku	5
Tabela 3: Izmerjeni parametri odpadne vode kanalizacijskega omrežja Nova Gorica	13
Tabela 4: Tipična sestava komunalne odpadne vode	14
Tabela 5: Razlika med klasično in čistilno napravo s podaljšano aeracijo	27
Tabela 6 : Sestava blata po različnih stopnjah obdelave	41
Tabela 7: Projektni parametri za dimenzioniranje čistilne naprave 50500 PE	43
Tabela 8: Ocena potrebne neto površine bazenov za posamično tehnologijo	46
Tabela 9: Investicijske vrednosti po posameznih tehnologijah	47
Tabela 10: Investicijske vrednosti MBR in klasične čistilne naprave Glessen	49
Tabela 11: Izračun produkcije blata	49
Tabela 12: Stroški ravnanja z blatom	50
Tabela 13: Obratovalni stroški	51
Tabela 14: Obratovalni stroški MBR- in klasične čistilne naprave Glessen	52
Tabela 15: Obseg proizvodnje; količina prodane vode	52
Tabela 16: Vrednost investicije	53
Tabela 17: Letni stroški amortizacije	53
Tabela 18: Obseg proizvodnje, stroški in lastna cena	54
Tabela 19: Finančni kazalniki projekta	56
Tabela 20: Cena storitev v primeru pozitivnih dinamičnih kazalnikov	57

Tabela 21: Primerjava kvalitete izpusta pri različnih tehnologijah obdelave 58

Tabela 22: Prikaz vsebine primerjanih naprav 58

1 UVOD

Razvoj človeške civilizacije skozi stoletja gre v smeri večjih urbanih naselitev. Goste poselitve ljudi v mestih imajo za posledico koncentracijo odplak in odpadkov, kar povzroča veliko kontaminacijo podtalnice in onesnaženje vodotokov. Zaradi zdravstvenih in okoljskih razlogov se je pojavila potreba po nadzorovanem odvajanju ter razgradnji odplak in odpadkov. V grobem ločimo komunalne in industrijske odpadne vode.

Zmanjšanje, razgradnja in ponovna uporaba odpadkov ima in bo tudi v bodoče imelo znaten vpliv na kvaliteto življenja in zdravje ljudi. Učinkovito čiščenje odpadnih vod je v zadnjem času vse bolj pomembno. Potrebno je natančno poznavanje nastanka, sestave in količine odpadne vode, ki jo nameravamo očistiti. Komunalna odpadna voda je po vsem svetu približno enake sestave. Razlika med državami je le v količini porabe pitne vode na prebivalca. Količina nastale odpadne vode v gospodinjstvu se približno pokriva s količino porabljene vode. Poraba vode v Srednji Evropi (tudi v Sloveniji) znaša približno 150 litrov na populacijski ekvivalent na dan (l/PE/d), medtem ko je za Združene države Amerike značilna precej večja poraba, ki znaša približno 300 l/(PE/d). Za naselja lahko računamo, da se v kanalizacijo odvaja med 60 in 80 % dobavljene vode iz vodovoda.

V prvem delu smo ugotavljali lastnosti in prikazali najpomembnejše sestavine odpadne vode. Poleg sestave odpadne vode smo posebej prikazali osnovne postopke in procese biološke razgradnje. Obravnavali smo le komunalno odpadno vodo. Industrijske odpadne vode, ki so posledica različnih proizvodnih procesov in se med seboj lahko bistveno razlikujejo nismo posebej analizirali.

Večina komunalne odpadne vode, blata in odpadkov vsebuje biološko razgradljive komponente. Vsebnost onesnaženja v odpadni vodi je razdeljena na organsko in anorgansko snov. V naravi se organska snov postopoma razgradi. Poznavanje bioloških procesov razgradnje je osnova za nadaljnje razumevanje delovanja tehnologij čiščenja. Prikazali smo delovanje biokemijskih tehnoloških procesov s suspendirano in pritrjeno biomaso.

Zaradi okoljskih omejitev in stroškov povezanih z odlaganjem blata, smo se v osrednjem delu, posebej posvetili izračunu produkcije blata. Pokazati smo želeli, da je količina odvečnega blata v znatni meri odvisna tudi od uporabljene tehnologije in posledično vpliva na stroške obratovanja.

V drugem delu magistrskega dela smo se osredotočili na primerjavo tehnologij čiščenja komunalne odpadne vode. Za čiščenje odpadne vode se v svetu uporablja več različnih tehnoloških postopkov. Opisali smo delovanje najbolj običajnih in primerjali tri najbolj razširjene tehnologije biološkega procesa čiščenja. Za primerjavo smo uporabili dostopne tehnične podatke za načrtovanje in vrednosti že zgrajenih čistilnih naprav podobne velikosti. Na osnovi teh in drugih podatkov smo izdelali ocene vrednosti za napravo približno 50.000 populacijskih ekvivalentov (PE) z relativno veliko hidravlično obremenitvijo, kot posledica infiltracije tujih vod v mešan kanalizacijski sistem.

Čistilne naprave se gradijo za obdobje vsaj 25 let. Za primerno izbiro tehnologije čiščenja je potrebno upoštevati tudi vse posebnosti okolja in ne le razširjenost obstoječih tehnologij na lokalnem trgu. Naprave smo primerjali na osnovi tehničnih, ekonomskih, okoljskih in drugih kriterijev, ter preverili trend bodočih tehnoloških rešitev na globalnem trgu. Posebej smo izračunali lastno ceno čiščenja in dinamične kazalnike za vsako izmed primerjanih tehnologij. Pridobljeni in prikazani podatki nam bodo v pomoč pri vrednotenju razpoložljivih predlaganih rešitev s strani potencialnih izvajalcev tehnologij čiščenja komunalne odpadne vode.

2 KOMUNALNA ODPADNA VODA

2.1 Splošno

Po pravilniku o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne in padavinske vode je odpadna komunalna voda definirana kot voda, ki nastaja v bivalnem okolju gospodinjstev zaradi rabe vode v sanitarnih prostorih, pri kuhanju, pranju in drugih gospodinjskih opravilih. Komunalna odpadna voda je tudi voda, ki nastaja v objektih v javni rabi, v proizvodnih in storitvenih dejavnostih, če je po nastanku in sestavi podobna vodi po uporabi v gospodinjstvih (Pravilnik o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne in padavinske vode, 2002). Po definiciji (Water Pollution Control Federation, 1980) je v komunalni odpadni vodi 99,94 % vode, ostalo (0,06 %) so predvsem suspendirane in raztopljene različne snovi.

Količina in sestava odpadne vode se lahko zelo spreminjata in sta odvisni od porabe vode na prebivalca, bivalnih standardov ter dnevnega in letnega časa. Fizikalne, kemijske in biološke lastnosti odpadne vode so v pretežni meri odvisne od navad v skupnosti, vplivov industrije, vremena in pritoka tujih voda v kanalizacijski sistem. Poleg omenjenih faktorjev ima na končno sestavo odpadne vode velik vpliv še tip in kvaliteta kanalizacijskega sistema. V velikem številu mest imamo opraviti z mešanim sistemom kanalizacije. Le-to pomeni, da se koncentracija fekalij (organskih in drugih snovi) spreminja s količino padavin in posledično vdorom tujih voda v kanalizacijski sistem. Za uspešno čiščenje odpadnih voda je zato zelo pomembno poznavanje vseh parametrov nastajanja in transporta vse do čistilne naprave.

2.2 Lastnosti in sestava odpadne vode

Komunalna odpadna voda vsebuje raztopljene in trde delce oziroma komponente. Njena sestava je odvisno od izvora, mešanja in zunanjih vplivov, ki so prisotni med potovanjem odpadne vode po kanalizacijskem sistemu. Sestava, vsebnost in okoljski vpliv je prikazan v tabeli 1. Najpomembnejše fizikalne lastnosti za obravnavo odpadne vode so temperatura, koncentracija polutantov in količina trdne snovi. Temperatura odpadne vode je pomemben parameter, ki pogojuje intenzivnost kemijskih reakcij in bioloških procesov.

Običajno se pri ugotavljanju lastnosti odpadne vode obravnava: količino trdnih snovi, količino usedle skupne snovi, količino celotne organske snovi, barvo, temperaturo, vonj, električno prevodnost, gostoto, specifično težo in vsebnost dušikovih spojin, kisika, fosforja, žvepla, kovin, vodikovih ionov, plinov ter patogenih bakterij in virusov.

Tabela 1: Vsebnost komunalne odpadne vode (Piet in drugi (ur), 2001, str. 58)

SESTAVA IN ZNAČILNOST	VSEBNOST	OKOLJSKI VPLIV
mikroorganizmi	patogene bakterije, virusi	rizično kopanje in uživanje rib
biorazgradljiva organska snov	zmanjšanje kisika v rekah in jezerih	pomor rib in smrad
ostala organska snov	detergenti, pesticidi, maščobe, olja, barve, topila, fenoli, cianidi	zastrupljanje vodotokov, bioakumulacija v prehranski verigi
hranila	dušik, fosfor, amonijak	eutrofikacija, pomanjkanje kisika
kovine	Hg, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni	zastrupljanje vodotokov, bioakumulacija
anorganska snov	kislina, bazičnost, vodikov sulfid	korozija, zastrupljanje
termalni efekt	povišana temperatura vode	spreminjanje življenjskih pogojev za floro in favno
vonj	vodikov sulfid	neprijetnosti v okolju
radioaktivnost	radon (^{226}Ra , radionuklid ^{131}Pb , ^{230}Th), uran (^{238}U)	zastrupljanje in akumulacija v organizmih

2.2.1 Barva in vonj odpadne vode

Barvo odpadne komunalne vode določajo: koncentracija, vsebnosti organske snovi in starost. V grobem lahko po barvi ugotovimo njen nastanek (tabela 2). Sveža odpadna voda je običajno sive barve in neprijetnega vonja. Postopoma se barva spreminja iz sive v črno.

Tabela 2: Razdelitev odpadne vode po nastanku (Piet in drugi (ur), 2001, str. 65)

TIP / BARVA	IZVOR
klasična	stranišče, kopalnica, kuhinja, pralnica
črna	stranišče
siva	kopalnica, kuhinja, pralnica
svetlo siva	kopalnica, pralnica
rumena	urin
rjava	fekalije

2.2.2 Organska in anorganska snov v odpadni komunalni vodi

Vsebnost odpadne vode kemijsko običajno delimo na organske in anorganske snovi. Anorganske snovi vsebujejo: nekovine, kovine in pline. Organske snovi, ki predstavljajo organsko onesnaženje v odpadni vodi, sestavljajo predvsem ogljikove, dušikove in fosforjeve spojine.

Za uporabo ter obdelavo odpadne in očiščene vode je vsebnost organske snovi zelo pomemben parameter. Organsko onesnaženje je posledica človekove prebave in običajnih dejavnosti v gospodinjstvu (priprava hrane, umivanje, pranje ...). Tovrstno onesnaženje je popolnoma razgradljivo. Ta proces v okolju izvajajo mikroorganizmi, ki s svojo dejavnostjo razgrajujejo organsko snov.

Vir anorganskih snovi v odpadni vodi so predvsem dodatki pri gospodinjski uporabi pitne vode, vplivi manjših visoko mineraliziranih vodnih virov in industrijskega onesnaženja. Poleg mineralov se pri analiziranju odpadne vode ugotavlja: *pH*-vrednost, vsebnost dušika, fosforja, klora, žvepla, ostalih anorganskih delcev, plinov in vonja.

Koncentracija vodikovega iona v vodi pomeni parameter pH -vrednosti vode. Vrednost pH je definirana kot negativni rezultat logaritma koncentracije vodikovega iona po enačbi 1.

$$pH = -\log[H^+] \quad (1)$$

Poznavanja pH vrednosti vode nam omogoča, da jo lahko opredelimo kot kislino (pH vrednost med 0 in 7), nevtralno (pH vrednost =7) in bazično (pH vrednost med 7 in 14). Življenje v vodi je mogoče pri pH vrednosti med 6 in 9. Zelo bazično odpadno vodo je zelo težko biološko očistiti. Za biološke čistilne naprave je primerna pH vrednost med 6,5 in 8,5 (McGraw, 2003).

Vsebnost klora v odpadni vodi je posledica tehnološke obdelave pitne vode zaradi transporta po cevovodih. Vsebnost klora v naravni vodi je lahko le posledica spiranja s klorom kontaminiranih kamnin in zemlje. Človeški iztrebki vsebujejo približno 6 g kloridov po osebi na dan. Povečanje kloridov v odpadni vodi je običajno posledica infiltracije tujih voda in morske vode v kanalizacijo.

Alkalnost je kvantitativna lastnost vode, da nevtralizira kisline (kislinsko nevtralizacijska sposobnost). Alkalnost odpadne vode pomeni prisotnosti hidroksidov (OH^-), karbonatov (CO_3^{2-}), bikarbonatov (HCO_3^-), amoniaka (NH_4^+), boratov, fosfatov, silikatov in drugih baz.

Za življenje mikroorganizmov v odpadni vodi sta bistvenega pomena dušik in fosfor. Oba spadata v skupino hranil in biostimulansov. Izvori dušikovih spojin so predvsem rastlinskega in živalskega izvora, natrijevi nitrati ter atmosferski dušik. Nitratni ioni (NO_3^-) so pogosto prisotni v naravnih vodnih telesih, ker so končni produkt aerobne razgradnje organskih dušikovih spojin. Nitratni ion je potrebna hranilna snov za avtotrofne organizme, saj ga le-ti asimilirajo in vgrajujejo v lastne proteine. Naravni viri nitratov v površinskih vodah so spiranje površin, odmrli deli rastlin in živali, ter vulkanske kamnine. V neonesnaženih vodah so sezonske spremembe nitratov predvsem posledica odmiranja organizmov in naj ne bi presegale vrednosti 1 mg/l. Višje koncentracije so v pretežni meri posledica gnojenja kmetijskih površin ob vodotokih, v katerih se zaradi spiranja pojavljajo večje količine nitratov okoli 10 mg/l, ali izliva komunalnih in industrijskih odpadnih voda. Organske in anorganske

snovi se v odpadni vodi pojavljajo v dveh oblikah: kot raztopljene in neraztopljene snovi. Suspendirane snovi razdelimo glede na njihovo gostoto na: usedljive, lebdeče in plavajoče snovi (Ministrstvo za okolje in prostor, 2009).

V nadaljevanju so prikazani izračuni najpomembnejših parametrov trdne snovi v odpadni vodi, povzeti po knjigi Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Shundar, 2001). Izračuni so opisani v poglavjih 2.2.3, 2.2.4, 2.2.5 in 2.2.6.

2.2.3 Celotna vsebnost trdne snovi (angl. Total Solids - TS)

Celotno trdno snov v odpadni vodi sestavljajo plavajoči delci, usedli delci, koloidni material in raztopljeni delci. Posamične frakcije v trdni snovi določamo na različne načine. Za določanje masne bilance in ugotavljanje koncentracije odpadne vode je treba poznati in uporabljati sledeče veličine oziroma parametre:

- celotna vsebnost trdne snovi *TS* (angl. Total Solids - *TS*)
- celotna vsebnost suspendirane trdne snovi (angl. Total Suspended Solids - *TSS*)
- celotna vsebnost raztopljene trdne snovi (angl. Total Dissolved Solids - *TDS*)
- vsebnost anorganskih in organskih lahkihplapnih snovi (angl. Fixed and Volatile Solids - *FVS*)
- celotna vsebnost organskih lahkihplapnih snovi (angl. Total Volatile Solids - *TVS*)
- celotna vsebnost anorganskih snovi (angl. Total Fixed Solids - *TFS*)
- vsebnost lahkihplapnih suspendiranih organskih snovi (angl. Volatile Suspended Solids - *VSS*)
- vsebnost suspendirane anorganske snovi (angl. Fixed Suspended Solids - *FSS*)
- vsebnost raztopljenih lahkihplapnih organskih snovi (angl. Volatile Dissolved Solids - *VDS*)
- vsebnost raztopljenih anorganskih snovi (angl. Fixed Dissolved Solids - *FDS*)

Posamično frakcijo v trdni snovi različno določamo. V nadaljevanju so prikazani izračuni pomembnih delov trdne snovi v odpadni vodi, in sicer: *TS*, *TSS*, *TDS*, *FVS* in *TVS*.

Celotna vsebnost trdne snovi (*TS*) je parameter, določen z ostankom vsebine izhlapevajoče snovi pri sušenju najmanj eno uro ali čez celo noč pri temperaturi 103–105 °C in izračunan po standardizirani metodi po enačbi 2.

$$mg\ TS/l = \frac{(A - B) \times 1000}{volumen[ml]} \quad (2)$$

A : masa posušenega ostanka vzorca vključno s posodo v mg

B : masa posode v mg

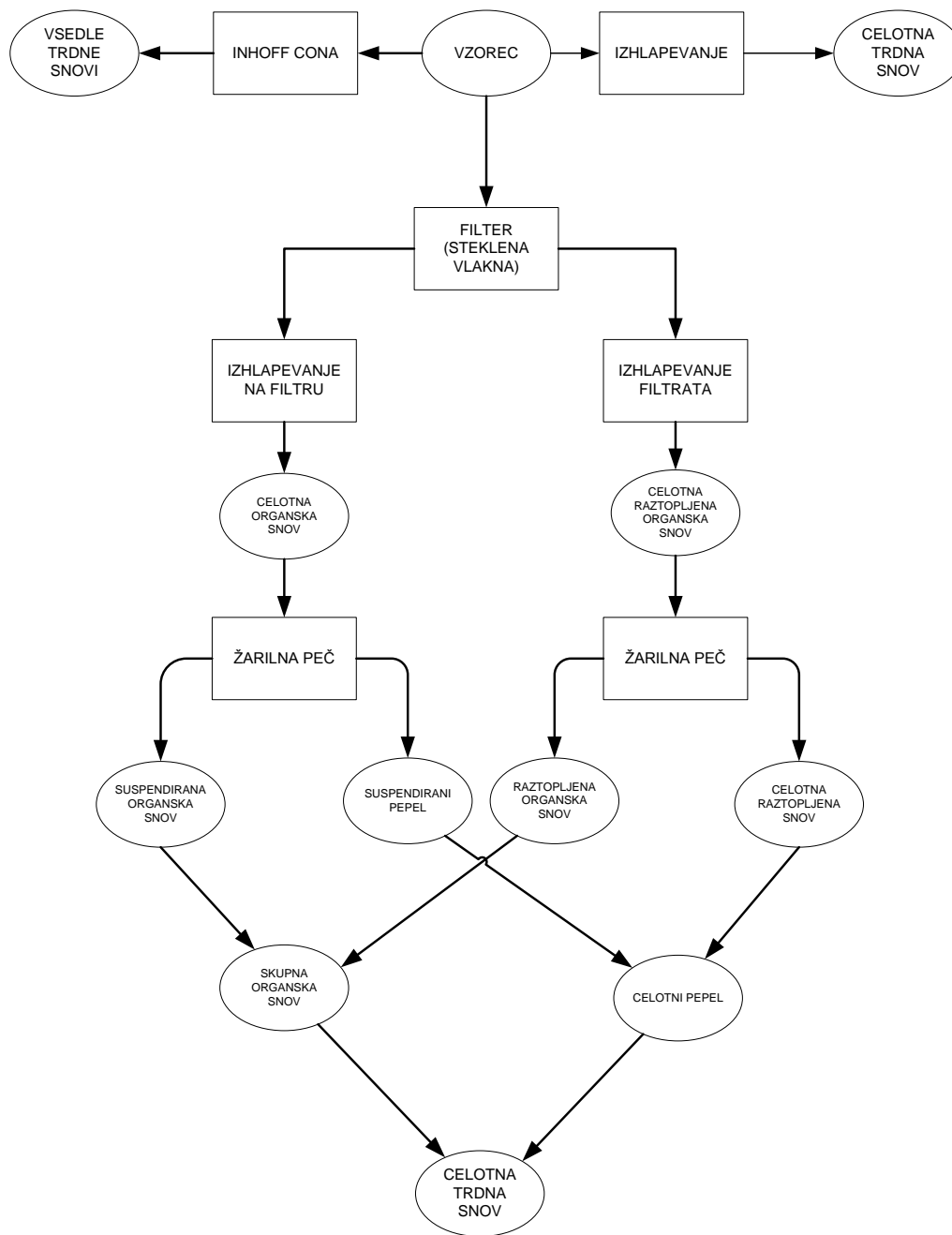
Celotna vsebnost suspendirane trdne snovi (*TSS*) je zelo pomemben parameter za določanje vsebnosti oziroma sestave odpadne in prečiščene vode iz čistilnih naprav. Količina celotne suspendirane trdne snovi po primarnem in sekundarnem čiščenju znaša 12–30 mg/l. Laboratorijsko vrednost celotne suspendirane snovi običajno ugotavljamo z uporabo Goochove posode, v kateri je dobro premešani vzorec odpadne vode, ki se pretaka skozi membrano s porami velikosti 0,2 μm. Po vsaj enournem segrevanju pri temperaturi med 103–105 °C ostane trdna snov na membrani. Izračunamo jo po formuli:

$$mg\ TSS/l = \frac{(C - D) \times 1000}{volumen[ml]} \quad (3)$$

C : masa posode s filtrom in posušenim ostankom vzorca v mg

D : masa posode s filtrom v mg

Relacije in povezave med frakcijami v trdi snovi prikazuje diagram na sliki 1. Povzet je po sliki iz knjige *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*.



Slika 1: Relacije trdne snovi v odpadni vodi (McGraw, 2003, str. 44)

Približno 60 % vse suspendirane snovi v komunalni odpadni vodi je usedla snov (angl. settleable solids - SS). Količine usedle trdne snovi, za razliko od celotne trdne snovi (TS) določamo s t. i. standardnim testom, ki temelji na litrskem vzorcu odpadne vode v Imhoffovem usedalniku (slika 2). Celotno trdno snov (TS) pa ugotavljamo z izparevanjem in sušenjem preostalega vzorca odpadne vode.

Za vzorčenje komunalne odpadne vode je Inhoffov usedalnik pogosta oziroma obvezna oprema laboratorijev za hitro določanje usedle snovi.



Slika 2: Inhoff vsedalnik (Water quality, 2000)

2.2.4 Celotna raztopljeni trdna snov (*TDS*)

Celotna raztopljeni trdna snov je v bistvu ostanek pri filtraciji vzorca odpadne vode. V odpadni komunalni vodi znaša količina te snovi 250–850 mg/l. Podobno kot pri določanju količine celotne suspendirane trdne snovi se pri določanju količine *TDS*-ja uporablja membrane s porami velikosti 0,2 μm . Odpadno vodo se precedi skozi membrano in segreva vsaj eno uro pri temperaturi $180 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. Razlika v masi posode je iskana količina. Določimo jo po formuli:

$$\text{mg TDS/l} = \frac{(E - F) \times 1000}{\text{volumen [ml]}} \quad (4)$$

E : masa posode s filtrom in posušenim ostankom vzorca v mg

F : masa posode s filtrom v mg

2.2.5 Anorganska in organska lahkohlapna snov (*FVS*)

Količino anorganske in organske lahkohlapne snovi (*FVS*) določimo tako, da uporabimo preostalo snov, dobljeno pri določanju količine vsebnosti: trdne snovi, celotne suspendirane trdne snovi ali celotne raztopljene trdne snovi. To preostalo

snov predpisan čas žarimo pri 550 °C. Izgubljena masa pomeni količino organske snovi v vzorcu. Preostalo snov se označi kot mineralno trdno snov. Obe veličini sta izraženi še z enačbama 5 in 6.

$$mg \text{ organske trdne snovi/l} = \frac{(G - H) \times 1000}{\text{volumen [ml]}} \quad (5)$$

$$mg \text{ mineralne trdne snovi/l} = \frac{(H - I) \times 1000}{\text{volumen [ml]}} \quad (6)$$

G : masa ostanka plus posoda pred žarjenjem v mg

H : masa ostanka plus posoda po žarjenju v mg

I : masa posode po v mg

Poznavanje in določitev vrednosti organske snovi je pomembno za načrtovanje tehnološkega procesa čistilnih naprav. Podatek je uporaben za oceno vsebnosti organske snovi v trdni frakciji odpadne vode in aktivnega blata.

2.2.6 Celotna usedla snov (SS)

Med neraztopljene delce oziroma usedlo snovjo sodijo: sedimentirajoča, lebdeča in plavajoča anorganska in organska snov. Iz raztopine jo ločimo s filtriranjem, nato jo posušimo in količino določimo z gravimetrično metodo. V postopku pomeni neraztopljena snov tisti del snovi, ki jo v procesu filtracije zadrži filter s predpisano in standardizirano velikostjo por. Količino usedle snovi izražamo v ml/l ali mg/l in jo je mogoče ugotavljati tudi z volumetrično metodo s pomočjo Inhoff cone (slika 2). To je cona, v kateri se delci po določenem času posedejo.

Po gravimetrični metodi najprej določimo *TSS* (celotno suspendirano trdno snov). V supernatantu ponovno določimo preostale usedle delce, ki se posedejo v eni uri. V preostalem supernatantnem vzorcu se določi *TSS* (mg/L), ki nam hkrati pove količino neusedlih delcev. Količino usedlih delcev pa izračunamo po enačbi 7:

$$\text{Količina usedlih delcev} = TSS - \text{količina neusedle snovi} \quad [\text{mg/l}] \quad (7)$$

2.2.7 Organska obremenitev komunalne odpadne vode, biokemijska potreba po kisiku (BPK) in kemijska potreba po kisiku (KPK)

Biokemijsko razgradnjo organskih snovi opravljajo predvsem heterotrofni mikroorganizmi. Zanje je organska snov vir ogljika. Živijo s pomočjo v vodi raztopljenega kisika in posledično izločajo ogljikov dioksid. Porabo kisika heterotrofnih mikroorganizmov izražamo z izmerjeno vrednostjo BPK. V odpadni vodi se porablja kisik predvsem zaradi respiracije heterotrofnih mikroorganizmov in alg. V manjši meri pa potrebujemo kisik še za nitrifikacijo in oksidacijo amonija, ter drugih spojin z reduciranim dušikom.

Biokemijska potreba po kisiku (BPK) je torej potrebna množina kisika za oksidacijo razgradljive organske snovi s pomočjo mikroorganizmov v vzorcu. To pomeni, da so organske snovi v odpadni vodi hrana za bakterije. BPK je torej merilo onesnaženja površinskih in odpadnih voda z razgradljivo organsko snovjo in je enaka količini kisika, potrebnega za aerobno razgradnjo organskih snovi v stabilne anorganske.

Osnovni test za določitev BPK so razvili v Angliji, in sicer kot absorpcijski test za določanje raztopljenega kisika oz. stopnje biokemijske oksidacije v vodotokih, kjer je prisotna komunalna odpadna voda. V praksi se največkrat določa vrednosti BPK_5 , kar pomeni, da se razgradljivi del organskih snovi v odpadni vodi običajno določa po petih (BPK_5), sedmih (BPK_7) ali "x" dneh (BPK_x). Indeksi 5, 7 ali x podajajo čas (v dnevih) poteka analize (Roš, 2011). Po slovenski zakonodaji (SIST ISO 5815-2, 2003) se določa biokemijsko porabo kisika v 5-dnevni inkubaciji vzorca odpadne vode v temi pri temperaturi 20 ± 1 °C (Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih vod, ter o pogojih za njegovo izvajanje, 1996).

V laboratorijih se večinoma uporablja manometrična metoda z napravo WTW. Ogljikov dioksid, ki ga izločijo mikroorganizmi, se veže na natrijev hidroksid, ki je nameščen nad vzorcem v gumijastem tulcu. Le-to povzroči podtlak v sistemu, ki je sorazmeren koncentraciji kisika, porabljenega za razgradnjo (diferenčno merjenje pritiska z elektronskim senzorjem na osnovi piezoupornosti). Poleg manometričnega postopka za določanje BPK_5 se redkeje uporablja še jodometrična ali elektokemijska metoda.

Druga najpomembnejša merjena veličina pri določanju stopnje organske komponente v odpadni vodi je KPK (kemijska potreba po kisiku). Dejansko pomeni kisikov ekvivalent vsebnosti organske snovi v predpisanem vzorcu, ki oksidira s kemijskim oksidantom. S KPK določimo vse organske snovi; biološko razgradljive in nerazgradljive. Za oksidant se običajno uporablja kalijev dikromat ($K_2Cr_2O_7$). V žveplovo kisli raztopini se s pomočjo kalijevega dikromata oksidira večina organske snovi. Končna stopnja oksidacije je ogljikov dioksid in voda, zato lahko pojmujeemo vrednost KPK-ja kot popolno oksidacijo ogljikovih spojin.

Razmerje med KPK in BPK_5 je v komunalni odpadni vodi približno 2:1 ali celo 1:1. Za odpadne vode, kjer so prisotne težje razgradljive snovi in jih mikroorganizmi niso sposobni razgraditi, pa je vrednost BPK_5 bistveno nižja od KPK. Strupene vode imajo BPK_5 skoraj 0. Tabela 3 prikazuje izmerjene vrednosti za mešani kanalizacijski sistem v Novi Gorici. Razvidno je, da imamo opraviti s komunalno odpadno vodo, ki ima v intervalih močno povišan KPK, kar kaže na občasen izpust težje razgradljive industrijske odpadne vode iz gospodarske dejavnosti.

Tabela 3: Izmerjeni parametri odpadne vode kanalizacijskega omrežja Nova Gorica (Babič, 2009)

Čas	KPK [mg/l]	BPK_5 [mg/l]	P_{tot} [mg/l]	NH_4^+-N [mg/l]	SS [mg/l]
12–14	1001	250	5.02	25.3	190
14–16	322	210	5.91	27.2	171
16–18	411	400	6.02	29.3	363
18–20	334	320	6.10	26.0	253
20–22	461	360	5.55	27.9	200
22–24	443	220	5.92	26.9	164
00–02	209	120	3.91	18.5	55
02–04	94	90	2.79	15.5	49
04–06	153	100	3.15	19.8	56
06–08	958	450	6.97	44.0	352
08–10	775	380	6.30	35.0	23
10–12	654	360	5.68	30.4	45

V tabeli 4 so prikazane vrednosti merljivih komponent v odpadni komunalni vodi povprečnega urbanega področja severne Amerike. Podatki temeljijo na povprečni

porabi 460 l/PE. Upoštevana je infiltracija tuje vode v kanalizacijski sistem. Vrednosti so precej podobne izmerjenim vrednostim v Novi Gorici, razlikujejo se le po dnevni porabi vode na prebivalca (192 l/PE). Tudi v Novi Gorici imamo opraviti z mešanim sistemom kanalizacije in veliko infiltracijo tujih voda.

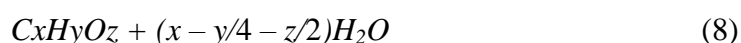
Tabela 4: Tipična sestava komunalne odpadne vode (McGraw, 2003, str. 186)

VSEBNOST	ENOTA	KONCENTRACIJA		
		NIZKA	SREDNJA	VISOKA
Celotna vsebnost trdih snovi	mg/l	390	720	1230
Celotna raztopljena snov (TDS)	mg/l	270	500	860
Mineralna	mg/l	160	300	520
Organska	mg/l	110	200	340
Celotna suspendirana trdna snov (TSS)	mg/l	120	210	400
Mineralna	mg/l	25	50	85
Organska	mg/l	95	160	315
Usedla snov	ml/l	5	10	20
BPK₅	mg/l	110	190	350
Celoten ogljik (TOC)	mg/l	80	140	260
KPK	mg/l	250	430	800
Celoten dušik (Total N)	mg/l	20	40	70
Organski	mg/l	8	15	25
Amonij	mg/l	12	25	45
Nitriti	mg/l	0	0	0
Nitrati	mg/l	0	0	0
Celoten fosfor (Total P)	mg/l	4	7	12
Organski	mg/l	1	2	4
Anorganski	mg/l	3	5	8
Sulfati	mg/l	20	30	50
Olja in maščobe	mg/l	50	90	100
Hlapne organske spojine	µg/l	< 100	100-400	> 400
Koliformne bakterije	N _o /100 ml	10 ⁶ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹	10 ⁷ -10 ¹⁰
Fekalne koliformne bakterije	N _o /100 ml	10 ³ -10 ⁵	10 ⁴ -10 ⁶	10 ⁵ -10 ⁸
Cryptosporadium oocysts	N _o /100 ml	10 ⁻¹ -10 ⁰	10 ⁻¹ -10 ¹	10 ⁻¹ -10 ²
Giardia lamblia cysts	N _o /100 ml	10 ⁻¹ -10 ¹	10 ⁻¹ -10 ²	10 ⁻¹ -10 ³

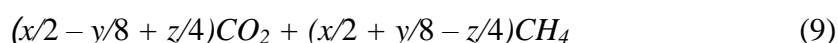
3 NAJBOLJ RAZŠIRJENE TEHNOLOGIJE ČIŠČENJA

3.1 Osnovni koncept bioloških procesov

Za čiščenje komunalne odpadne vode se največ uporablja biološke čistilne naprave. Biološki procesi čiščenja odpadne vode temeljijo na anaerobni in aerobni razgradnji. V naravi praviloma poteka predelava odpadnih snovi z različnimi kombiniranimi postopki aerobne in anaerobne razgradnje. Pri tem sodelujejo: mikroorganizmi, sončna svetloba, vlaga in drugo. Za uspešno razgradnjo moramo zagotoviti: ustrezno temperaturo, vlažnost, *pH* Anaerobna razgradnja je najstarejši uporabljen tehnološki postopek obdelave organskih odpadkov. Večina komunalne odpadne vode, blata in odpadkov vsebuje biološko razgradljive komponente, kar v primernih okoliščinah omogoča anaerobno razgradnjo. Proces anaerobne razgradnje poteka brez prisotnosti kisika in oksidiranih dušikovih spojin. Za rast potrebni kisik heterotrofni mikroorganizmi pridobivajo iz organskih spojin. Pri anaerobni razgradnji nastaja bioplina. Postopek pretvorbe organskih surovin v plin pri anaerobni razgradnji je popisan z enačbami 8, 9 in 10. Teoretični izkoristek bioplina na osnovi znanega substrata pa prikazuje Buswellova enačba 11 (Assessing Biomass Feasibility, 2011).



se pretvori v



Z enačbo za pretvorbo v energijo sledi:



Se pretvori v



Anaerobna razgradnja se lahko dogaja v okolici treh temperaturnih območij, in sicer:

- pri sobni temperaturi (psihofilno področje),
- mezofilna pri temperaturi 33–40 °C in
- termofilna pri temperaturi 50–60 °C.

Čim višja je temperatura okolice, tem hitreje poteka razgradnja. Tehnično sta zanimiva mezofilno in termofilno območje. Pri sobni temperaturi potekajo procesi anaerobne razgradnje izjemno počasi. V termofilnem območju je anaerobna razgradnja lahko tudi do 8-krat hitrejša in učinkovitejša od mezofilne razgradnje. Termofilno razgradnjo se le redko uporablja zaradi prepričanja, da je za zadrževanje ustrezne temperature potrebno preveč energije. Običajno tehnologija anaerobne razgradnje odpadne vode ne zadošča za popolno razgradnjo odpadne vode.

Aerobna razgradnja temelji na porabi raztopljenega kisika, potrebnega za razvoj mikroorganizmov, ki sodelujejo pri razgradnji. Odpadna voda vsebuje premalo kisika za pospešeni razvoj mikroorganizmov, zato moramo kisik dovajati. Za učinkovito čiščenje je treba v odpadno vodo dovesti vsaj 0,5 mg/l raztopljenega kisika (Roš, 2001). Ta proces omogoča, da se organske snovi v prisotnosti kisika pretvorijo v vodo, ogljikov dioksid in biomaso. Obe vrsti razgradnje sta v grobem prikazani na sliki 3.

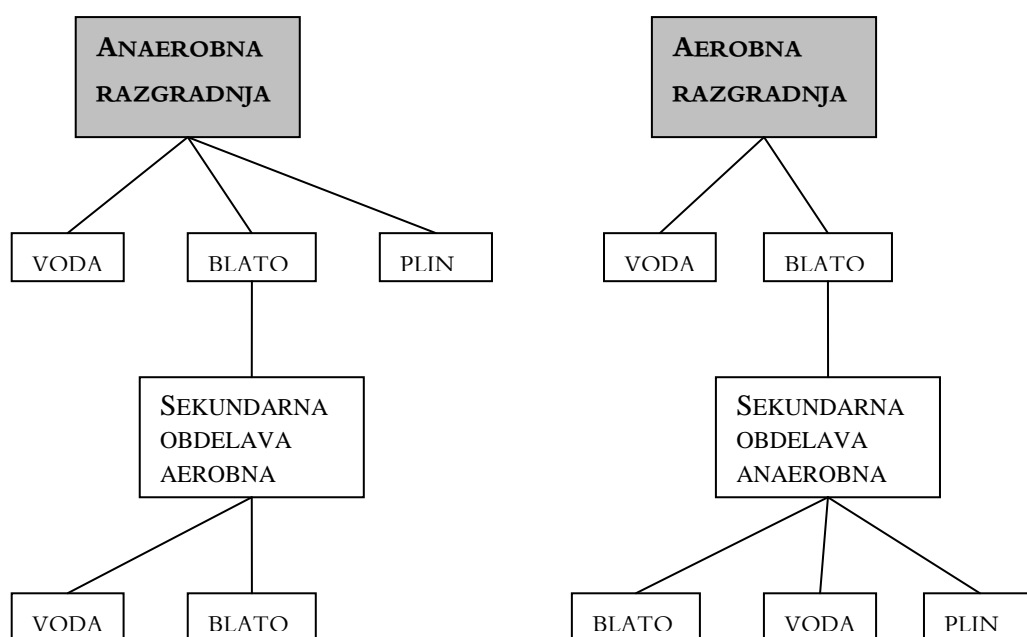
V naravi sta vedno prisotna oba načina razgradnje. Za čiščenje komunalne odpadne vode je na sodobnih čistilnih napravah največkrat uporabljena kombinacija obeh procesov razgradnje. Učinkovitost bioloških procesov za čiščenje odpadnih voda temelji predvsem na aktivnosti mikrobiološke združbe (biomase) v reaktorju in ločevanju biomase od očiščene vode.

Biološko čiščenje temelji na razgradnji organske in anorganske snovi s pomočjo mikroorganizmov. Poleg razgradnje organskih in z odstranjevanjem suspendiranih snovi omogoča biološko čiščenje znatno zmanjšanje dušikovih in fosforjevih spojin. Organska snov in hranila (dušikove in fosforjeve spojine), ki se nahajajo v odpadni vodi, sta glavni vir prehrane bakterijam in ostalim mikroorganizmom.

Razgradnjo organskih in anorganskih snovi izvajajo bakterije, ki predstavljajo večji del mikroorganizmov. Bakterije odstranjujejo iz odpadne vode organske snovi ter anorganske snovi pretvarjajo v novo biomaso. Pri tem rastejo, se razmnožujejo in tvorijo kosme ali granule. Katere bakterije bodo v sistemu biološkega čiščenja prevladovali, je odvisno od substrata (dovedene odpadne vode v sistem), razmer (aerobne, anoksične, anaerobne), hitrosti rasti bakterij, sposobnosti usedanja blata in temperature. V grobem na razgradnjo organskih komponent v odpadni vodi vplivajo:

sestava odpadne vode, volumski indeks blata, koncentracija mikroorganizmov in kisika, ter temperatura. Čiščenje odpadne vode na sodobnih čistilnih napravah imenujemo »biološko čiščenje z aktivnim blatom«. Aktivno blato vsebuje več milijard mikroorganizmov.

Za boljšo učinkovitost bioloških sistemov je pomembno, da delujejo pri optimalni koncentraciji in starosti biomase, rezultat razgradnje je pretvorba organske snovi v anorgansko in novo biomaso.



Slika 3: Aerobna in anaerobna razgradnja komunalne odpadne vode (Piet in drugi (ur), 2001, str. 555)

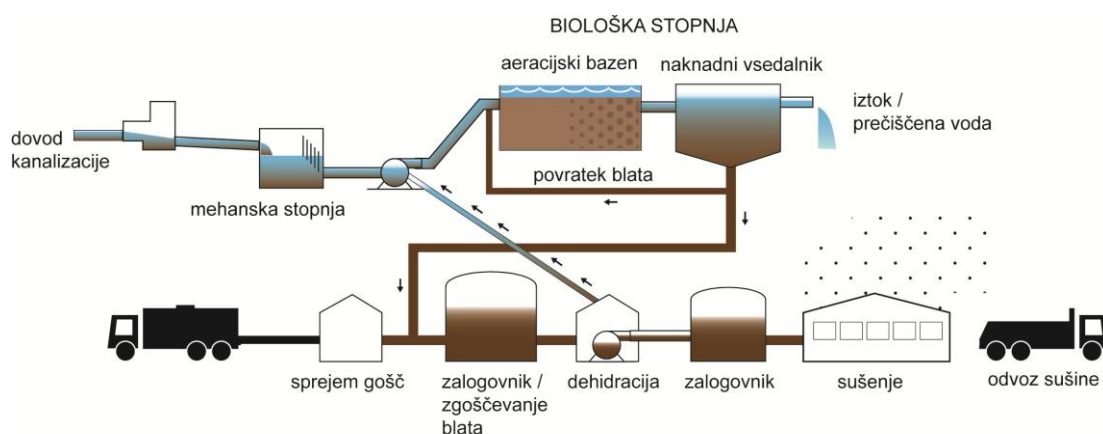
Biološke čistilne naprave v splošnem lahko delimo v dve skupini:

- s suspendirano biomaso
- s pritrjeno biomaso

Tehnološki postopek obdelave odpadne vode je shematsko prikazan na sliki 4. Čiščenje odpadne vode v praksi delimo na tri stopnje:

- primarno
- sekundarno
- terciarno

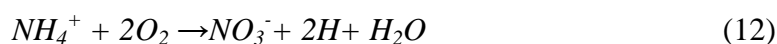
S primarnim čiščenjem odstranjujemo predvsem večje in težje razgradljive delce maščobe in pesek. Ta del imenujemo tudi mehanska stopnja. Večje delce izločamo s postopkom flotacije, usedanja in s pomočjo raznih vrst grobih, ter finih gabelj. Naslednja stopnja (sekundarno čiščenje) se vrši v biološkem reaktorju, kjer poteka pospešeno razgradnja organskih snovi. V sekundarno stopnjo čiščenja spada še odstranjevanje dušika. Običajno se v odpadni vodi dušik nahaja v anorganski obliki kot amonij, nitrat, nitrit ali pa je organsko vezan.



Slika 4: Postopek čiščenja odpadne vode z aktivnim blatom

Odstranjevanje dušika poteka v dveh stopnjah. Najprej se zgodi pretvorba amonijevega dušika v nitrat (nitrifikacija), nato pa redukcija nitrata do plinastega dušika (denitrifikacija). Obe stopnji se dogajata v anoksičnem okolju, ki je precej podobno aerobnemu s to razliko, da bakterije dobivajo kisik iz nitrata in nitrata.

Nitrifikacija je prav tako dvostopenjski proces. Nitrifikatorji so avtotrofni organizmi, ki za svojo rast potrebujejo anorganski vir ogljika (ogljikov dioksid), katerega pridobijo z oksidacijo amonijevega iona. Bakterije Nitrosomonas pretvorijo amonijev dušik v nitrit, nato pa nastopijo bakterije Nitrobacter, ki nitrit pretvorijo v nitrat. Kemijski zapis reakcije oksidacije prikazuje enačba 12.



Za dokončno izločitev dušika je potrebna še denitrifikacija; proces, kjer so aktivni heterotrofni mikroorganizmi skupin Alcalgenes, Achromobacter, Micrococcus in Pseudomonas. Te bakterije so sposobne uporabiti za akceptor elektronov nitrat

namesto kisika. V procesu denitrifikacije se torej pojavlja nitrat in njegove reducirane oblike kot akceptorji elektronov. Končno stanje redukcije nitrata je plinasti dušik. Poenostavljeno je reakcija zapisana z enačbo 13 (Birk, 2002).



Produkti anoksične razgradnje so: ogljikov dioksid, voda in elementarni dušik. Za popolno prečiščenje odpadne vode je potrebno še terciarno čiščenje, tj. odstranjevanje nutrientov, in sicer: defosforizacija (oziroma precipitacija), fazna separacija in dezinfekcija. Fosfor se deloma odstranjuje že v procesu biološke obdelave vode, vendar ga je v odpadni vodi relativno veliko (ortofosfati, polifosfati ...). S pomočjo biološke razgradnje ga ne moremo odstraniti v celoti, zato je potrebno za popolno odstranitev fosforja uporabiti kemikalije oziroma polifosfate. Za dezinfekcijo se lahko uporablja: naprave z UV-žarki, kloriranje, doziranje perocetne kisline, ultrafiltracija in reverzna osmoza.

3.2 Nastanek in prirast biomase v bioloških reaktorjih

Odpadna voda, ki se nahaja na čistilni napravi, v grobem vsebuje: vodo, organske razgradljive snovi, težko razgradljive snovi in inertne snovi, ki ne sodelujejo v biološki reakciji. Organsko snov delimo na raztopljeno in neraztopljeno. V postopku čiščenja odpadne vode se vzpostavi aktivna biomasa, ki opravlja biološko razgradnjo. V glavnem je to združba mikroorganizmov oziroma aktivno blato, ki je sestavljeno iz (Kurbus, 2008):

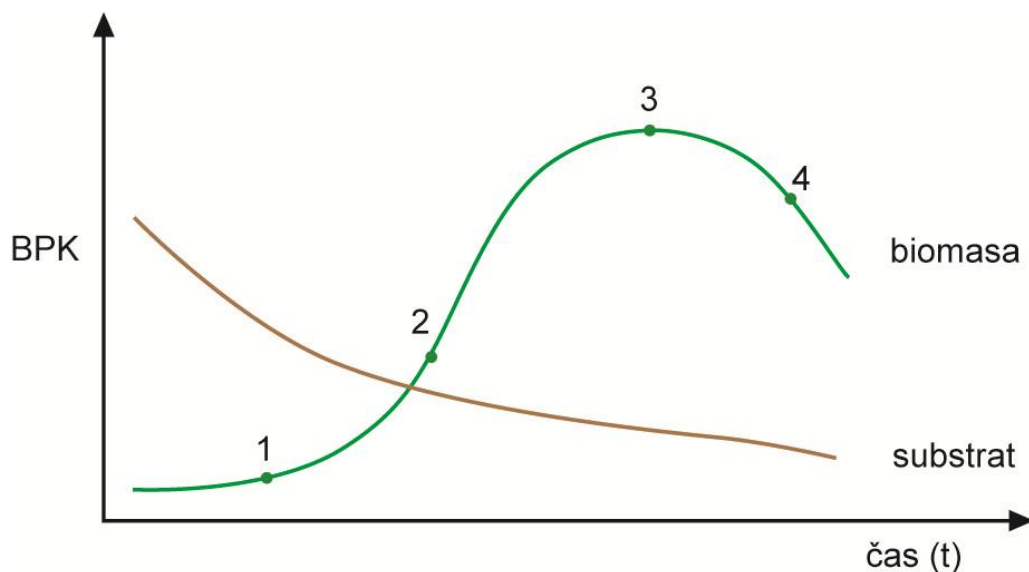
- bakterij (razgrajujejo organske snovi s pomočjo encimov),
- gliv (razvijajo se pri nizkem pH),
- alg (so pretežno na površini; potrebujejo svetlobo),
- protozoj (so pomembne za posedanje; hranijo se z bakterijami, glivami, algami in suspendiranimi snovmi),
- metazoj in
- praživali.

V tehnologiji čiščenja odpadnih voda pomeni biomasa skupek različnih mikroorganizmov, ki uporabljajo lastni metabolizem, da s pomočjo encimov

razgradijo odpadno vodo. Mikroorganizmi pri razgradnji odpadne vode uporabljajo svoj metabolizem. Le-ta pomeni vse biokemijske presnovne reakcije, ki se zgodijo v živi celici s pomočjo encimov. Biokemijske reakcije so vedno združljive. Produkt ene reakcije služi kot reaktant druge reakcije. V presnovi potekata dva tipa reakcij:

- Katabolizem pomeni razgradnjo presnovnih produktov (substrata) do enostavnejših molekul. Telo uporablja katabolne procese zlasti za razstrupljanje, pri tem pa se sprošča energija. Katabolizem je energetsko povezan z anabolizmom, saj se energija, ki nastaja med katabolnimi procesi, porablja za izgradnjo kompleksnejših molekul v procesih anabolizma.
- Anabolizem ali sestavljanje je del presnovnega procesa. Vključuje izgradnjo telesu lastnih snovi iz manjših molekul, za kar se porablja energija. Za anabolne procese pridobivajo fototrofni organizmi energijo iz sončnih žarkov, kemotrofni organizmi pa s katabolnimi procesi iz energetsko bogatih molekul. Energija, ki vstopa v anabolne procese, je shranjena v molekulah ATP. Načeloma so anabolne reakcije oksidativni procesi. Anabolni procesi so osnova za rast organizmov (Wikipedija, 2011).

Za prirast biomase v reaktorjih je najpomembnejši kisik. Le-ta omogoča dejavnost mikroorganizmov, da so sposobni razgraditi organsko snov v koloidnem in raztopljenem stanju. Mikroorganizmi z lahkoto razgradijo v ogljikov dioksid, vodo in novo biomaso, le snovi naravnega izvora (biogene snovi). Ta proces se imenuje mineralizacija. Če imamo opraviti s topnim nerazgradljivim materialom (ksenobiotiki), se ta izloči iz sistema v enaki koncentraciji, v kakršni je v proces pritek. Poleg kisika so za rast pomembne še: količina suspendirane snovi, organske razgradljive snovi, pH , temperatura in prisotnost toksičnih snovi. Količina snovi je v največji meri odvisna od zadrževalnega časa odpadne vode v reaktorju. Razvoj biomase oziroma rast bakterij običajno pomeni povečanje števila celic. Značilno spreminjanje števila bakterij v času ponazarja rastna krivulja (slika 5). Hitrost rasti mikrobne združbe, ki jo lahko spremljamo neposredno z določitvijo koncentracije oziroma števila celic v gojišču, se spreminja v odvisnosti od koncentracije substrata. Čas potreben za podvojitev populacije imenujemo generacijski čas (Shundar, 2001, str. 562). Število mikro organizmov v vsaki generaciji narašča eksponentno (2^0 , 2^1 , 2^2 , ...), zato je naraščanje prikazano kot logaritemska funkcija (slika 5).



Slika 5: Prikaz krivulje rasti bakterijske kulture (mikrobna razgradnja) in porabe substrata oziroma razvoj mikroorganizmov v reaktorju

Število bakterij se s časom spreminja. Zeleno obarvana krivulja prikazuje rast bakterij v tekočem gojišču pri konstantni temperaturi in je v grobem razdeljena na štiri območja ali faze:

1. Lag ali adaptivna faza (aklimatizacija mikroorganizmov na pogoje okolja) nastane takoj po vnosu bakterij v gojišče, kjer še ni celičnih delitev ali pa so te zelo redke. V lag fazi se celice prilagajajo na novo okolje (npr. s sintezo encimov za uporabo na novo razpoložljivih hranil). Dolžina lag faze je v največji meri odvisna od okolja pred vnosom v sveže gojišče in je v primeru podobnih pogojev zelo kratka oziroma nezaznavna. V lag fazi sicer poteka sinteza celičnih komponent, vendar vzporedno s povečevanjem skupne celične mase ne prihaja do delitve celic (neuravnotežena rast).
2. Eksponentna faza rasti (hitra rast, obilo hrane) sledi lag fazi. Celice se prilagajajo novemu okolju, začne se hitra delitev, hitrost katere določajo rastni pogoji. V tej fazi se celično število in masa populacije podvajata s konstantno hitrostjo (uravnotežena rast). Na diagramu rasti je to prikazano s strmo vzpenjajočo se krivuljo.
3. Počasna rast (hrane je dovolj za vzdrževanje obstoječih mikroorganizmov) je naslednja faza, ki nastopi, ko celice zaradi hitre rasti porabijo hranila in izločijo odpadne snovi v gojišče. Rast se upočasnjuje in prehaja v fazo, ko se

število živih celic ne povečuje. V tej fazi se celične funkcije nadaljujejo, tvorijo se sekundarni metaboliti (antibiotiki, toksini). V tem času lahko nastopi fenomen prikrite rasti, ko se nekatere celice sicer delijo, vendar jih enako število odmre.

4. Odmiranje; primanjkuje hrane, začetek endogene respiracije (Cervantes in drugi, 2006).

Za ustrezno določitev učinka čiščenja čistilne naprave je treba poleg sestave poznati še količino in koncentracijo odpadne vode. Te veličine so definirane s fizikalnimi, kemijskimi in biološkimi parametri. Prirastek biomase Y (angl. yield) je definiran kot razmerje med novo nastalo biomaso in količino porabljenega substrata po spodnji enačbi 14:

$$Y = \frac{\textit{g nastale biomase}}{\textit{g porabljenega substrata}} \quad (14)$$

pri čemer pomeni substrat dotok odpadne vode in Y je koeficient prirastka biomase. Pri aerobnem in anaerobnem čiščenju odpadne vode je število različnih organskih snovi, prisotnih v vodi, veliko, zato se za izračun prirastka biomase upošteva celotno količino organskih snovi (KPK, BPK). Torej bo prirastek biomase definiran kot masa v g biomase/g KPK oz. g BPK.

Hitrost rasti biomase je proporcionalna hitrosti porabe substrata in razpadu biomase. Hitrost rasti biomase opisuje enačba 15:

$$r_g = -Yr_{su} - k_d X \quad (15)$$

kjer uporabljene oznake pomenijo: r_g : hitrost rasti biomase [g VSS/m³·d], k_d : koeficient endogenega razpada v [gVSS/gVSS·d], r_{su} : hitrost porabe substrata [g/m³·d], X : koncentracija biomase [g/m³]. Hitrost porabe substrata je definiran po enačbi 16:

$$r_{su} = \frac{kXS}{K_s + S} \quad (16)$$

kjer pomenijo: S : koncentracija substrata [g/m^3], K_s : koncentracija substrata pri polovici maksimalne hitrosti porabe substrata [g/m^3], k : največja specifična poraba substrata [$\text{g subs.}/\text{g VSS}\cdot\text{d}$]. Če združimo enačbi, dobimo spodnjo enačbo 17:

$$r_g = Y \frac{kXS}{K_s + S} - k_d X \quad (17)$$

Enačbo 17 delimo s koncentracijo biomase X in ob upoštevanju maksimalne specifične hitrosti $\mu_{MAX} = k \cdot Y$ dobimo enačbo (18) za specifično hitrost rasti biomase:

$$\mu = \frac{r_g}{X} = \frac{\mu_{MAX} S}{K_s + S} - k_d \quad (18)$$

kjer je μ : specifična hitrost rasti biomase [$\text{g VSS}/\text{g VSS}\cdot\text{d}$]. Koeficient endogenega razpada k_d je povezan z izgubo celične mase zaradi oksidacije notranjih zalog hrane potrebne za energijo, ter obstoj celice, smrti celice in predatorstva organizmov, ki so v prehranjevalni verigi višje (McGraw, 2003, str. 567-584).

3.2.1 Masna bilanca za biomaso

Masna bilanca za proces je definirana po enačbi 19 kot:

$$\text{Akumulacija} = \text{vtok} - \text{iztok} - \text{poraba} + \text{nastanek}, \quad (19)$$

kar s simboli napišemo kot:

$$\frac{dX}{dt} V = QX_0 - [(Q - Q_w)X_e - Q_w X_R] + r_g V, \quad (19 \text{ a})$$

kjer so: V : volumen reaktorja, Q : vtok, dX/dt : hitrost spreminjanja koncentracije biomase, X_0 : koncentracija biomase na vtoku, X_e : koncentracija biomase na iztoku, X_R : koncentracija biomase v toku povratka ali recikla, Q_w : pretok odpadnega blata ter r_g : hitrost nastanka biomase.

Ob upoštevanju predpostavk, da je koncentracija biomase na vtoku zanemarljiva ter da je $dX/dt = 0$ (stacionarno stanje) in če enačbo preuredimo, dobimo enačbo 20:

$$\frac{(Q - Q_w)X_e + Q_w X_R}{VX} = -Y \frac{r_{su}}{X} - k_d \quad (20)$$

Povprečno starost blata (*SRT*) definiramo z inverzno vrednostjo leve strani enačbe in je razmerje med celotno količino trdnih snovi v aeracijskem bazenu, ter količino trdnih snovi, ki prehaja v iztok oz. ga odstranjujemo kot odvečno blato.

$$\frac{VX}{(Q - Q_w)X_e + Q_w X_R} = SRT \quad (21)$$

V enačbi 21 predstavlja števec celotno maso trdnih snovi, imenovalc pa količino izgubljene biomase v iztoku in v toku odpadnega blata v enem dnevu (McGraw, 2003, str. 588-591).

3.3 Procesi s suspendirano biomaso

Pri procesih s suspendirano biomaso vzdržujemo mikroorganizme v tekoči suspenziji z ustreznimi metodami mešanja. Večina procesov za čiščenje odpadnih voda s suspendirano biomaso (industrijskih in komunalnih) obratuje pri aerobnih pogojih, torej v prisotnosti kisika. Dovajamo ga z vpihovanjem zraka ali čistega kisika, kar je redkeje in predvsem dražje. Najbolj razširjen proces tega tipa je proces z aktivnim blatom (klasična čistilna naprava, slika 4). Med procese s suspendirano biomaso prištevamo (Madoni, 2005) :

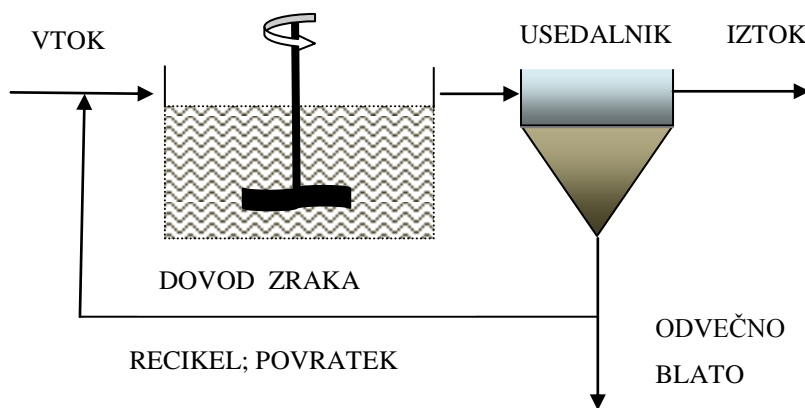
- klasično čistilno napravo z aktivnim blatom
- čistilno napravo s podaljšano aeracijo
- čistilno napravo SBR (angl. Sequencing Batch Reactor)
- čistilno napravo MBR (angl. Membrane Bio Reactor)

3.3.1 Klasična čistilna naprava z aktivnim blatom

Postopek z aktivnim blatom je proces čiščenja odpadne vode s suspendirano biomaso pri aerobnih pogojih. Pri tem mikroorganizmi, v večini bakterije, z metaboličnimi reakcijami, za katere rabijo kisik, očistijo vodo, ki je primerna za izpust v naravo. Metoda z aktivnim blatom je zelo razširjen proces za odstranjevanje raztopljenih

snovi, drobnih neraztopljenih snovi in koloidnih organskih polutantov iz odpadne vode. Osnovni sestavni deli procesa z aktivnim blatom so (slika 6):

- prezračevalni reaktor s suspendirani mikroorganizmi, zadolženimi za čiščenje odpadne vode,
- usedalnik (naknadni usedalnik), kjer se blato poseda; ločitev na "trdi" in tekoči del, ter
- sistem za povratek ali recikel; vračanje dela "trde" snovi v prezračevalni bazen.



Slika 6: Proces z aktivnim blatom

Odpadna voda, ki vsebuje organsko snov, priteka v prezračevalnik, v katerem mikroorganizmi z metaboličnimi reakcijami očistijo vodo. Organska snov se pretvarja v celično maso (ogljik je vir energije za rast celic), vodo ter oksidirane produkte (CO_2). Kisik dovajamo oziroma vpihujemo v vodo s pomočjo posebnih puhal. Kisik je v vodi razmeroma slabo topen, zaradi tega je potrebno vpihovanje relativno velikih količin zraka (kisika) za vzdrževanje primerne koncentracije aktivnega blata. Suspendirano aktivno blato vsebuje večinoma mikroorganizme, inertne in nerazgradljive suspendirane snovi.

Po dokončani reakciji v prezračevalniku voda odteče v usedalnik, kjer poteka faza ločevanja suspendiranih delcev od obdelane oziroma čiste vode. Faza ločevanja poteka gravitacijsko. Delci se zaradi lastne teže posedajo in zgoščajo na dnu

usedalnika, tako se ločijo od vode, ki na površini izteka v iztok. Pomembno je, da ima blato čim boljše usedalne lastnosti, da ne uhaja v iztok.

Del koncentrirane suspenzije aktivnega blata vračamo nazaj v prezračevalnik (recikel blata), saj to blato še vedno vsebuje mikroorganizme. Zaradi zagotavljanja konstantne koncentracije aktivnega blata v biološkem reaktorju je vračanje ali recikel blata pomemben del procesa. Višek aktivnega blata se sprti odstranjuje iz procesa.

Količino odstranjenega substrata kot posledico biološke reakcije v procesu čiščenja izračunamo s pomočjo masne bilance za substrat. Le-ta predstavlja raztopljene organske snovi v vodi, ki so hrana za mikroorganizme. Masna bilanca za substrat je definirana po enačbi 19 (*akumulacija = vtok – iztok + nastanek – poraba*), kar se lahko zapiše s simboli (McGraw, 2003, str. 592-593):

$$\frac{dS}{dt}V = QS_0 - QS + r_{su}V, \quad (22)$$

Simboli v enačbi 22 pomenijo: dS/dt : hitrost porabe substrata, V : volumen reaktorja, S_0 : koncentracija substrata na vtoku, S : koncentracija substrata na iztoku.

Če v enačbi zamenjamo r_{su} , upoštevamo stacionarno stanje ($dS/dt = 0$) in enačbo preuredimo, dobimo enačbo 23, ki pomeni količino odstranjenega substrata v danem procesu:

$$S_0 - S = \left(\frac{V}{Q}\right)\left(\frac{kXS}{K_s + S}\right) = \tau X \left(-\frac{\frac{1}{SRT} - k_d}{Y}\right), \quad (23)$$

Poleg že znanih veličin je za izračun treba določiti še: τ (hidravlični zadrževalni čas), koncentracijo biomase X , ter prirast biomase Y in k_d . Zadnja dva parametra sta odvisna predvsem od SRT oziroma povprečne starosti blata. V splošnem velja, da vpliva SRT na volumen prezračevalnega bazena, rast blata, potrebo po prezračevanju in učinek čiščenja.

3.3.2 Čistilna naprava s podaljšano aeracijo

Proces s podaljšano aeracijo obratuje z najmanj 12 urnim zadrževalnim časom odpadne vode v reaktorju. Proces obratuje pri visokih starostih blata in nizkem razmerju F/M (angl. food/mass - F/M), da lahko dosežemo nitrifikacijo in endogeno respiracijo. Le-to povzroči, da se mikroorganizmi hranijo z vso preostalo hrano in uporabljajo za hrano celo svoje lastne celice. Posledica visoke tekmovalnosti mikroorganizmov je dobro očiščen iztok in nizka koncentracija suspendiranih snovi. F/M razmerje znaša med 0,04 - 0,15 kg BKP₅/kg MLSS/dan in ga izračunamo po enačbi 24.

$$F/M = \text{BKP}_5\text{kg/d/MLSS kg} \quad (24)$$

MLSS (angl. mixed liquor suspended solids) pomeni dejansko gostoto aktivne biomase v reaktorju in znaša za čistilno napravo s podaljšano aeracijo med 3 do 6 g/l. Dolgi zadrževalni časi in nizka obremenitev odpadne vode povzročata povečanje koncentracije blata. To ima pozitivne učinke, saj sistem ni občutljiv na nihanja v obremenitvi vode (nizka koncentracija BPK₅, visoka koncentracija blata). Tak sistem lahko prenese, oksidira in očisti relativno visoke količine odpadne vode (Cervantes in drugi, 2006).

V večini primerov take čistilne naprave ne potrebujejo primarnega usedalnika pred aeracijskim bazenom. Povratek blata in odpadna voda imata vtok na istem mestu in se nato relativno hitro razporedita po celotnem volumnu bazena zaradi sistema za aeracijo. Bistvene razlike med klasično in čistilno napravo s podaljšano aeracijo prikazuje tabela 5.

Tabela 5: Razlika med klasično in čistilno napravo s podaljšano aeracijo

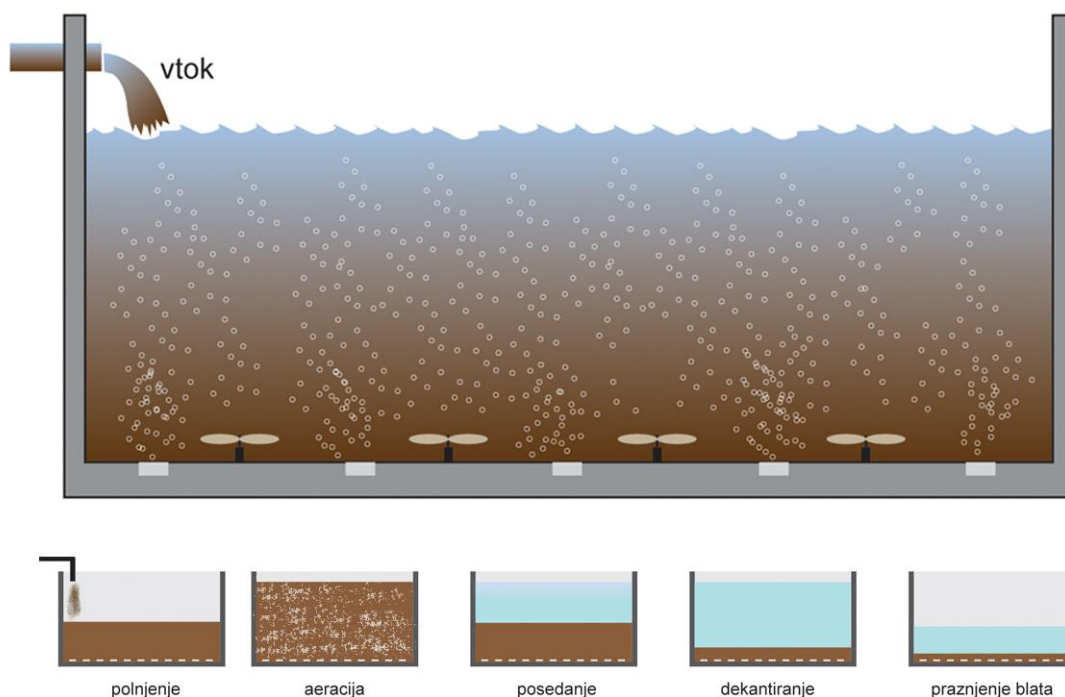
	Klasična čistilna naprava	Čistilna naprava s podaljšano aeracijo
Primarni usedalnik	da	ni potreben
Zadrževalni čas blata (<i>SRT</i>)	krajši	daljši
F/M -razmerje	srednje	nizko
Aeracijski bazen	srednji	velik

Čistilna naprava s podaljšano aeracijo nima primarnega usedalnika, odpadna voda se prečrpa po mehanskem predčiščenju neposredno v prezračevalni bazen (če želimo odstranjevati še dušik, potem se pred prezračevalni bazen postavi še denitrifikacijska stopnja). Zaradi večjega zadrževalnega časa in velike količine povratnega blata je starost blata večja, kar ima za posledico vse zgoraj omenjene prednosti. S konvencionalnem sistemom z aktivnim blatom v primarnem usedalniku odstranimo 30 – 40 % organske obremenitve, le-ta je v sistemu s podaljšano aeracijo potrebna za učinkovito odstranjevanje dušikovih spojin. Sistem s podaljšano aeracijo je razširjen predvsem v Sredozemlju in na območjih, kjer so mile zime. Postopek nitrifikacije in denitrifikacije dušikovih spojin je učinkovit le pri temperaturah vode, višjih od 12 °C.

3.3.3 Čistilna naprava SBR

SBR ali šaržni biološki reaktor je tako imenovani "napolni in izprazni" sistem z aktivnim blatom. Procesi v SBR reaktorju so podobni procesom v klasični čistilni napravi le, da poteka v SBR reaktorju prezračevanje in usedanje v istem bazenu ali reaktorju. Obdelava odpadne vode poteka šaržno (ni stalnega dotoka v proces). Odpadno vodo se po mehanskem predčiščenju prečrpa v reaktor, kjer se jo v celoti biološko obdela. Ena šarža ali cikel je sestavljen iz petih stopenj oziroma faz (slika 7), te so:

- faza 1: polnjenje reaktorja z odpadno vodo,
- faza2 : reakcija (aeracija),
- faza3 : usedanje (ločevanje "trdo-tekoče"),
- faza4 : praznjenje (ločene očiščene vode) in
- faza 5 : mirovanje



Slika 7: Postopek čiščenja v SBR-reaktorju

V prvi fazi se reaktor napolni z odpadno vodo do približno 75 % celotnega volumna. Med polnjenjem vsebnost meša z mešali. Zaradi spodbujanja bioloških reakcij se lahko prezračuje že med polnjenjem.

V drugi fazi procesa se vrši reakcija. V tej fazi biomasa za rast porablja substrat (organske snovi v vodi) in pri tem se rabi kisik, ki se dovaja s pomočjo aeratorjev. Homogeno sestavo aktivnega blata v suspenziji vzdržujemo z mešanjem s pomočjo posebej vgrajenih mešal. Fazi reakcije sledi usedanje. Med fazo usedanja ni nobene vse aktivnosti, vse miruje (ni mešanja in prezračevanja). Trdni delci se usedajo na dno, na vrhu pa se formira plast očiščene vode.

Sledi faza praznjenja, kjer tekočino (očiščeno vodo) iz vrha bazena dekantiramo (odlijemo očiščeno vodo nad biomaso) v iztok. Kot zadnja nastopi faza mirovanja, v kateri poteka praznjenje nastalega odvečnega blata.

Prednosti SBR reaktorjev je, da v istem bazenu poteka reakcija in usedanje, kar pomeni, da aktivno blato ostaja v reaktorju in zato recirkulacija blata ni potrebna. Med procesom v reaktorju je na začetku koncentracija substrata višja kot pri klasični

čistilni napravi z enakomernim dotokom. Koncentracija substrata med procesom (v odvisnosti od časa) pada, ker se substrat porabi za reakcije biomase. Spremembo koncentracije substrata se lahko izračuna po enačbi 25 na podlagi enakomerne spremembe procesa (McGraw, 2003, str. 722-723):

$$V \frac{dS}{dt} = QS_0 - QS + r_{su}V, \quad (25)$$

Oznake v enačbi 22 pomenijo: V : volumen reaktorja, S_0 : koncentracija substrata v času t ($t_0 = 0$), S : koncentracija substrata v času t , dS/dt : sprememba koncentracije substrata v času. Hitrost porabe substrata r_{su} izračunamo pomočjo enačbe 26, kjer pomeni K_s koncentracijo substrata pri polovici nazivne specifične hitrosti porabe substrata [g/m^3] in μ_m pa je nazivna specifična hitrost rasti biomase [$\text{g VSS}/\text{g VSS} \cdot \text{d}$].

$$r_{su} = -\frac{\mu_m XS}{Y(K_s + S)} \quad (26)$$

Za začetno stanje velja $Q = 0$ (šaržni proces) in od tod sledi enačba 27:

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\mu_m XS}{Y(K_s + S)} \quad (27)$$

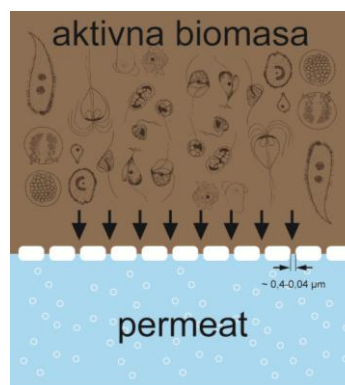
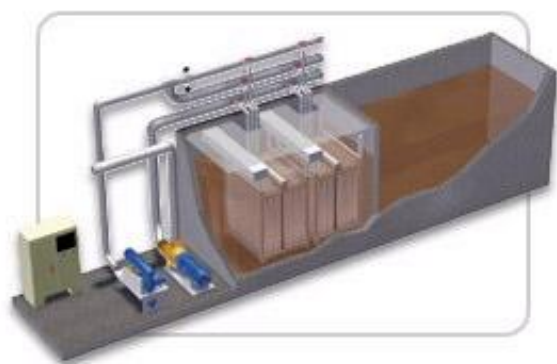
Po integraciji enačbe 27 dobimo enačbo 28, s katero lahko izračunamo čas reakcije, potreben za očiščenje odpadne vode do predvidenih parametrov.

$$K_s \ln \frac{S_0}{S_t} + (S_0 - S_t) = X \left(\frac{\mu_m}{Y} \right) t \quad (28)$$

Koncentracije substrata se postopoma znižuje v odvisnosti od časa biološke reakcije. Znižanje razpoložljivega substrata ima za posledico zmanjšanje potrebe po kisiku. Zaradi tega je smiselno uravnavanje količine kisika v raztopini z ustreznim prilagajanjem sistema za prezračevanje bazenov.

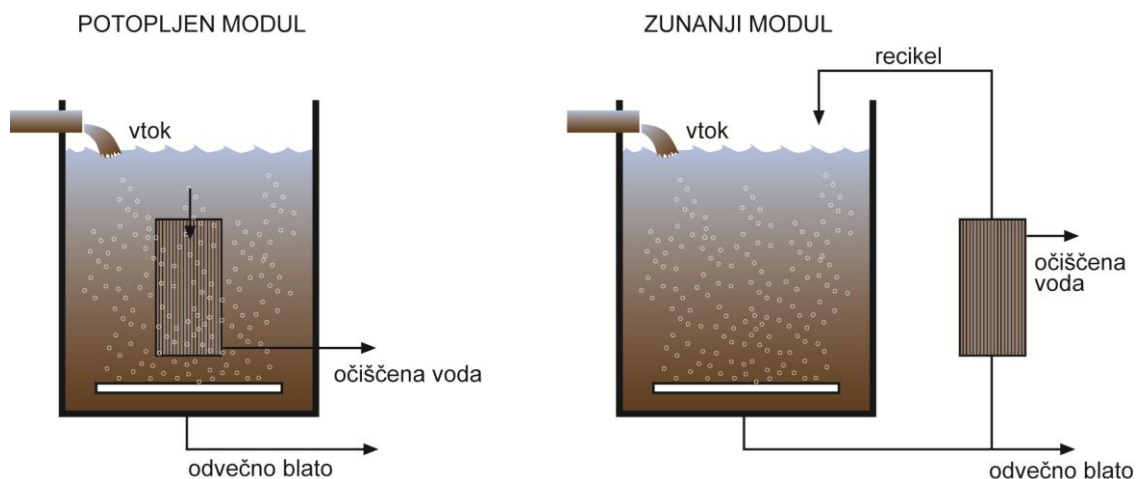
3.3.4 Membranska čistilna naprava

MBR ali čistilne naprave z membranami spadajo v skupino naprav, ki delujejo s suspendiranim aktivnim blatom. Poleg samega biološkega procesa razgradnje uporabljajo še mikroporozne membrane za ločevanje "trdno – tekoče" snovi namesto sekundarnega usedalnika. Tak način čiščenja zelo učinkovito očisti vodo. Za ločevanje očiščene vode od blata se v primeru MBR tehnologije uporabljajo membrane s poroznostjo 0,4 – 0,04 μm . Tako majhne pore predstavljajo fizično pregrado za delce in jim je zaradi tega onemogočeno odtekanje v končni sprejemnik. Rezultat tega je iztok brez suspendiranih snovi ($TSS = 0 \text{ mg/l}$). Izpust iz take čistilne naprave je očiščena voda kopalne kvalitete.



Slika 8 a) Membranski modul (Zenon, 2012), b) Prikaz delovanja membrane

Primer membranskega modula je prikazan na sliki 8a. Iz slike 8b pa je razvidno delovanje, oziroma pretok odpadne vode skozi membrano. Proces delovanja čistilne naprave z membranami je prikazuje slika 9. Na trgu sta se uveljavili dve izvedbi membranskih modulov, in sicer: potopni membranski moduli in zunanje t. i. sidestream modulne enote.



Slika 9: Shematski prikaz membranske čistilne naprave

Klasične in SBR čistilne naprave delujejo pri koncentraciji aktivnega blata približno 4 kg/m^3 . Biološki proces v MBR čistilnih napravah poteka pri višjih koncentracijah blata, od cca 8 do 12 kg/m^3 ali več. Višja koncentracija blata pomeni več mikroorganizmov, ki opravljajo postopek čiščenja odpadne vode, kar posledično pomeni manjši volumen bazena. Torej lahko pri enaki obremenitvi odpadne vode čistimo s pomočjo membran v bistveno manjših bazenih.

Kinetika in masna bilanca je za membransko čistilno napravo enaka kot za klasično. Prednost membranske čistilne naprave je v tem, da ločitev "trdno – tekoče" frakcije ne poteka v usedalniku na gravitacijski način, marveč skozi membrane. Le-to pomeni, da je čistilna naprava manjša in ne potrebuje naknadnega usedalnika. Iztok je zaradi membran vedno dober ne glede na usedalne lastnosti blata. Iz enačbe 23 za masno bilanco, ki velja tudi za membranske čistilne naprave, je razvidno, da pri enakem SRT , Y in k_d , ter z upoštevanjem dejstva, da membranske čistilne naprave lahko obratujejo pri višjih koncentracijah aktivnega blata, potrebujemo za enako maso obdelave odpadne vode manjši volumen; ($\tau=V/Q$), (Van Handel in Van der Lube, 2007).

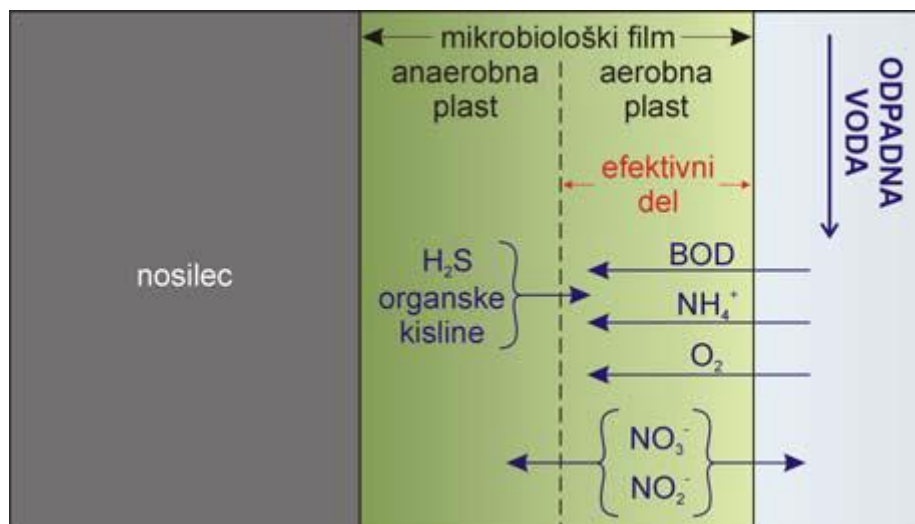
3.4 Procesi s pritrjeno biomaso

Procesi s pritrjeno biomaso izkoriščajo nosilce, na katere so mikroorganizmi pritrjeni. Za nosilce lahko uporabimo: kamenje, keramiko, plastične dele in drugo. Proces lahko obratuje tako pri aerobnih kot pri anaerobnih pogojih. Nosilci so lahko v celoti ali le deloma potopljeni.

Na nosilcih se tvori biofilm, ki nastaja nekoliko drugače kot kosmi v aktivnem blatu. Vsak mikroporozen predmet v tekočini ima lastnost adsorpcije mikro in makromolekul (lipidi, proteini, ogljikovi hidrati in organske soli) na svojo površino. Visoka koncentracija substrata je privlačna za različne mikroorganizme, ki se oprijemajo površine nosilca (slika 11), ter s produkcijo polisaharidov in poliolglikovodikov ustvarjajo pritrjeno biomaso (biofilm). Na površju se najprej naselijo mikroorganizmi, ki so najbolj prilagojeni specifičnim pogojem odpadne vode. Kinetika presnove hraniv v odpadni vodi je zato v nadaljevanju odvisna predvsem od sestave biomase.

Hitrost rasti mikroorganizmov in poraba substrata, opisana za suspendirano biomaso, v procesih s pritrjeno biomaso ne velja. Tu se substrat porablja znotraj biofilma, medtem ko se v procesih s suspendirano biomaso upošteva koncentracijo substrata v reaktorju. Odvisno od pogojev rasti mikroorganizmov in hidrodinamike sistema je lahko biofilm velik od 100 μm pa do 10 mm. Med biofilmom in glavnim tokom vode je tanek tekočinski film. Kisik, substrat in nutrienti pronicajo skozi tekočinski film do biofilma, produkti biorazgradnje pa preko tekočinskega filma v glavnino toka (slika 10). Koncentracija substrata pada z razdaljo v notranjost biofilma. Proces je difuzijsko omejen.

Substrat pronica skozi površine tekočinskega filma do biofilma. Hitrost masnega prenosa je definirana kot fluks (masa substrata na površino filma na dan). Biomasa je lahko zelo gosta v biofilmu (4 do 10 g/l).



Slika 10: Shematski prikaz prenosa snovi v biofilmu (Anžič, 2002)

Fluks substrata skozi tekočinski film do biofilma je funkcija difuzijskega koeficienta substrata in njegove koncentracije.

$$r_{sf} = -D_w \frac{dS}{dx} = -D_w \frac{(S_b - S_s)}{L} \quad (29)$$

Oznake v enačbi 29 pomenijo: r_{sf} : fluks substrata v tekočinskem filmu, D_w : difuzijski koeficient substrata v vodi [m^2/d], dS/dx : koncentracijski gradient substrata, S_b : koncentracija substrata v glavnem toku, S_s : koncentracija substrata na površini biofilma, L : dolžina tekočinskega filma. Negativni predznak pomeni padajočo koncentracijo substrata vzdolž tekočinskega filma. Debelina tekočinskega filma je odvisna od hitrosti pretoka glavnega toka. Višji je tok, tanjši je film. Prenos snovi v notranjost biofilma opisuje Fickov zakon za difuzijo po enačbi 30:

$$r_{bf} = -D_e \frac{\partial S_f}{\partial x} \quad (30)$$

Simboli v enačbi 30 pomenijo: r_{bf} : fluks substrata v biofilmu, D_e : difuzijski koeficient v biofilmu in $\partial S_f/\partial x$: koncentracijski gradient substrata. Poraba substrata je definirana po enačbi 31, kjer S_f pomeni koncentracijo substrata na določenem mestu znotraj biofilma.

$$r_{su} = -\frac{kS_f X}{K_s + S_f} \quad (31)$$

Masna bilanca in stacionarno stanje je s simboli definirana oziroma opisana z enačbo 32, kjer pomenita: A_s : površina biofilma in ΔX : širina diferencialne sekcije.

$$0 = -D_e A_s \left. \frac{dS_f}{dx} \right|_x + D_e A_s \left. \frac{dS_f}{dx} \right|_{x+\Delta x} - \Delta x A_s \left(\frac{kS_f X}{K_s + S_f} \right) \quad (32)$$

Če obe strani delimo z A_s in dx , ter predpostavimo, da ΔX limitira proti nič, dobimo enačbo 33, ki določa spremembo koncentracije substrata v biofilmu (Rittman, 1980).

$$D_e \frac{d^2 S_f}{dx^2} - \left(\frac{kS_f X}{K_s + S_f} \right) = 0 \quad (33)$$

Rešitev enačbe 33 je pogojena z dvema robnima pogojema:

1. Fluks substrata do biofilma je enak fluksu substrata znotraj filma.
2. Fluks substrata na površini nosilca je enak 0.

Rešitev enačbe je torej odvisna od debeline biofilma. Proces s pritrjeno biomaso so uporabljeni na različne načine. V grobem poznamo:

- čistilno napravo MBBR (angl. Moving Bed Biofilm Reactor - MBBR) s pritrjeno biomaso na gibljivem nosilcu
- čistilno napravo z rotirajočimi nosilci (biodisk)
- čistilno napravo s fiksnimi nosilci; precejalniki

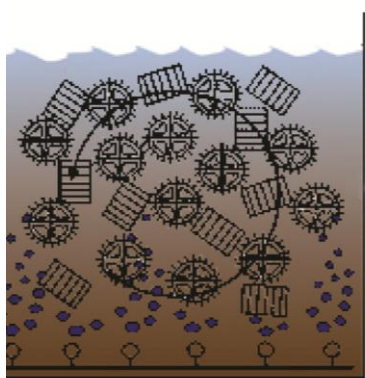
3.4.1 Čistilna naprava MBBR

MBBR čistilne naprave so bile razvite za specifične nordijske razmere, kjer je zaradi nizke temperature potrebna višja koncentracija raztopljenega kisika v odpadni vodi. Podjetje Kaldnes Miljøteknologi AS (KMT) je razvilo učinkovit način pritrjene biomase, priraščene na mobilne polietilenske nosilce z manjšo gostoto kot voda. Ti nosilci se lahko prosto gibljejo v reaktorju.

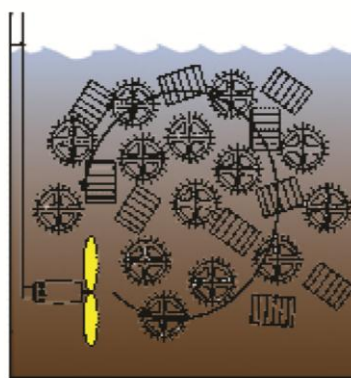
Želeli so uporabiti dobre lastnosti sistemov s suspendirano biomaso (aktivnim blatom) in s pritrjeno biomaso (biofiltri), ter se pri tem izogniti negativnim lastnostim klasičnega sistema, omejeno sposobnega enkratnih visokih obremenitev, ali velikih izgub biomase zaradi hidravličnih udarov.

Podobno kot sistem z aktivnim blatom tudi gibljivi sloj uporablja celoten volumen bazena, vendar le-ta zadržuje večji del biomase, pritrjene na nosilcih, ki lebdijo v reaktorju. V klasičnem reaktorju moramo del biomase vračati iz naknadnega usedalnika, kar pa ne velja za sistem s pritrjeno biomaso. V tem sistemu se odluščen sloj biomase izloči kot presežno blato.

Nosilci so izdelani iz polietilena (gostota je $0,95 \text{ g/cm}^3$) cilindrične oblike, višine 9 mm, z veliko površino v notranjosti in premera 10 mm. Danes je na trgu veliko število različnih nosilcev, raznih velikosti in specifičnih površin. MBBR sistem predvideva napolnjenost bazena z nosilci do 67 % celotnega volumna, kar ustreza specifični uporabni površini za rast mikroorganizmov pribl. $350 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Glede na potrebe, način čiščenja in obliko bazena lahko uporabljamo različne polnitve bazenov (slika 11). Povprečna koncentracija biomase v procesu odstranjevanja ogljikovih snovi znaša 3 do 4 kg/m^3 , kar je primerljivo s sistemom z razpršeno biomaso. Razlika je v tvorbi na nosilcih bolj »specializirane« biomase, kar je razvidno iz količine odstranjenih hraniv na volumen bazena. Ta je praviloma veliko večja kot pri razpršeni biomasi (McGraw, 2003, str. 952-964).



aerobni reaktor



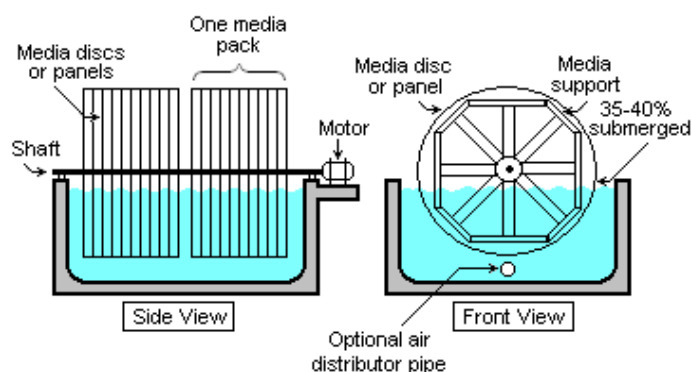
anoksični reaktor

Slika 11: a) MBBR aerobni reaktor in b) MBBR anoksični reaktor

3.4.2 Čistilna naprava z rotirajočimi kontaktorji

Čistilna naprava z rotirajočimi kontaktorji (angl. rotating biological contactor - RBC) je sestavljena iz serije okroglih zelo tesno skupaj nameščenih diskov, ki so deloma potopljeni v vodi. Diski so pripeti na horizontalno nosilno gred. Premer diskov je od 1,8 do 3,7 m. Standardna površina diskov znaša okrog 9300 m², obstajajo pa tudi diski s površino do 13900 m². RBC enota je običajno deloma potopljena (do 40 %) v odpadno vodo (slika 12). Diski se počasi vrtijo s hitrostjo med 1,0 in 1,6 vrt./min. V bazen ni treba posebej dovajati zraka. Potreben kisik dobijo diski v stiku z zunanjim zrakom. Tudi ta tip čistilnih naprav potrebuje predhodno čiščenje z grobimi in finimi grabljami. Za uspešno ločevanje očiščene vode je potreben tudi sekundarni usedalnik.

V večini primerov poganja diske električni motor, obstajajo pa tudi različice, kjer se z vpihovanjem zraka povzroča vrtenje diskov. Na podlagi prenosa snovi in kinetike biologije so za doseganje višje specifične hitrosti odstranjevanja substrata in posledično boljšega učinka čiščenja potrebne visoke koncentracije substrata toku odpadne vode. To se lahko doseže s postavitvijo z biodiskov po stopnjah. Število stopenj je odvisno od: hidravlične obremenitve, organske obremenitve, potrebe po nitrifikaciji posebnem čiščenju itd.. RBC so načrtovani za organske obremenitve od 0,05 do 0,08 kgBPK/m³d ter za hidravlične obremenitve od 40 do 240 l/m².



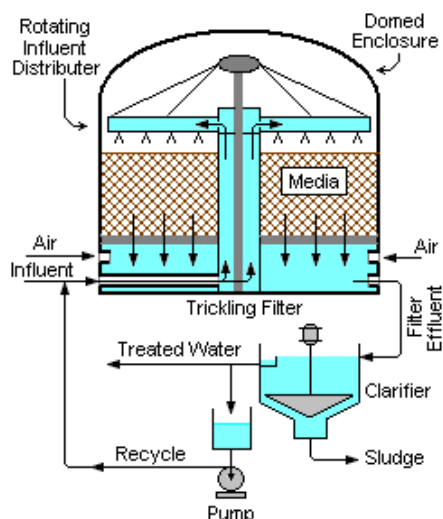
Slika 12: Shematski prikaz rotirajočih biodiskov (RBC, 2012)

Model za določanje koncentracije biomase na posamezni stopnji opisuje enačba 34 (McGraw, 2003, str. 937) . Določena je bila empirično na osnovi modela devet stopenjske čistilne naprave, kjer pomeni: S_n : koncentracija BPK (raztopljen BPK) na stopnji n , A_s : površina diska na stopnji n in Q : pretok odpadne vode.

$$S_n = \frac{-1 + \sqrt{1 + 4 \cdot 0,00974(A_s/Q)S_{n-1}}}{2 \cdot 0,00974(A_s/Q)} \quad (34)$$

3.4.3 Čistilna naprava s fiksnimi nosilci

Čistilna naprava s fiksnimi nosilci (zunanji ali potopljeni) je sestavljena iz treh delov: nosilca, biofilma in tekočine. Odpadna voda se pretaka mimo biofilma, kjer organske snovi s pomočjo mikroorganizmov oksidirajo. Zadostno koncentracijo kisika vzdržujemo s pomočjo puhal. Dotok odpadne vode na pritrjene nosilce je lahko s spodnje ali zgornje strani, kot je razvidno s slike 13. Učinkovitost čiščenja je odvisna od velikosti in tipa nosilcev. Prednost take čistilne naprave je majhna poraba prostora in učinkovito čiščenje razredčenih odpadnih vod. Slabosti so: visoki investicijski stroški in težavno upravljanje zaradi kompleksnosti sistema.



Slika 13: Proces čiščenja s fiksnimi nosilci (Trickling filter, 2012)

3.5 Prirast biomase in ravnanje z blatom

Blato iz čistilne naprave je odpadke, ki nastane po čiščenju odpadne vode v čistilnih napravah ali ostaja kot blato ob praznjenju greznic za odpadno vodo iz gospodinjstev. Vsebuje 40 do 50 % organskih snovi in pri razkrajanju vpliva na količino toplogrednih plinov. Mnenja strokovnjakov glede predelave in nadaljnje uporabe blat iz čistilnih naprav so različna. Pri načrtovanju sistema čiščenja odpadne vode je zaradi vzdrževanja ustrezne količine aktivne biomase zelo pomembno primerno odstranjevanje blata, ki nastaja v procesu. Pri prepočasnem odstranjevanju se bo le-to kopičilo v procesu in izplavljalo v iztok, kar je okoljsko nesprejemljivo. Običajno si pri načrtovanju strokovnjaki pomagajo z izkušnjami, pridobljenimi na že delujočih podobnih čistilnih napravah (Poročilo, 2002).

Organsko obremenitev odpadne vode merimo s KPK. Kemijska oksidacija načeloma razgradi vse organske snovi (razgradljive in nerazgradljive). Zaradi majhnega prirasta lahko vsebnost avtotrofnih mikroorganizmov zanemarimo in predpostavimo, da sestavljajo aktivno blato v večini le heterotrofni mikroorganizmi. Običajno se upošteva, da se 60 do 70 % razgradljivega KPK spremeni v novo celično maso. Razpad celic tvori biorazgradljive snovi in nerazgradljivo snov, ki se v sistemu hidrolizira in spremeni v biorazgradljivo raztopljeno snov. Nerazgradljiva snov navadno predstavlja 8 do 20 % razpadlih substanc. Okvirno oceno prirastka blata se lahko določi po enačbi 35.

$$P_{X,VSS} = \left[\frac{QY(S_0 - S)}{1 + k_d SRT} + \frac{f_d k_d QY(S_0 - S)SRT}{1 + k_d SRT} + \frac{QY_n(NO_x)}{1 + k_{dn} SRT} + Q(nbVSS) \right] \cdot \left(\frac{1 \text{ kg}}{10^3 \text{ g}} \right) \quad (35)$$

V enačbi 35 pomenijo simboli: f_d : frakcija mase celice, ki ni razpadla (g/g), Y_n : koeficient prirastka bakterij, potrebnih za nitrifikacijo (nitrifikatorji), NO_x : koncentracija dušikovih spojin, k_{dn} : koeficient endogenega razpada nitrifikatorjev in $nbVSS$: (angl. non biodegradable volatile suspended solids) koncentracija nerazgradljive organske suspendirane snovi.

Celotna masa suspendiranih delcev je definirana kot (TSS) in ni sestavljena le iz organske snovi VSS , marveč vsebuje še anorganske delce. Enačbo 35 je zato treba

dopolniti še z anorgansko suspendirano snovjo, saj ta predstavlja v napravah približno od 10 do 20 % celotne mase suspendiranih delcev. Z upoštevanjem anorganske komponente dobimo izraz 36, kjer je TSS_0 koncentracija vseh suspendiranih delcev na vtoku, VSS_0 pa koncentracija VSS na vtoku (McGraw, 2003, str. 681 - 683).

$$P_{x,TSS} = \frac{A}{0,85} + \frac{B}{0,85} + \frac{C}{0,85} + D + Q(TSS_0 - VSS_0) \quad (36)$$

Posamične črke so definirane v enačbah 37, 38, 39 in 40, ter pomenijo:

$$A = \frac{QY(S_0 - S)}{1 + k_d SRT} \quad (\text{prirastek zaradi rasti heterotrofnih mikroorganizmov}) \quad (37)$$

$$B = \frac{f_d k_d QY(S_0 - S)SRT}{1 + k_d SRT} \quad (\text{razpad celic}) \quad (38)$$

$$C = \frac{QY_n(NO_x)}{1 + k_{dn} SRT} \quad (\text{prirastek zaradi rasti nitrifikatorjev}) \quad (39)$$

$$D = Q(nbVSS) \quad (\text{nerazgradljivi del VSS na vtoku}) \quad (40)$$

Sestava odvečnega blata je odvisna od načina in vrste obdelave komunalne odpadne vode. Skladno z dokumentom Disposal and Recycling Routes for Sewage Sludge 2001 (European Communities, 2001) , ločimo štiri tipe blata:

- primarno blato (primarno čiščenje; visoka organska obremenitev) - A
- blato iz bioreaktorja (nizka organska obremenitev) - B1
- blato iz naknadnega usedalnika ali bistrilnika (nizka ali srednja organska obremenitev) - B2
- mešano blato (A in B2) - C
- blato po anaerobni razgradnji - D

Po istem dokumentu je prirejena tudi tabela 6 kjer je prikazana sestava blata, izražena v vsebovanih odstotkih kovin, maščob in drugih komponent v organski in celotni suhi snovi.

Tabela 6 : Sestava blata po različnih stopnjah obdelave (European Communities, 2001)

		A	B1	B2	C	D
SUHA SNOV (DM)	g/l	12	9	7	10	30
ORGANSKA SNOV (VM)	% DM	65	67	77	72	50
pH	% VM	6	7	7	6,5	7
C	% VM	51,5	52,5	53	51	49
H	% VM	7	6	6,7	7,4	7,7
O	% VM	35,5	33	33	33	35
N	% VM	4,5	7,5	6,3	7,1	6,2
S	% VM	1,5	1	1	1,5	2,1
C/N		11,4	7	8,7	7,2	7,9
P	% DM	2	2	2	2	2
Cl	% DM	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
K	% DM	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Al	% DM	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Ca	% DM	10	10	10	10	10
Fe	% DM	2	2	2	2	2
Mg	% DM	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
MAŠČOBE	% DM	18	8	10	14	10
PROTEINI	% DM	24	36	34	30	18
VLAKNA	% DM	16	7	10	13	10
KALORIČNA VREDNOST	kWh/t DM	4200	4100	4800	4600	3000

4 PRIMERJAVA TREH TEHNOLOGIJ ČISTILNIH NAPRAV

4.1 Osnovni podatki o primerjanih čistilnih napravah

Na trgu obstaja veliko različnih tehnologij čiščenja odpadne vode. V nalogi smo se osredotočili na tehnologije čistilnih naprav, ki so primerne in najbolj razširjene za velikosti približno 50.000 PE. Ocena investicije in stroškov je izdelana za tri različne tehnologije: konvencionalna ali klasična (aktivno blato), SBR in MBR. Primerjane čistilne naprave so projektirane na osnovi sledečih hidravličnih obremenitev na dotoku v čistilno napravo:

- povprečni dnevni sušni pretok brez tuje vode: $Q_{w24} = 108.93$ l/s
- povprečni dnevni sušni pretok s tujo vodo: $Q_{dw24} = 164.42$ l/s
- maksimalni urni sušni pretok: $Q_{dwx} = 305.91$ l/s
- maksimalni dotok (ob dežju): $Q_{CW} = 2Q_{px} + Q_{iw24} = 535.98$ l/s

Za dimenzioniranje vseh variant so bili uporabljeni podatki iz spodaj prikazane tabele 7. Obravnavane čistilne naprave so dimenzionirane na podlagi največjega povprečnega tedenskega pretoka odpadne vode. Za določanje hidravlične in biološke obremenitve čistilne naprave se pri nas običajno uporablja nemške standarde oziroma smernice (ATV-A128, ATV-A118, ATV-A123, ATV-A126, ATV-A106, ATV-DVWK-A131 in ATV-DVWK-A198) (Uršič, 2011). Obremenitev je izražena v PE (populacijski ekvivalent); 1 PE je definiran kot poraba vode 150 l/dan, 60 g BPK₅/dan, 120 g KPK/dan, 2,5 gP/dan, 14 gN/dan(NH₄⁺) in 70 gSS/dan. Vse primerjane tehnologije morajo zagotoviti:

- redukcijo BPK in KPK
- nitrifikacijo
- denitrifikacijo
- kemično in biološko izločanje fosforja
- aerobno stabilizacijo blata
- dezinfekcijo
- blato, posušeno na > 90 % SS

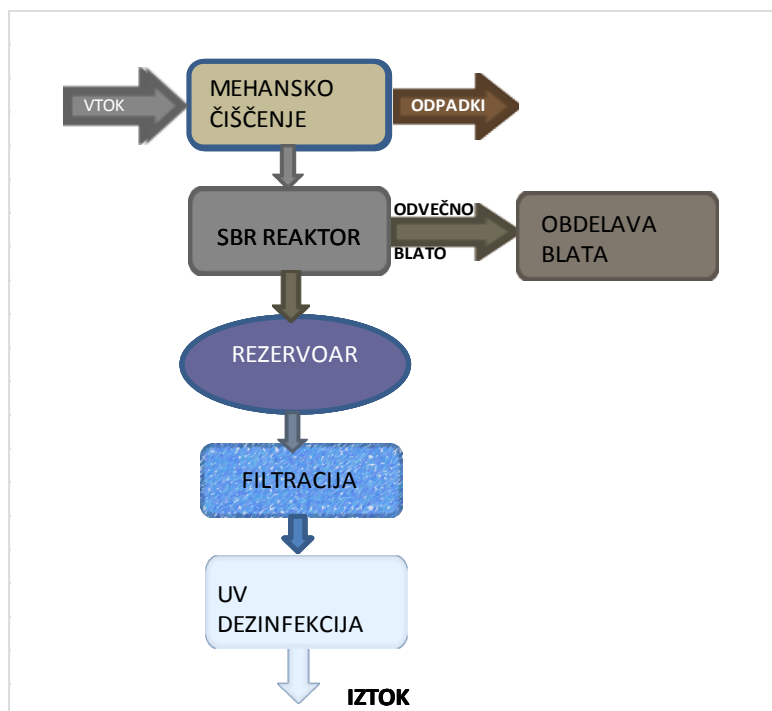
Tabela 7: Projektni parametri za dimenzioniranje čistilne naprave 50500 PE

OBREMENITEV ČISTILNE NAPRAVE	
Hidravlična obremenitev	
Povprečni dnevni pretok tuje vode Q_{iw24}	55.50 l/s
Povprečni dnevni sušni pretok brez tuje vode Q_{w24}	108.93 l/s
Povprečni dnevni sušni pretok s tujo vodo Q_{dw24}	164.42 l/s
Maksimalni urni sušni pretok brez tuje vode Q_{px}	250.42 l/s
Maksimalni urni sušni pretok s tujo vodo Q_{dwx}	305.91 l/s
Maksimalni dotok (ob dežju) na CČN znaša: Q_{cw}	535.98 l/s
Biološka obremenitev	
KPK [kg/dan]	6060,00
BPK ₅ [kg/dan]	3030,00
P _{tot} [kg P/dan]	126,25
N [kg NH ₄ /dan]	707,00
TSS [kg/dan]	3535,00
Obremenitev v PE:	50 500

Zaradi jasne opredelitve vsebine so ocenjene tehnologije čiščenja komunalne odpadne vode prikazane s pomočjo blokovnih diagramov na slikah 14, 15 in 16. Diagrami so pomembni za razlago, lažjo primerjavo posameznih procesov in ugotavljanje razlik med njimi.

V SBR tehnologiji čiščenja odpadne vode (slika 14) poteka postopek čiščenja saržno ali ciklično. Iztok iz naprave ni konstanten, zato je treba na iztoku iz SBR reaktorja dodati še akumulacijski bazen biološko očiščene vode. Le-ta akumulira in zagotavlja enakomerni dotok vode v proces filtracije in dezinfekcije. Tako velika čistilna naprava mora biti predvidena, da biološko očiščena voda priteče gravitacijsko na filtre in ultra vijolično (UV) dezinfekcijsko ali kemično enoto. V prvem primeru je treba zagotoviti, da so žarnice nenehno v vodi, v drugem pa, da se doseže potreben kontaktni čas med kemikalijo in očiščeno vodo.

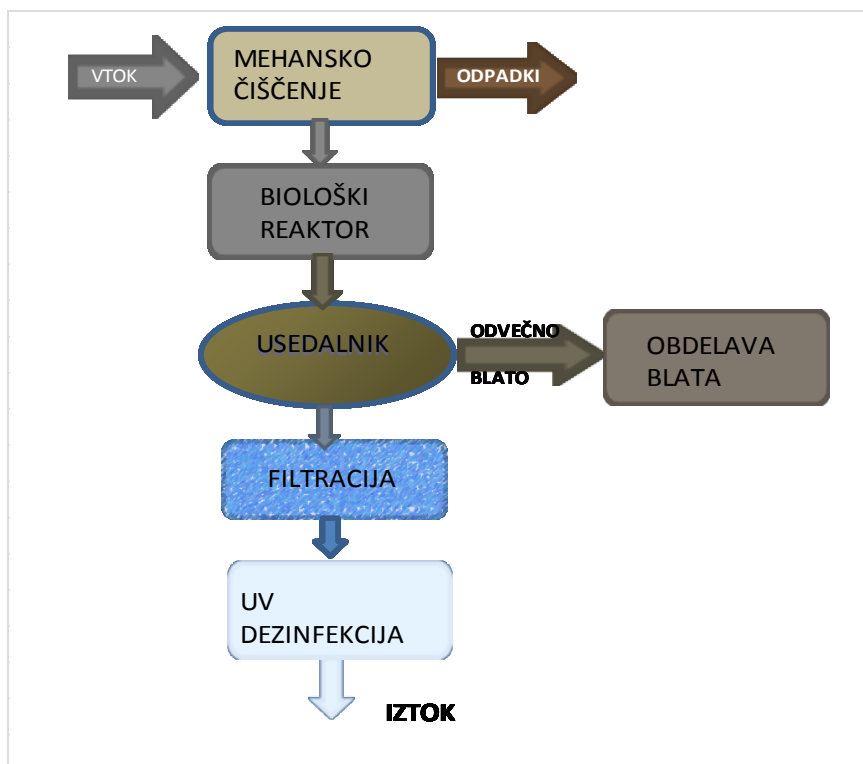
Klasična čistilna naprava, prikazana na sliki 15, in čistilne naprave SBR delujejo pri koncentraciji blata pribl. 4 kg/m^3 , medtem ko MBR čistilne naprave delujejo pri višjih koncentracijah blata, pribl. 8 kg/m^3 ali več. Višja koncentracija blata pomeni več mikroorganizmov, ki izvajajo postopek čiščenja odpadne vode. To pomeni, da za doseganje enakega učinka čiščenja odpadne vode potrebujemo manjši volumen bazena, saj imamo v njem višjo koncentracijo blata. Torej za isto obremenitev odpadne vode z MBR-tehnologijo čistimo v bistveno manjših bazenih.



Slika 14: Blok shema čistilne naprave SBR

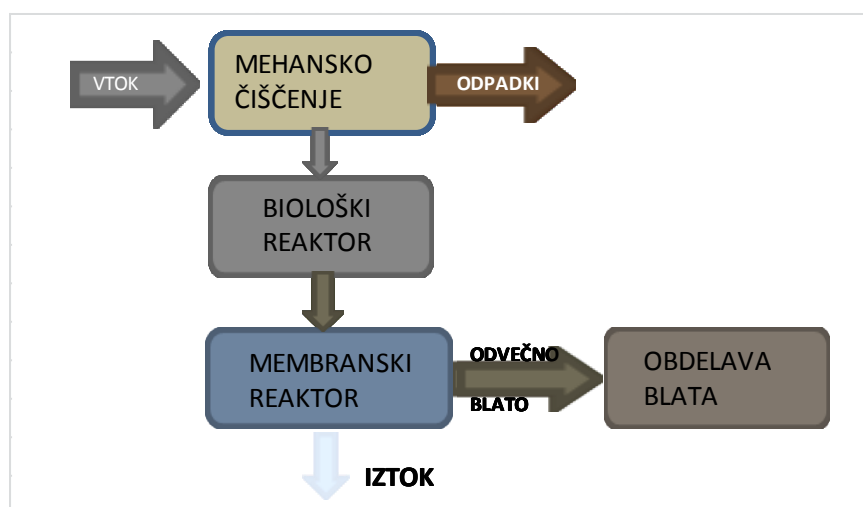
Glavna značilnost, po kateri se MBR tehnologija (slika 16) razlikuje od ostalih dveh, je volumen bazenov, potreben za biološki proces čiščenja odpadne vode. Membranske čistilne naprave obratujejo s tako visoko koncentracijo aktivnega blata v bioloških bazenih zaradi fizične meje med tekočo in trdno fazo. Ta meja je membrana, ki prepušča le vodo, vse suspendirane snovi, večje od velikosti pore membrane, pa se zadržijo v notranjosti bazena. Če bi hoteli ločiti blato od očiščene vode, bi pri taki koncentraciji v konvencionalnih sistemih potrebovali nerazumno velike usedalnike. Blato se pri takih koncentracijah ne združuje več v velike kosme in ločuje od vode.

Za doseganje visoke kvalitete izpusta (enakovrednega MBR) iz čistilne naprave je v primeru klasične in SBR tehnologije treba dodati še eno stopnjo obdelave odpadne vode, to je filtracija in UV dezinfekcija. Filtracijo se običajno izvede s peščenimi filtri, za učinkovito UV dezinfekcijo pa mora biti biološko obdelana voda bistra, da je omogočeno delovanje UV žarkov na mikroorganizme. Največja dovoljena koncentracija suspendiranih snovi ne sme presegati 30 mg/l. V kolikor se ne doseže dovolj visoke prosojnosti (trasmitanca), žarki ne morejo delovati na mikroorganizme in posledično preide v okolje previsoko število mikroorganizmov.



Slika 15: Blok shema klasične čistilne naprave

Primerjalno z ostalima dvema omogoča MBR tehnologija visoko stopnjo čiščenja odpadne vode in zagotavlja neprimerno večjo stalnost parametrov očiščene vode na iztoku. Poleg ostalih delcev izločamo s pomočjo ultrafiltracije iz vode tudi bakterije in viruse.



Slika 16: Blok shema čistilne naprave MBR

Iz opisov delovanja in pregledu obstoječih delujočih naprav je razvidno, da potrebuje vsaka tehnološka rešitev različno velikost prostora za postavitev objektov in opreme namenjene čiščenju odpadne vode. Za primerjane tehnologije smo ocenili učinkovite površine, potrebne za posamično tehnologijo. Te površine ne vključujejo komunikacijskih poti in spremljajočih tehnoloških objektov. Iz tabele 8 je razvidno, da za postavitev klasične čistilne naprave potrebujemo približno 5500 m², za MBR pa le dobrih 35 % neto površine bazenov.

Tabela 8: Ocena potrebne neto površine bazenov za posamično tehnologijo

Deli čistilne naprave	Footprint bazenov		
	MBR	Klasična	SBR
biološka faza (denitrifikacija; oksidacija; odstranjevanje fosforja)	1.500 m ²	2.800 m ²	4.000 m ²
ultrafiltracija	400 m ²		
usedalnik		2000 m ²	
filtracija		500 m ²	500 m ²
dezinfekcija		200 m ²	200 m ²
skupaj	1.900 m ²	5.500 m ²	4.700 m ²

4.2 Ocena investicijskih in obratovalnih stroškov

4.2.1 Investicijski stroški

Za vsako primerjano tehnologijo smo glede na tehnološke zahteve, posebej izdelali oceno investicije. Ocenjena vrednost vsake naprave je rezultat pridobljenih informativnih ponudb posamičnih tehnoloških sklopov in opreme. Investicijske vrednosti so prikazane v tabeli 9. Vse tri naprave morajo biti pred mehansko stopnjo opremljene z enako velikim zadrževalnim bazenom (900 m³). Iz tabele 9 je še razvidno, da je poleg enakega stroška izgradnje zadrževalnega bazena za vse tri naprave, enak še strošek sklopa naprav za dehidracijo in sušenje blata.

Vsaka čistilna naprava je zaradi različne hidravlične, biološke, okoljske in drugih zahtev unikatna, ter težko primerljiva s podobno v sosednjem mestu ali državi. Pri ocenjevanju vrednosti opreme za membransko čistilno napravo je bila upoštevana relativno visoka cena membran.

Tabela 9: Investicijske vrednosti po posameznih tehnologijah

OPIS DEL	OCENA STROŠKOV V EUR		
	MBR	KLASIČNA	SBR
ČRPALIŠČE, AKUMULACIJA, ZADRŽEVANJE METEORNIH VOD, MEHANSKO ČIŠČENJE			
gradbena dela	550.000	550.000	550.000
strojna oprema in inštalacije	690.000	690.000	690.000
električne inštalacije in oprema	130.000	130.000	130.000
SKUPAJ	1.370.000	1.370.000	1.370.000
GRADBENA DELA IN ZUNANJA UREDITEV, POVEZOVALNE INŠTALACIJE; BIOLOŠKA FAZA: anaerobna + anoksična + oksidacijaska + RECIRKULACIJA (nitratov in blata)			
gradbena dela	1.170.000	3.320.000	3.742.000
strojna oprema in inštalacije	2.590.000	2.590.000	2.590.000
odstranjevanje vonjav	520.000	520.000	520.000
električne inštalacije oprema	250.000	250.000	250.000
SKUPAJ	4.530.000	6.680.000	7.102.000
MBR-DEL			
gradbena dela	480.000	-	-
strojna oprema in inštalacije	3.700.000	-	-
električne inštalacije in oprema	250.000	-	-
SKUPAJ	4.430.000	-	-
USEDALNIK			
gradbena dela	-	670.000	-
strojna oprema in inštalacije	-	280.000	-
električne inštalacije in oprema	-	40.000	-
SKUPAJ	-	990.000	-
AKUMULACIJA OČIŠČENE VODE			
gradbena dela	-	-	450.000
strojna oprema in inštalacije	-	-	50.000
električne inštalacije in oprema	-	-	20.000
SKUPAJ	-	-	520.000
FILTRACIJA			
gradbena dela	-	210.000	210.000
strojna oprema in inštalacije	-	1.200.000	1.200.000
električne inštalacije in oprema	-	60.000	60.000
SKUPAJ	-	1.470.000	1.470.000

UV-DEZINFEKCIJA			
gradbena dela	-	50.000	50.000
strojna oprema in inštalacije	-	350.000	350.000
električne inštalacije in oprema	-	30.000	30.000
SKUPAJ	-	430.000	430.000
ZGOŠČEVANJE BLATA/DEHIDRACIJA/SUŠENJE			
gradbena dela	600.000	600.000	600.000
strojna oprema in inštalacije	2.600.000	2.600.000	2.600.000
električne inštalacije in oprema	600.000	600.000	600.000
SKUPAJ	3.800.000	3.800.000	3.800.000
REKAPITULACIJA			
gradbena dela	2.800.000	5.400.000	5.602.000
strojne inštalacije in oprema	10.100.000	8.230.000	8.000.000
električne inštalacije in oprema	1.230.000	1.110.000	1.090.000
SKUPAJ	14.130.000	14.740.000	14.692.000

Na podlagi zadnjih dognanj in izkušenj z najnovejšimi membranami je mogoče površino membran zmanjšati. Investicijski stroški bi se lahko v primeru znižanja površine membran za četrtno, kar je realno pričakovati, zmanjšali še za pribl. 1.000.000 eur.

Groba primerjava ocenjenih vrednosti primerjanih čistilnih naprav z v literaturi pridobljenimi podatki (Brepols, 2011), kjer avtor natančno popisuje že delujoče MBR čistilne naprave nam pokaže, da smo investicijsko vrednost membranske čistilne naprave v primerjavi z drugima dvema ocenili precej konzervativno, predvsem na škodo prve. To potrjujejo tudi podatki iz tabele 10.

Tabela 10 prikazuje investicijsko vrednost za MBR čistilno napravo Glessen v Nemčiji, postavljeno leta 2006, kapacitete 9000 PE. Avtor je na osnovi pogodbenih cen zgrajene membranske čistilne naprave ocenil vrednost klasične in ugotovil, da bi bila postavitve klasične naprave dražja za 1.722.500,00 eur. Razlika med primerjanimi čistilnimi napravami bi morala biti po tem vzorcu bistveno višja. V našem primeru je manjša razlika posledica velike hidravlične obremenitve primerjanih naprav.

Tabela 10: Investicijske vrednosti MBR in klasične čistilne naprave Glessen (Brepols, 2011, str. 10)

OPIS DEL, OPREME	KLASIČNA	MBR
gradbena dela	4.960.097,00 €	2.248.507,00 €
mehanska oprema	2.152.614,00 €	2.500.029,00 €
elektro oprema	711.789,00 €	795.464,00 €
membrane	-	558.000,00 €
SKUPAJ INVESTICIJA	7.824.500,00 €	6.102.000,00 €

4.2.2 Stroški obratovanja

Letni stroški obratovanja za posamezno tehnologijo so prikazani v tabeli 13. Največji del stroškov pomeni poraba električne energije za vpihovanje oziroma aeracijo. Pri MBR tehnologiji se pojavi še dodaten strošek električne energije, povezan z delovanjem membran. Predpostavili smo, da so stroški za vzdrževanje dela naprave za dehidracijo blata in mehansko čiščenje enaki za vse tri naprave. Posebej smo izračunali in ocenili stroške ravnanja z odvečnim blatom (tabela 12) zaradi različne produkcije blata in vse bolj zaostrenimi predpisi v zvezi z odlaganjem.

Tehnološki postopki čiščenja oziroma bioreakcije se med seboj razlikujejo tudi po produkciji blata in stopnji razgradnje organske komponente v substratu. Produkcija odvečnega blata ni zanemarljiva, saj postaja obdelava in končna dispozicija vse dražja in okoljsko zahtevna. Produkcija blata je za posamezno tehnologijo razvidna iz tabele 11. Izračunana je po enačbah 35 in 36, kjer pomeni: $P_{x,vss}$ (prirastek blata zaradi organskih snovi) in $P_{x,TSS}$ (celoten prirast blata oziroma suhe snovi za posamezen proces). Poudariti je potrebno, da je koeficient Y (koeficient prirasta biomase zaradi endogene respiracije) določen na osnovi ocen iz različne literature. Predpostavili smo razmerje $VSS/TSS = 0,8$ in s pomočjo podatkov iz tabele 6 izračunali količino inertne snovi v dotoku $Q(TSS0-VSS0) = 505$ kg.

Tabela 11: Izračun produkcije blata

	Y [kgVSS/kg BOD]	$Q(S_0-S)$ [kgBOD/d]	kd [kgVSS/kgVSSd]	SRT[d]	f_d	$P_{x,vss}$ [kg/d]	$P_{x,TSS}$ [kg/d]
MBR	0,4	3030	0,07	25	0,12	1240	1964
CAS	0,63	3030	0,07	12	0,12	1849	2680
SBR	0,67	3030	0,07	12	0,12	1922	2766

Dolžina zadrževalnega časa aktivnega blata *SRT* znaša za čiščenje komunalnih voda pri klasičnih napravah z aktivnim blatom 5 do 15 dni, kar pomeni *F/M* razmerje 0,2 – 0,4 kg KPK/kg aktivnega blata/dan, v primeru uporabe membranske tehnologije pa do 25 dni. Najnižji zadrževalni čas blata, kjer se lahko razvije nitrifikacija in denitrifikacija, je 12 dni. Zaradi tega smo za klasično in SBR tehnologijo uporabili enak *SRT*. Z naraščanjem *SRT* se povečuje tudi koncentracija biomase (MLSS) v bioreaktorju. Pri klasičnih napravah z aktivnim blatom znaša MLSS \approx 2,5 g/l; čistilna naprava MBR pa lahko obratuje z vrednostjo MLSS 12 g/l in več.

Z upoštevanjem prej opisane in ocenjene vrednosti lahko iz tabele 11 razberemo, da je produkcija blata najnižja pri čistilni napravi MBR in primerljiva z MBBR, najvišja pa pri SBR reaktorjih.

Tabela 12 posebej prikazuje stroške porabe električne energije, ki so nastali pri dehidraciji, stroške plina zaradi sušenja, prevozne stroške in stroške sežiga v pooblašeni sežigalnici.

Tabela 12: Stroški ravnanja z blatom

	<i>Suha snov Px, TSS[kg/d]</i>	<i>Odvišno blato 20% DS [m³/leto]</i>	<i>Električna energija [€/leto]</i>	<i>Plin [€/leto]</i>	<i>Transportni stroški [€/leto]</i>	<i>Stroški sežiga [€/leto]</i>	<i>Končni strošek blata</i>
MBR	1.964	3.584	25.993	111.472	4.675	38.960	43.635
CAS	2.680	4.891	35.469	152.110	6.380	53.163	59.543
SBR	2.766	5.048	36.607	156.991	6.584	54.869	61.453

V tabeli 13 prikazani letni stroški delovanja čistilnih naprav, za klasično in SBR napravo ne upoštevajo dodaten strošek spiranja in vzdrževanja filtrov v zadnji fazi obdelave odpadne vode. Zaradi pogostih vprašanj o porabi kemikalij za čiščenje membran smo te stroške namenoma prikazali posebej. Za normalno obremenjene membrane znaša ta ocenjen strošek 4500 eur. Vsi ostali stroški kemikalij so namenjeni za zgoščanje blata in odstranjevanje fosforja.

Kljub različnim tehnologijam lahko vidimo, da je večina stroškov enaka ali podobna. Bistvena razlika je v porabi električne energije pri MBR tehnologiji; le-ta je ocenjena glede na bodočo obremenitev pri uporabi membran, dostopnih na današnji dan. Za čistilno napravo Glessen so v tabeli 14, podobno kot investicijske vrednosti v tabeli

10, prikazani še obratovalni stroški. Iz tabele 14 je razvidno, da bi klasična čistilna naprava obratovala s približno 31000 eur nižjimi letnimi stroški. Ti podatki kažejo na to, da smo stroške obratovanja primerjanih čistilnih naprav ocenili relativno korektno.

Tabela 13: Obratovalni stroški

NAZIV STROŠKA	TIP ČN; OCENA V €		
	MBR	KLASIČNA	SBR
Poraba električne energije za mehansko čiščenje in sprejem greznične vsebine itd. 3.600 kWh/dan → ~1.320.000 kWh/leto	117.493	117.493	117.493
Poraba električne energije za MBR 5400 kWh/dan → ~ 1.971.000 kWh/leto	175.439		
Poraba električne energije za filtracijo 520 kWh/dan → ~ 189.800 kWh/leto		16.894	16.894
Poraba električne energije za UV dezinfekcijo 1100 kWh/dan → ~ 328.500 kWh/leto		25.600	25.600
Poraba električne energije za sistem za odstranjevanje odvečnega blata	25.993	35.469	36.607
Poraba polielektrolita za zgoščanje blata	40.000	43.000	43.000
Poraba ferisulfita za precipitacijo fosforja	95.000	95.000	95.000
Poraba hiperklorida za čiščenje membran	4.500		
Poraba zemeljskega plina	111.600	152.110	156.991
Zaposleni	108.000	148.000	148.000
Razni stroški: vozila, ogrevanje, odstranjevanje ograbkov, peska in maščob, ter smeti...	84.000	84.000	84.000
Končna dispozicija blata	43.635	59.543	61.453
Vzdrževanje gradbenih objektov	34.000	36.000	38.300
Vzdrževanje strojne opreme	76.993	26.729	35.580
Kemijske analize, monitoringi	25.000	25.000	25.000
SKUPAJ	941.525	864.838	883.918

V zadnjih letih smo priča pospešenemu razvoju novih membranskih postrojenj, ki za svoje delovanje porabijo manj električne energije. V bližnji prihodnosti je zaradi tega realno pričakovati dokaj izenačene stroške obratovanja v primerjavi z ostalima dvema tehnologijama.

Tabela 14: Obratovalni stroški MBR- in klasične čistilne naprave Glessen (Brepols, 2011, str. 105)

OBRATOVALNI STROŠKI / LETO	KLASIČNA ČISTILNA NAPRAVA	MBR ČISTILNA NAPRAVA
upravljanje in vzdrževanje	96.411,00 €	96.420,00 €
ravnanje z blatom in ograbki	25.664,00 €	25.664,00 €
strošek dela	70.000,00 €	70.000,00 €
strošek energije	45.990,00 €	82.782,00 €
strošek gorivo, kemikalije	11.000,00 €	12.860,00 €
strošek dezinfekcije	7.665,00 €	-
SKUPAJ	256.730,00 €	287.726,00 €

4.3 Ekonomika in lastna cena

Za izračun lastne cene čiščenja odpadne vode je treba uporabiti podatke o porabi vode na obravnavanem področju. Prodana voda v m³ za eno leto je podatek, ki določa obseg proizvodnje. Podatke porabe vode na prispevnem področju prikazuje tabela 15. Vsako gospodinjstvo naj bi plačevalo čiščenje komunalne odpadne vode na osnovi porabljene vode. Predpostavljeno je, da je na začetku priključenih na vodovod in kanalizacijo 95 % obremenitve. Sčasoma se bo ta obremenitev povečala na 100 %.

Tabela 15: Obseg proizvodnje; količina prodane vode

Količine odpadne vode	Vsota	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
<i>Količina očiščene vode priključeni (m3)</i>	55.824.083	1.955.641	1.963.949	1.972.293	1.980.672	1.989.087	1.997.537	2.006.024
<i>Količina očiščene vode - greznice (m3)</i>	473.040	17.520	17.520	17.520	17.520	17.520	17.520	17.520
	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
<i>Količina očiščene vode priključeni (m3)</i>	2.014.546	2.023.105	2.031.700	2.040.331	2.048.999	2.057.704	2.066.446	2.075.225
<i>Količina očiščene vode - greznice (m3)</i>	17.520	17.520	17.520	17.520	17.520	17.520	17.520	17.520
	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
<i>Količina očiščene vode priključeni (m3)</i>	2.084.042	2.092.896	2.101.787	2.110.716	2.119.684	2.128.689	2.137.732	2.146.814
<i>Količina očiščene vode - greznice (m3)</i>	17.520	17.520	17.520	17.520	17.520	17.520	17.520	17.520
	2038	2039	2040	2041	OČIŠČENA VODA PRIKLJUČENI m3 55.824.083			
<i>Količina očiščene vode priključeni (m3)</i>	2.155.935	2.165.056	2.174.176	2.183.297	OČIŠČENA VODA OSTALI m3 473.040			
<i>Količina očiščene vode - greznice (m3)</i>	17.520	17.520	17.520	17.520	OČIŠČENA VODA VSI m3 56.278.123			

Podatke o vrednosti investicije iz tabele 9 smo uporabili v tabeli 16, kjer so zaradi lažjega izračuna letne amortizacije razporejeni po sklopih.

Tabela 16: Vrednost investicije

ČISTILNA NAPRAVA	KLASIČNA	MBR	SBR
gradbena dela	5.400.000 €	2.800.000 €	5.602.000 €
strojne instalacije in oprema	8.230.000 €	10.100.000 €	8.000.000 €
električne instalacije in instr.	1.110.000 €	1.230.000 €	1.090.000 €
poskusno obratovanje	864.838 €	941.525 €	883.918 €
Skupaj CČN	15.604.838 €	15.071.525 €	15.575.918 €
SKUPAJ celotna investicija brez DDV	15.604.838 €	15.071.525 €	15.575.918 €
DDV	3.120.968 €	3.014.305 €	3.115.184 €
SKUPAJ celotna investicija z DDV	18.725.806 €	18.085.830 €	18.691.102 €

Amortizacija opredmetenih osnovnih sredstev, neopredmetenih sredstev in naložbenih nepremičnin (v nadaljevanju: amortizacija) se kot odhodek prizna v obračunanem znesku z uporabo metode enakomernega časovnega amortiziranja, ter najvišjih amortizacijskih stopenj. V tabeli 17 so prikazane vrednosti enakomernega časovnega amortiziranja za posamezno tehnologijo.

Tabela 17: Letni stroški amortizacije

	KLASIČNA			MBR			SBR		
	Investicijska vrednost v EUR	Amortizacijska stopnja	Letni strošek amortizacije	Investicijska vrednost v EUR	Amortizacijska stopnja	Letni strošek amortizacije	Investicijska vrednost v EUR	Amortizacijska stopnja	Letni strošek amortizacije
gradbeni del	5.400.000	3,3%	180.000	2.800.000	3,3%	93.333	5.602.000	3,3%	186.733
strojne inštalacije in oprema	8.230.000	6,7%	551.410	10.100.000	6,7%	676.700	8.000.000	6,7%	536.000
elektro oprema	1.110.000	10,0%	111.000	1.230.000	10,0%	123.000	1.090.000	10,0%	109.000
SKUPAJ	14.740.000		842.410	14.130.000		893.033	14.692.000		831.733

Neposredni in posredni obratovalni stroški so prikazani v tabeli 13 in so v celoti vključeni v tabelo denarnega toka (priloga 1, 2 in 3). Različne metode na različne načine upoštevajo elemente kalkulacij; tudi različen izbor stroškov ima za posledico različno primerne kalkulacije. Za naš primer je dovolj izračun po metodi enostavne delitvene kalkulacije. Lastno ceno čiščenja (L_c) izračunamo po enačbi 40:

$$L_c = \frac{Cs \text{ celotni stroški}}{P \text{ obseg proizvodnje}} \quad (40)$$

Obseg proizvodnje P je v našem primeru definiran v m^3 prodane oziroma očiščene vode, prikazane v tabeli 15. Iz tabele 18 je razvidno, da ima najvišje obratovalne stroške in letno stopnjo amortizacije membranska čistilna naprava. Višja stopnja amortizacije je posledica večje udeležbe opreme v celotni investiciji (tabela 17). Zaradi enakega obsega proizvodnje v m^3 ima najvišjo lastno ceno čiščenja membranska tehnologija. Višja lastna cena se odraža v višjih prihodkih z naslova storitve čiščenja.

Tabela 18: Obseg proizvodnje, stroški in lastna cena

	KLASIČNA	MBR	SBR
Obseg proizvodnje/prodana voda v opazovani dobi	56.297.123	56.297.123	56.297.123
Obratovalni in vzdrževalni stroški v 30 letih	23.350.626	25.421.175	23.865.786
Amortizacija v 30 letih	22.741.120	23.982.660	22.468.260
Celotni stroški	46.091.746	49.403.835	46.334.046
Lastna cena storitve čiščenja/m^3	0,8187	0,8749	0,8230

Za ustrezno vrednotenje projekta je treba izračunati še dinamične kazalnike projekta. Rezultati izračuna dinamičnih kazalnikov so prikazani v tabeli 19. Izračuni dinamičnih kazalnikov so posebej prikazani v prilogah 1, 2 in 3, kjer so vidni vsi prihodki, odhodki, stroški in denarni tok v opazovanem obdobju 30 let ob upoštevanju 7 % diskontni stopnji. Ta je določena z Uredbo o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo investicijske dokumentacije na področju javnih financ (Ur. l. RS, št. 60/2006, 2006). V tabeli 19 so prikazani:

- a) doba vračila naložbe (angl. Payback period),
 - b) neto sedanja vrednost (angl. Net Present Value - *NPV*),
 - c) notranja stopnja donosa (angl. Internal Rate of Return - *IRR*),
 - d) količnik donosnosti.
- a) Doba vračanja sredstev (*DV*) je izražena v letih od začetka izvedbe investicije. Opredeljena je kot čas, v katerem vsota neto prilivov finančnega toka (donosov) doseže investicijsko vrednost. Izračun ne upošteva izgube vrednosti denarja v dobi delovanja naprave. Izračunali smo jo po enačbi 41. Po tej metodi je najuspešnejša investicija v MBR tehnologijo, saj ima

najkrajšo dobo vračanja, ki je posledica višjih prihodkov in nižje vrednosti investicije kot pri ostalih dveh primerih.

$$DV = \frac{\text{Vrednost investicije}}{\text{povprečvneto letni priliv}} \quad (41)$$

- b) Neto sedanja vrednost (*NSV*) prikaže spremembo vrednosti denarja v času z upoštevanjem 7 % diskontne stopnje. Izračunali smo jo po enačbi 42 in predstavlja razliko med diskontiranimi prilivi in diskontiranimi odlivi naložbe oziroma je vsota diskontiranih neto prilivov iz finančnega toka naložbe.

$$NSV = \sum_{i=1}^t \frac{D_i}{(1+r)^i} - \sum_{i=1}^t \frac{V_i}{(1+r)^i} \quad (42)$$

Oznake v enačbi 42 pomenijo: D_i : donos v i -tem obdobju, V_i : naložba, vlaganja v i -tem obdobju, r : diskontna stopnja in $1/(1+r)$: diskontni faktor. V splošnem velja, da je naložba sprejemljiva, če je $NSV > 0$, in nesprejemljiva v primeru negativne vrednosti. V našem primeru je NSV za vse tri čistilne naprave negativna, kar je za investicije javnega pomena običajno.

- c) Notranja stopnja donosa (*IRR*) je izračunana kot vsota neto diskontiranega denarnega toka, kjer so v izračunu upoštevani vsi viri financiranja. Z izračunavanjem notranje stopnje donosa iščemo diskontno stopnjo, pri kateri je neto sedanja vrednost enaka 0. Interno stopnjo donosa lahko razumemo tudi kot minimalno višino obrestne mere, ki je še sprejemljiva v primeru naložbe z bančnim posojilom. Uporabna je za primerjavo z zahtevano stopnjo donosa in je opredeljena kot tista diskontna stopnja, pri kateri se sedanja vrednost donosov investicije izenači s sedanjo vrednostjo investicijskih stroškov. Z izračunom interne stopnje donosnosti investicije ugotavljamo zmožnost pokritja investicijskih stroškov z neto prihodki.
- d) Razmerje med sedanjo vrednostjo vseh prilivov in sedanjo vrednostjo vseh odlivov se imenuje indeks profitabilnosti ali količnik donosnosti. Indeks donosnosti je torej razmerje med sedanjo vrednostjo donosov in sedanjo vrednostjo stroškov. Investicija je sprejemljiva, če je indeks donosnosti večji

od 1 (ena). Zaradi izračuna prihodkov na osnovi lastne cene smo dobili tudi ta indeks nižji od ena za vse tri primere. Običajno se izbere tisto investicijo, ki ima večji indeks donosnosti.

Tabela 19: Finančni kazalniki projekta

	KLASIČNA	MBR	SBR
Diskontna stopnja	7%	7%	7%
Neto sedanja vrednost investicije	-8.906.201	-8.559.256	-8.905.381
Interna stopnja donosnosti (IRR)	-0,48%	-0,45%	-0,49%
Doba vračanja (leta)	10,16	9,15	10,08
Sedanja vrednost prihodkov	16.701.463	17.936.643	16.780.868
Sedanja vrednost stroškov	25.607.665	26.495.899	25.686.249
Količnik donosnosti	0,65	0,68	0,65

Na osnovi dinamičnih kazalnikov iz tabele 19 lahko sklepamo, da je lastna cena storitve čiščenja odpadne vode v vseh primerih prenizka za ustvarjanje profita ali celo ohranjanje vrednosti vloženega kapitala. Objekte, namenjene tovrstnim storitvam, se običajno gradi z denarjem iz državnih, občinskih proračunov ali drugih sredstev, razen v primerih, ko se podeli koncesija ali uporabi katera druga oblika javno zasebnega partnerstva. Zaradi teh dejstev in drugih družbenih koristi, ki jih skupnost pridobi in so posebej ovrednotene v predpisanih študijah izvedljivosti, so cene storitev čiščenja komunalnih odpadnih voda običajno nižje, kot bi bile z angažmajem privatnega kapitala. Za primer smo izračunali, kolikšna bi morala biti cena storitve ob upoštevanju minimalnega donosa, enakega najmanj 7 % diskontni stopnji po obdavčitvi (8,41 % pred obdavčitvijo). V prilogah 4,5 in 6 so prikazane bilance uspeha za vsako izmed primerjanih čistilnih naprav ob upoštevanju nove cene storitev. Na novo določene cene storitev znatno vplivajo na prihodke iz poslovanja. Zaradi tega smo za vse tri čistilne naprave v prilogah 7, 8 in 9 še posebej prikazali denarni tok in poslovni izid pri $IRR \geq 7\%$.

Iz primerjave lastne cene in nove cene storitev čiščenja lahko izračunamo, da je za zagotovitev pozitivnih poslovnih učinkov, razvidnih v tabeli 20, treba povečati lastno ceno storitev za približno 60 %.

Tabela 20: Cena storitev v primeru pozitivnih dinamičnih kazalnikov

	KLASIČNA	MBR	SBR
Diskontna stopnja	7%	7%	7%
Neto sedanja vrednost investicije	2.158.120	2.055.141	2.158.953
Interna stopnja donosnosti (IRR)	8,41%	8,41%	8,41%
Doba vračanja (leta)	6,07	5,71	6,04
Sedanja vrednost prihodkov	27.765.785	28.551.040	27.845.202
Sedanja vrednost stroškov	25.607.665	26.495.899	25.686.249
Količnik donosnosti	1,08	1,08	1,08
Nova cena storitve	1,37	1,406	1,374

4.4 Primerjava tehnologij na podlagi ostalih parametrov

Poleg investicijskih in obratovalnih stroškov je pred odločitvijo pomembno preveriti še ostala dejstva in parametre, ki so lahko okoljsko, družbeno, socialno dolgoročno zelo pomembni. Med pomembnejše parametre sodi vsekakor kvaliteta iztoka, saj znatno vpliva na recipienta, še zlasti, če je mešalno razmerje za njega razmeroma neugodno.

Majhne pore membran so garancija za kvalitetno očiščeno odpadno vodo brez suspendiranih snovi. Ostali dve tehnologiji nista sposobni doseganja tako nizke koncentracije oziroma popolne odstranitve suspendiranih snovi. Tudi z uporabo filtracije, ki nam omogoči učinkovito UV dezinfekcijo takšnih rezultatov praktično ni mogoče doseči. Uporabljeni filtri imajo poroznost 10–100 µm in so torej prepustni za manjše delce, ki končajo v iztoku. V tabeli 21 so prikazane povprečne vrednosti parametrov na iztoku iz treh različnih tipov čistilnih naprav. Razvidna je razlika predvsem pri neraztopljenih snoveh in mikrobiološki obremenitvi. Število bakterij *Escherichia coli* je pri MBR čistilni napravi vsaj 100 krat nižje in pomeni bistveno manjšo možnost okužb.

Tabela 21: Primerjava kvalitete izpusta pri različnih tehnologijah obdelave odpadne vode

PARAMETER	IZRAŽEN KOT	ENOTA	ZMOGLJIVOST ČISTILNE NAPRAVE		
			MBR	KLASIČNA	SBR
Neraztopljene snovi	-	mg/l	0	15	15
Amonijev dušik	N	mg/l	5	5	5
Celotni dušik *	N	mg/l	15	15	15
KPK	O ₂	mg/l	50	70	70
BPK5	O ₂	mg/l	5	10	10
Celotni fosfor	P	mg/l	2	2	2
Escherichia coli		št./100 ml	10	1000	1000

Vsaka tehnologija čiščenja je sestavljena iz več delov oziroma stopenj. Vse tehnologije čiščenja morajo imeti najprej fazo predčiščenja oziroma mehansko stopnjo, šele nato gre voda lahko v postopek biološkega obdelave. Mehansko predčiščenje obsega grobe in fine grablje. Za delovanje klasičnih in SBR čistilnih naprav so dovolj le grobe grablje, MBR čistilne naprave pa potrebuje zaradi zaščite membran, grablje z največ 2 mm velikimi odprtini.

V tabeli 22 je prikazano kaj omogočajo in kje so razlike med posameznimi tehnologijami. Bistvena razlika je v številu elementov procesa biološkega čiščenja in dodatne obdelave odpadne vode (UV dezinfekcija in filtracija).

Tabela 22: Prikaz vsebine primerjanih naprav

Opis postopka	Tip čistilne naprave		
	MBR	Klasična	SBR
Mehansko čiščenje	DA	DA	DA
Biološka faza (denitrifikacija; oksidacija, odstranjevanje fosforja)	DA	DA	DA
ULTRAFILTRACIJA	DA	NE	NE
usedalnik	NE	DA	NE
filtracija	NE	DA	DA
dezinfekcija	NE	DA	DA
obdelava blata	DA	DA	DA
sprejem grezničnih vsebin	DA	DA	DA
odstranjevanje vonjav	DA	DA	DA

5 ZAKLJUČEK

V bližnji preteklosti in deloma še danes je v delu strokovne javnosti veljalo prepričanje, da je membranska tehnologija čiščenja odpadnih voda tehnološko zahtevna, stroškovno neobvladljiva in neprimerna za uporabo pri čiščenju komunalne odpadne vode. Na podlagi tehničnih predpostavk za izvedbo klasične, SBR in MBR čistilne naprave smo poskušali določiti najprimernejšo tehnologijo. Izdelane so bile ocene investicije in določeni stroški obratovanja. Primerjava investicijskih vrednosti v našem primeru ni pokazala bistvenih razlik med primerjanimi tehnologijami. Iz pridobljenih in izračunanih podatkov lahko zaključimo, da so celotni investicijski stroški za izgradnjo čistilne naprave primerljivi oziroma nekoliko nižji za membransko čistilno napravo.

Razlike v stroških obratovanja za posamezne tehnologije so vezane izključno na porabo električne energije. Ta je največja pri membranskih čistilnih napravah. Višja poraba električne energije za tovrstno tehnologijo je posledica delovanja puhal za čiščenje membran. V kolikor zahtevamo podobno kvaliteto očiščene vode se stroški nekako izenačijo, ker je za doseganje podobnega učinka čiščenja pri konvencionalni in SBR čistilni napravi potrebna dezinfekcija, ki ravno tako predstavlja velikega porabnika električne energije.

Zaradi predstavljenih podatkov in dejstev lahko zaključimo, da je implementacija membranske tehnologije pragmatična in okoljsko najprimernejša.

Pomembna pridobitev dela je izračun produkcije blata, prikaz dinamičnih kazalnikov projekta in primerjava lastne cene čiščenja. Strošek končne dispozicije blata bo v bodoče vse bolj pomemben parameter in strateška prednost ponudnikov tehnoloških rešitev. V praksi uporabljena cena čiščenja je le redko kje odraz realnih stroškov in je odvisna od političnih dejavnikov, ter standarda prebivalcev regij in držav. V bodoče je pričakovati vse bolj zaostreno okoljsko zakonodajo, kar posledično pomeni zahtevnejše in dražje ravnanje z blatom, ter težje pridobivanje površin namenjenih čistilnim napravam. Postopoma se bodo cene storitev čiščenja približevale realnim vrednostim.

Razvoj družbe v celoti zahteva čim bolj čisto okolje. S pomočjo membranske tehnologije očiščena voda v večini primerov izboljšuje obstoječe stanje recipienta in je še posebej primerna na vodozbirnih in občutljivih območjih.

Iz tehničnih navedb in že delujočih naprav je razvidno, da omogoča membranska tehnologija sledeče prednosti:

- manjšo površino naprave do 70 %;
- večjo starost aktivnega biološkega blata (aerobna stabilizacija), ki je hkrati bolj koncentrirano v biološkem delu (8 do 15 g/L ali celo več), kar prispeva k lažjemu in stabilnejšemu poteku procesa;
- boljše fazno ločevanje suspendiranega aktivnega blata od očiščene odpadne vode (očiščena odpadna voda je v rangi 1 NTU, kar pomeni, da je koncentracija suspendiranih snovi na iztoku praktično pod mejo merljivosti).
- večjo hidravlično prilagodljivost; membrane lahko delujejo pri različnih transmembranskih fluksih (različni pretoki skozi membrane). Nihanje pretoka, ki dolgoročno ne presega predvidene nazivne hidravlične obremenitve, zato ne ogroža procesa;
- odstranjevanje mikroorganizmov iz očiščene odpadne vode (celokupne koliformne bakterije pod 1 cfu/100ml, fekalne koliformne bakterije pod 1 cfu/100ml, alge ≥ 5 log), zaradi česar ni potrebno naknadno odstranjevanje ali uničevanje teh mikroorganizmov;
- manjši neprijetni vonj.

Zaradi specifične infrastrukture odvajanja odpadne vode so čistilne naprave vse bližje urbanim okoljem oziroma so vse bolj del njega. To dejstvo in druge zahteve po zmanjšanju vplivov na okolje, morajo biti vodilo pri načrtovanju bodočih čistilnih naprav. V magistrskem delu smo prikazali, da je uporaba membranske tehnologije za čiščenje komunalne odpadne vode navkljub nekoliko višjim obratovalnim stroškom zelo dobra in predvsem za občutljivo ali urbano okolje najprimernejša rešitev.

6 LITERATURA

Anžič, B., Kapun, G. (2002). Biofilm – difuzijski model. Pridobljeno 15. 12. 2011 s svetovnega spleta: <http://www.kemik.org/dokumenti/st2/Biofilm.pdf>

Assessing Biomass Feasibility. An Outline of Anaerobic Digestion Technology. Pridobljeno 12. 3. 2011 s svetovnega spleta: http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/0607/Biomass/HTML/anaerobic_digestion.htm.

Babič, R. (2009). Poročilo o opravljenih vzorčenjih, meritvah in analizah komunalne odpadne vode Nova Gorica: Inštitut za zdravstveno hidrotehniko, Ljubljana.

Birk, M. (2002). Modeliranje dinamičnega delovanja pilotne biološke čistilne naprave za odstranjevanje ogljikovih in dušikovih spojin. Magistrsko delo. (Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Univ. v Ljubljani). Pridobljeno 17. 5. 2011 s svetovnega spleta: http://issuu.com/ccn-domzale/docs/levstek_magisterij_2002.

Brepols, C. (2011). Operating Large Scale Membrane Bioreactors for Municipal Wastewater Treatment. IWA Publising.

Cervantes, F., Pavlostathis, G., Van Haandel, A. (2006). Advanced Biological Treatment Processes for Industrial Wastewaters, Principles and Applications: IWA Publising Aliance House, 12 Caxston street, London SW1H 0QS, UK.

European Communities (2001). Disposal and Recycling Routes for Sewage Sludge Scientific and technical sub – component report, 23 October 2001. Pridobljeno s svetovnega spleta 23.5.2012: <http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/sludgedisposal3.pdf>.

Kurbus, T. (2008). Razvoj visoko učinkovitega postopka čiščenja odpadnih vod v šaržnem biološkem. Doktorska disertacija. (Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Univ. v Ljubljani). Pridobljeno 17. 5.2011 s svetovnega spleta: http://www.pif.si/dokumenti%5C29%5C2%5C2009%5CDoktorskadisertacija-Tanja_Kurbus_363.pdf.

Madoni, P. (2005). Depurazione biologica nei fanbhi attivi. Università degli studi di Parma, 2005. Pridobljeno 22. 4. 2011 s svetovnega spleta: <http://www.Cipaeditore.it/loghi/LibroEnia.pdf>.

McGraw, H. (2003). Wastewater Engineering; Treatment and Reuse, fourth edition. New York: Mc Graw-Hill.

Ministrstvo za okolje in prostor. (2009). Vrednotenje ekološkega stanja s splošnimi fizikalno-kemijskimi parametri. Pridobljeno 18.10. 2010 s svetovnega spleta: http://www.arhiv.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/podrocja/okolje/pdf/vode/ekolosko_stanje/vredn_ekoloskega_stanja_splosnimi_fizikalno_kemijskimi_elementi.pdf.

Piet, L., Hamelers, B., Hoitink, H., Bidlingmaier, W. (2001). Decentralised Sanitation and Reuse., Types characteristic and quantities of classic, combined domestic wastewater; Edited by Piet Lens, Grietje Zeeman and Gatzke Lettinga; Department of Environmental Technology, University of Wageningen. IWA Publishing: London, str 58-71.

Poročilo o stanju okolja 2002. Pridobljeno 16. 5. 2012 s svetovnega spleta: <http://www.arso.gov.si/varstvo%20okolja/poro%C4%8Dila/poro%C4%8Dila%20o%20stanju%20okolja%20v%20Sloveniji/PSO2002.html>.

Pravilnik o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne in padavinske vode. Ur.l. RS, št. 105/2002, 2002.

Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih vod ter o pogojih za njegovo izvajanje. Uradni list RS, št. 35/1996, 1996.

RBC. (rotating biological contactor). Pridobljeno s svetovnega spleta 21. 1. 2012. http://en.wikipedia.org/wiki/File:Rotating_Biological_Contactor.png.

Rittman, B., Mc Carty, P. (1980). Model of Steady-State-Biofilm Kinetics. Environmental Engineering and Science, Civil Engineering Department, Stanford University, Stanford, California 94305. Pridobljeno 18.11.1011 s svetovnega spleta: http://web.mit.edu/andrew3/Public/Papers/1980/Rittmann/1980_Biotechnol%20Bioeng_Model%20of%20steady-state-biofilm%20kinetics_Rittmann.pdf.

Roš, M. (2001). Biološko čiščenje odpadne vode : GV Založba, Ljubljana.

Roš, M. (2011). Izrazje s področja voda. Pridobljeno 22.10.2011 s svetovnega spleta: <http://www.sdzvdruštvo.si/si/VD%2009referati/Referati/05%20Ro%C5%A1%20VD%202009.pdf>.

SIST ISO 5815-2. (2003). Kakovost vode - Določanje biokemijske potrebe po kisiku po n dneh (BPKn) - metoda brez redčenja.

Shundar, L. (2001). Water and Wastewater Calculations Manual. A division of McGraw-Hill. New York.

Trickling filter (TF). Pridobljeno 21. 1. 2012 s svetovnega spleta: http://en.wikipedia.org/wiki/Trickling_filter

Ur. l. RS, št. 60/2006. (2006). Uredba o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo investicijske dokumentacije na področju javnih financ.

Uršič, M. (2011). Utemeljitev obremenitve CCN Nova Gorica, dopolnitev, št. projekta 1-02/11 junij 2011: (Hidrolab d.o.o.)

Van Handel, A., Van der Lube, J. (2007). Handbook Biological Waste water treatment. Leidschendam: Quist publishing.

Water Pollution Control Federation (WPCF) 1980. Clean water for today: what is wastewater treatment. Washington, DC. Pridobljeno 17.10.2011 s svetovnega spleta: <http://infohouse.p2ric.org/ref/31/30351.pdf>.

Water quality, 2000. Pridobljeno 16.3.2012 s svetovnega spleta: <http://www.tfcanal.com/H2Oquality.htm>.

Wikipedija, 2011. Anabolizem. Pridobljeno s spleta 21. 12. 2011: <http://sl.wikipedia.org/wiki>.

Zenon. GE Water & Process Technologies – ZENON Membrane Solutions. Pridobljeno 17.3.2012 s svetovnega spleta: <http://www.wateronline.com/product.mvc/ZeeWeed-Membrane-Bioreactor-MBR-0001>.

PRILOGA 1: DENARNI TOK IN POSLOVNI IZID ZA KLASIČNO ČISTILNO NAPRAVO

KLASIČNA	Sedanja vrednost	Vsota	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
PRILIVI													
1. PRIHODKI	16.517.608	46.334.046	0	0	0	1.623.964	1.630.802	1.637.670	1.644.566	1.651.491	1.658.446	1.665.431	1.672.445
Prihodki čiščenja		45.944.721	0	0	0	1.609.545	1.616.383	1.623.250	1.630.146	1.637.072	1.644.027	1.651.011	1.658.026
Prihodki ostali		389.325	0	0	0	14.419	14.419	14.419	14.419	14.419	14.419	14.419	14.419
SKUPAJ	16.517.608	46.334.046	0	0	0	1.623.964	1.630.802	1.637.670	1.644.566	1.651.491	1.658.446	1.665.431	1.672.445
2. PREOSTANEK VREDNOSTI	263.260	2.004.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ODLIVI													
1. Stroški obratovanja	8.648.895	23.865.786	0	0	0	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918
2. Investicijsko vzdrževanje	3.034.112	10.180.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3. Vrednost investicije		15.575.918	7.346.000	7.346.000	883.918	0	0	0	0	0	0	0	0
NETO DENARNI TOK													
Neto denarni tok	-8.905.381	-1.283.658	-7.346.000	-7.346.000	-883.918	740.046	746.884	753.752	760.648	767.573	774.528	781.513	788.527
Amortizacija						831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733
POSLOVNI IZID						-91.687	-84.849	-77.982	-71.086	-64.160	-57.205	-50.221	-43.206

KLASIČNA	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
PRILIVI													
1. PRIHODKI	1.679.489	1.686.563	1.693.667	1.700.801	1.707.965	1.715.160	1.722.386	1.729.642	1.736.929	1.744.247	1.751.596	1.758.976	1.766.388
Prihodki čiščenja	1.665.070	1.672.143	1.679.247	1.686.382	1.693.546	1.700.741	1.707.966	1.715.222	1.722.509	1.729.827	1.737.176	1.744.557	1.751.968
Prihodki ostali	14.419	14.419	14.419	14.419	14.419	14.419	14.419	14.419	14.419	14.419	14.419	14.419	14.419
SKUPAJ	1.679.489	1.686.563	1.693.667	1.700.801	1.707.965	1.715.160	1.722.386	1.729.642	1.736.929	1.744.247	1.751.596	1.758.976	1.766.388
2. PREOSTANEK VREDNOSTI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ODLIVI													
1. Stroški obratovanja	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918
2. Investicijsko vzdrževanje	0	1.090.000	0	0	0	0	8.000.000	0	0	0	0	0	1.090.000
3. Vrednost investicije	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NETO DENARNI TOK													
Neto denarni tok	795.571	-287.355	809.749	816.883	824.047	831.242	-7.161.532	845.724	853.011	860.329	867.678	875.058	-207.530
Amortizacija	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	843.193	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733
POSLOVNI IZID	-36.162	-1.119.088	-21.985	-14.850	-7.686	-491	-8.004.726	13.991	21.278	28.595	35.944	43.325	-1.039.264

KLASIČNA	2036	2037	2038	2039	2040	2041
PRILIVI						
1. PRIHODKI	1.773.831	1.781.305	1.788.812	1.796.318	1.803.825	1.811.331
Prihodki čiščenja	1.759.411	1.766.886	1.774.392	1.781.899	1.789.405	1.796.912
Prihodki ostali	14.419	14.419	14.419	14.419	14.419	14.419
SKUPAJ	1.773.831	1.781.305	1.788.812	1.796.318	1.803.825	1.811.331
2. PREOSTANEK VREDNOSTI	0	0	0	0	0	2.004.000
ODLIVI						
1. Stroški obratovanja	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918
2. Investicijsko vzdrževanje	0	0	0	0	0	0
3. Vrednost investicije	0	0	0	0	0	0
NETO DENARNI TOK						
Neto denarni tok	889.913	897.387	904.894	912.400	919.907	2.931.413
Amortizacija	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733
POSLOVNI IZID	58.179	65.654	73.161	80.667	88.173	2.099.680

PRILOGA 2: DENARNI TOK IN POSLOVNI IZID ZA SBR ČISTILNO NAPRAVO

SBR	Sedanja vrednost	Vsota	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
PRILIVI													
1. PRIHODKI	16.431.231	46.091.746	0	0	0	1.615.472	1.622.274	1.629.105	1.635.966	1.642.855	1.649.774	1.656.722	1.663.699
Prihodki čiščenja		45.704.457	0	0	0	1.601.128	1.607.930	1.614.761	1.621.622	1.628.511	1.635.430	1.642.378	1.649.355
Prihodki ostali		387.289	0	0	0	14.344	14.344	14.344	14.344	14.344	14.344	14.344	14.344
SKUPAJ	16.431.231	46.091.746	0	0	0	1.615.472	1.622.274	1.629.105	1.635.966	1.642.855	1.649.774	1.656.722	1.663.699
2. PREOSTANEK VREDNOSTI	270.233	2.057.080	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ODLIVI													
1. Stroški obratovanja	8.462.202	23.350.626	0	0	0	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838
2. Investicijsko vzdrževanje	3.114.403	10.450.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3. Vrednost investicije		15.604.838	7.370.000	7.370.000	864.838	0	0	0	0	0	0	0	0
NETO DENARNI TOK													
Neto denarni tok	-8.906.201	-1.256.638	-7.370.000	-7.370.000	-864.838	750.634	757.436	764.267	771.128	778.017	784.936	791.884	798.861
Amortizacija						842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410
POSLOVNI IZID						-91.776	-84.974	-78.143	-71.282	-64.393	-57.474	-50.526	-43.549

SBR	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
PRILIVI													
1. PRIHODKI	1.670.706	1.677.743	1.684.810	1.691.907	1.699.034	1.706.191	1.713.379	1.720.597	1.727.846	1.735.125	1.742.436	1.749.778	1.757.150
Prihodki čiščenja	1.656.362	1.663.399	1.670.466	1.677.563	1.684.690	1.691.847	1.699.035	1.706.253	1.713.502	1.720.781	1.728.092	1.735.434	1.742.806
Prihodki ostali	14.344	14.344	14.344	14.344	14.344	14.344	14.344	14.344	14.344	14.344	14.344	14.344	14.344
SKUPAJ	1.670.706	1.677.743	1.684.810	1.691.907	1.699.034	1.706.191	1.713.379	1.720.597	1.727.846	1.735.125	1.742.436	1.749.778	1.757.150
2. PREOSTANEK VREDNOSTI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ODLIVI													
1. Stroški obratovanja	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838
2. Investicijsko vzdrževanje	0	1.110.000	0	0	0	0	8.230.000	0	0	0	0	0	1.110.000
3. Vrednost investicije	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NETO DENARNI TOK													
Neto denarni tok	805.868	-297.095	819.972	827.069	834.196	841.353	-7.381.459	855.759	863.008	870.287	877.598	884.940	-217.688
Amortizacija	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	838.460	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410
POSLOVNI IZID	-36.542	-1.139.505	-22.438	-15.341	-8.214	-1.057	-8.219.919	13.349	20.598	27.877	35.188	42.530	-1.060.098

SBR	2036	2037	2038	2039	2040	2041
PRILIVI						
1. PRIHODKI	1.764.555	1.771.990	1.779.457	1.786.925	1.794.392	1.801.859
Prihodki čiščenja	1.750.211	1.757.646	1.765.113	1.772.581	1.780.048	1.787.515
Prihodki ostali	14.344	14.344	14.344	14.344	14.344	14.344
SKUPAJ	1.764.555	1.771.990	1.779.457	1.786.925	1.794.392	1.801.859
2. PREOSTANEK VREDNOSTI	0	0	0	0	0	2.057.080
ODLIVI						
1. Stroški obratovanja	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838
2. Investicijsko vzdrževanje	0	0	0	0	0	0
3. Vrednost investicije	0	0	0	0	0	0
NETO DENARNI TOK						
Neto denarni tok	899.717	907.152	914.619	922.087	929.554	2.994.101
Amortizacija	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410
POSLOVNI IZID	57.307	64.742	72.209	79.677	87.144	2.151.691

PRILOGA 3: DENARNI TOK IN POSLOVNI IZID ZA MBR ČISTILNO NAPRAVO

MBR	Sedanja vrednost	Vsota	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
PRILIVI													
1. PRIHODKI	17.611.956	49.403.835	0	0	0	1.731.558	1.738.849	1.746.171	1.753.524	1.760.908	1.768.324	1.775.771	1.783.250
Prihodki čiščenja		48.988.716	0	0	0	1.716.183	1.723.474	1.730.796	1.738.149	1.745.533	1.752.949	1.760.396	1.767.875
Prihodki ostali		415.119	0	0	0	15.375	15.375	15.375	15.375	15.375	15.375	15.375	15.375
SKUPAJ	17.611.956	49.403.835	0	0	0	1.731.558	1.738.849	1.746.171	1.753.524	1.760.908	1.768.324	1.775.771	1.783.250
2. PREOSTANEK VREDNOSTI	324.687	2.471.600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ODLIVI													
1. Stroški obratovanja	9.212.563	25.421.175	0	0	0	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525
2. Investicijsko vzdrževanje	3.741.122	12.560.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3. Vrednost investicije		15.071.525	7.065.000	7.065.000	941.525	0	0	0	0	0	0	0	0
NETO DENARNI TOK													
Neto denarni tok	-8.559.256	-1.177.265	-7.065.000	-7.065.000	-941.525	790.033	797.324	804.646	811.999	819.383	826.799	834.246	841.725
Amortizacija						893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033
POSLOVNI IZID						-103.001	-95.710	-88.388	-81.034	-73.650	-66.234	-58.787	-51.308
MBR	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
PRILIVI													
1. PRIHODKI	1.790.761	1.798.303	1.805.878	1.813.485	1.821.124	1.828.796	1.836.500	1.844.237	1.852.006	1.859.809	1.867.645	1.875.514	1.883.417
Prihodki čiščenja	1.775.386	1.782.929	1.790.503	1.798.110	1.805.749	1.813.421	1.821.125	1.828.862	1.836.632	1.844.434	1.852.270	1.860.139	1.868.042
Prihodki ostali	15.375	15.375	15.375	15.375	15.375	15.375	15.375	15.375	15.375	15.375	15.375	15.375	15.375
SKUPAJ	1.790.761	1.798.303	1.805.878	1.813.485	1.821.124	1.828.796	1.836.500	1.844.237	1.852.006	1.859.809	1.867.645	1.875.514	1.883.417
2. PREOSTANEK VREDNOSTI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ODLIVI													
1. Stroški obratovanja	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525
2. Investicijsko vzdrževanje	0	1.230.000	0	0	0	0	10.100.000	0	0	0	0	0	1.230.000
3. Vrednost investicije	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NETO DENARNI TOK													
Neto denarni tok	849.236	-373.222	864.353	871.960	879.599	887.271	-9.205.025	902.712	910.481	918.284	926.120	933.989	-288.108
Amortizacija	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	763.793	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033
POSLOVNI IZID	-43.798	-1.266.255	-28.680	-21.074	-13.434	-5.763	-9.968.819	9.678	17.448	25.251	33.087	40.956	-1.181.141
MBR	2036	2037	2038	2039	2040	2041							
PRILIVI													
1. PRIHODKI	1.891.353	1.899.323	1.907.327	1.915.331	1.923.334	1.931.338							
Prihodki čiščenja	1.875.978	1.883.948	1.891.952	1.899.956	1.907.960	1.915.963							
Prihodki ostali	15.375	15.375	15.375	15.375	15.375	15.375							
SKUPAJ	1.891.353	1.899.323	1.907.327	1.915.331	1.923.334	1.931.338							
2. PREOSTANEK VREDNOSTI	0	0	0	0	0	2.471.600							
ODLIVI													
1. Stroški obratovanja	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525							
2. Investicijsko vzdrževanje	0	0	0	0	0	0							
3. Vrednost investicije	0	0	0	0	0	0							
NETO DENARNI TOK													
Neto denarni tok	949.828	957.798	965.802	973.806	981.809	3.461.413							
Amortizacija	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033							
POSLOVNI IZID	56.795	64.765	72.768	80.772	88.776	2.568.380							

**PRILOGA 4: BILANCA USPEHA ZA KLASIČNO ČISTILNO NAPRAVO
(IRR ≥ 7 %)**

		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
količine		1.973.161	1.981.469	1.989.813	1.998.192	2.006.607	2.015.057	2.023.544	2.032.066	2.040.625
prodajna cena	1,370	1,370	1,370	1,370	1,370	1,370	1,370	1,370	1,370	1,370
BILANCA USPEHA										
prihodki		2.703.285	2.714.668	2.726.099	2.737.578	2.749.107	2.760.684	2.772.311	2.783.986	2.795.712
operativni str.		864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838
amortizacija		842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410
obresti		0	0	0	0	0	0	0	0	0
prih - odh		996.037	1.007.420	1.018.851	1.030.330	1.041.859	1.053.436	1.065.063	1.076.738	1.088.464
davek na dobiček		199.207	201.484	203.770	206.066	208.372	210.687	213.013	215.348	217.693
čisti dobiček	24.826.333	796.829	805.936	815.080	824.264	833.487	842.749	852.050	861.391	870.771

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
količine	2.049.220	2.057.851	2.066.519	2.075.224	2.083.966	2.092.745	2.101.562	2.110.416	2.119.307	2.128.236
prodajna cena	1,370	1,370	1,370	1,370	1,370	1,370	1,370	1,370	1,370	1,370
BILANCA USPEHA										
prihodki	2.807.487	2.819.313	2.831.188	2.843.115	2.855.091	2.867.119	2.879.198	2.891.328	2.903.509	2.915.743
operativni str.	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838
amortizacija	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410
obresti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
prih - odh	1.100.239	1.112.065	1.123.940	1.135.867	1.147.843	1.159.871	1.171.950	1.184.080	1.196.261	1.208.495
davek na dobiček	220.048	222.413	224.788	227.173	229.569	231.974	234.390	236.816	239.252	241.699
čisti dobiček	880.192	889.652	899.152	908.693	918.275	927.897	937.560	947.264	957.009	966.796

	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
količine	2.137.204	2.146.209	2.155.252	2.164.334	2.173.455	2.182.576	2.191.696	2.200.817
prodajna cena	1,370	1,370	1,370	1,370	1,370	1,370	1,370	1,370
BILANCA USPEHA								
prihodki	2.928.028	2.940.365	2.952.755	2.965.198	2.977.693	2.990.189	3.002.684	3.015.180
operativni str.	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838
amortizacija	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410
obresti	0	0	0	0	0	0	0	0
prih - odh	1.220.780	1.233.117	1.245.507	1.257.950	1.270.445	1.282.941	1.295.436	1.307.932
davek na dobiček	244.156	246.623	249.101	251.590	254.089	256.588	259.087	261.586
čisti dobiček	976.624	986.494	996.406	1.006.360	1.016.356	1.026.353	1.036.349	1.046.345

PRILOGA 5: BILANCA USPEHA ZA MBR ČISTILNO NAPRAVO (IRR ≥ 7%)

		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
količine		1.973.161	1.981.469	1.989.813	1.998.192	2.006.607	2.015.057	2.023.544	2.032.066	2.040.625
prodajna cena	1,406	1,406	1,406	1,406	1,406	1,406	1,406	1,406	1,406	1,406
BILANCA USPEHA										
prihodki		2.775.135	2.786.820	2.798.555	2.810.340	2.822.175	2.834.060	2.845.995	2.857.982	2.870.019
operativni str.		941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525
amortizacija		893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033
prih - odh		940.577	952.262	963.997	975.782	987.616	999.502	1.011.437	1.023.423	1.035.461
davek na dobiček		188.115	190.452	192.799	195.156	197.523	199.900	202.287	204.685	207.092
čisti dobiček	23.716.423	752.461	761.810	771.198	780.625	790.093	799.601	809.150	818.739	828.368

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
količine	2.049.220	2.057.851	2.066.519	2.075.224	2.083.966	2.092.745	2.101.562	2.110.416	2.119.307	2.128.236
prodajna cena	1,406	1,406	1,406	1,406	1,406	1,406	1,406	1,406	1,406	1,406
BILANCA USPEHA										
prihodki	2.882.107	2.894.247	2.906.438	2.918.681	2.930.976	2.943.324	2.955.723	2.968.176	2.980.681	2.993.240
operativni str.	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525
amortizacija	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033
prih - odh	1.047.549	1.059.689	1.071.880	1.084.123	1.096.418	1.108.765	1.121.165	1.133.618	1.146.123	1.158.681
davek na dobiček	209.510	211.938	214.376	216.825	219.284	221.753	224.233	226.724	229.225	231.736
čisti dobiček	838.039	847.751	857.504	867.298	877.134	887.012	896.932	906.894	916.898	926.945

	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
količine	2.137.204	2.146.209	2.155.252	2.164.334	2.173.455	2.182.576	2.191.696	2.200.817
prodajna cena	1,406	1,406	1,406	1,406	1,406	1,406	1,406	1,406
BILANCA USPEHA								
prihodki	3.005.852	3.018.517	3.031.236	3.044.010	3.056.837	3.069.665	3.082.492	3.095.320
operativni str.	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525
amortizacija	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033
prih - odh	1.171.293	1.183.959	1.196.678	1.209.451	1.222.279	1.235.106	1.247.934	1.260.761
davek na dobiček	234.259	236.792	239.336	241.890	244.456	247.021	249.587	252.152
čisti dobiček	937.035	947.167	957.342	967.561	977.823	988.085	998.347	1.008.609

PRILOGA 6: BILANCA USPEHA ZA SBR ČISTILNO NAPRAVO (IRR ≥ 7 %)

		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
količine	0	1.973.161	1.981.469	1.989.813	1.998.192	2.006.607	2.015.057	2.023.544	2.032.066	2.040.625
prodajna cena	1,406	1,374	1,374	1,374	1,374	1,374	1,374	1,374	1,374	1,374
BILANCA USPEHA										
prihodki	0	2.711.778	2.723.197	2.734.664	2.746.180	2.757.744	2.769.358	2.781.021	2.792.734	2.804.496
operativni str.	0	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918
amortizacija	0	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733
prih - odh	0	996.127	1.007.546	1.019.013	1.030.528	1.042.093	1.053.707	1.065.370	1.077.082	1.088.845
davek na dobiček	0	199.225	201.509	203.803	206.106	208.419	210.741	213.074	215.416	217.769
čisti dobiček	24.838.689	796.902	806.036	815.210	824.423	833.674	842.965	852.296	861.666	871.076

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
količine	2.049.220	2.057.851	2.066.519	2.075.224	2.083.966	2.092.745	2.101.562	2.110.416	2.119.307	2.128.236
prodajna cena	1,374	1,374	1,374	1,374	1,374	1,374	1,374	1,374	1,374	1,374
BILANCA USPEHA										
prihodki	2.816.308	2.828.171	2.840.084	2.852.048	2.864.062	2.876.127	2.888.244	2.900.412	2.912.632	2.924.904
operativni str.	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918
amortizacija	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733
prih - odh	1.100.657	1.112.520	1.124.433	1.136.396	1.148.411	1.160.476	1.172.593	1.184.761	1.196.981	1.209.252
davek na dobiček	220.131	222.504	224.887	227.279	229.682	232.095	234.519	236.952	239.396	241.850
čisti dobiček	880.526	890.016	899.546	909.117	918.728	928.381	938.074	947.809	957.585	967.402

	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
količine	2.137.204	2.146.209	2.155.252	2.164.334	2.173.455	2.182.576	2.191.696	2.200.817
prodajna cena	1,374	1,374	1,374	1,374	1,374	1,374	1,374	1,374
BILANCA USPEHA								
prihodki	2.937.228	2.949.604	2.962.033	2.974.514	2.987.049	2.999.584	3.012.118	3.024.653
operativni str.	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918
amortizacija	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733
prih - odh	1.221.576	1.233.953	1.246.381	1.258.863	1.271.398	1.283.932	1.296.467	1.309.002
davek na dobiček	244.315	246.791	249.276	251.773	254.280	256.786	259.293	261.800
čisti dobiček	977.261	987.162	997.105	1.007.090	1.017.118	1.027.146	1.037.174	1.047.201

**PRILOGA 7: DENARNI TOK IN POSLOVNI IZID ZA KLASIČNO ČISTILNO
NAPRAVO (IRR ≥ 7 %)**

KLASIČNA ČISTILNA NAPRAVA	Sedanja vrednost	Vsota	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
PRILIVI																		
1. Prihodki	27.495.552	77.128.612	0	0	0	2.703.285	2.714.668	2.726.099	2.737.578	2.749.107	2.760.684	2.772.311	2.783.986	2.795.712	2.807.487	2.819.313	2.831.188	2.843.115
Prihodki čiščenja odpadnih voda	0	77.128.612	0	0	0	2.703.285	2.714.668	2.726.099	2.737.578	2.749.107	2.760.684	2.772.311	2.783.986	2.795.712	2.807.487	2.819.313	2.831.188	2.843.115
SKUPAJ	27.495.552	77.128.612	0	0	0	2.703.285	2.714.668	2.726.099	2.737.578	2.749.107	2.760.684	2.772.311	2.783.986	2.795.712	2.807.487	2.819.313	2.831.188	2.843.115
2. Preostanek vrednosti																		
Preostanek vrednosti	270.233	2.067.080	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKUPAJ	270.233	2.067.080	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ODLIVI																		
1. Operativni stroški																		
Skupaj čistilna naprava	8.462.202	23.350.626	0	0	0	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838
SKUPAJ	8.462.202	23.350.626	0	0	0	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838
2. Investicijsko vzdrževanje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Investicijsko vzdrževanje	3.114.403	10.450.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.110.000	0	0	0
SKUPAJ	3.114.403	10.450.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.110.000	0	0	0
3. Celotna investicija po stalnih cenah brez DDV																		
Čistilna naprava Nova Gorica	0	15.604.838	7.370.000	7.370.000	864.838	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKUPAJ	0	15.604.838	7.370.000	7.370.000	864.838	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NETO DENARNI TOK																		
Neto denarni tok pred obdavčitvijo	2.188.120	29.780.228	-7.370.000	-7.370.000	-864.838	1.838.447	1.849.830	1.861.261	1.872.740	1.884.269	1.895.846	1.907.473	1.919.148	1.930.874	832.649	1.964.475	1.966.350	1.978.277
neto denarni tok po obdavčitvi	0	23.573.645	-7.370.000	-7.370.000	-864.838	1.639.239	1.648.346	1.657.490	1.666.674	1.675.897	1.685.159	1.694.460	1.703.801	1.713.181	612.602	1.732.062	1.741.562	1.751.103
kumulativni neto denarni tok po obdavčitvi	0	0	0	0	0	1.639.239	3.287.585	4.945.076	6.611.750	8.287.647	9.972.806	11.667.266	13.371.066	15.084.248	15.696.849	17.428.911	19.170.473	20.921.577
Amortizacija	0	0	0	0	0	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410
neto denarni tok z amortizacijo in davkom na dobiček	0	0	0	0	0	796.829	805.936	815.080	824.264	833.487	842.749	852.050	861.391	870.771	-229.808	889.652	899.152	908.693
ODPLAČILO KREDITA +OBRESTI																		
neto denarni tok po obdavčitvi	0	0	0	0	0	1.639.239	1.648.346	1.657.490	1.666.674	1.675.897	1.685.159	1.694.460	1.703.801	1.713.181	612.602	1.732.062	1.741.562	1.751.103

KLASIČNA ČISTILNA NAPRAVA	Sedanja vrednost	Vsota	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041
PRILIVI		#####														
1. Prihodki	27.495.552	#####	2.855.091	2.867.119	2.879.198	2.891.328	2.903.509	2.915.743	2.928.028	2.940.365	2.952.755	2.965.198	2.977.693	2.990.189	3.002.684	3.015.180
Prihodki čiščenja odpadnih voda	0	#####	2.855.091	2.867.119	2.879.198	2.891.328	2.903.509	2.915.743	2.928.028	2.940.365	2.952.755	2.965.198	2.977.693	2.990.189	3.002.684	3.015.180
SKUPAJ	27.495.552	#####	2.855.091	2.867.119	2.879.198	2.891.328	2.903.509	2.915.743	2.928.028	2.940.365	2.952.755	2.965.198	2.977.693	2.990.189	3.002.684	3.015.180
2. Preostanek vrednosti																
Preostanek vrednosti	270.233	2.057.080	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.057.080
SKUPAJ	270.233	2.057.080	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.057.080
ODLIVI																
1. Operativni stroški																
Skupaj čistilna naprava	8.462.202	#####	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838
SKUPAJ	8.462.202	#####	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838	864.838
2. Investicijsko vzdrževanje																
Investicijsko vzdrževanje	3.114.403	#####	0	8.230.000	0	0	0	0	0	1.110.000	0	0	0	0	0	0
SKUPAJ	3.114.403	#####	0	8.230.000	0	0	0	0	0	1.110.000	0	0	0	0	0	0
3. Celotna investicija po stalnih cenah brez DDV																
Čistilna naprava Nova Gorica	0	#####	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKUPAJ	0	#####	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NETO DENARNI TOK																
Neto denarni tok pred obdavčitvijo	2.158.120	#####	1.990.253	-6.227.719	2.014.360	2.026.490	2.038.671	2.050.905	2.063.190	965.527	2.087.917	2.100.360	2.112.855	2.125.351	2.137.846	4.207.422
neto denarni tok po obdavčitvi	0	#####	1.760.685	-6.459.693	1.779.970	1.789.674	1.799.419	1.809.206	1.819.034	718.904	1.838.816	1.848.770	1.858.766	1.868.763	1.878.759	3.945.835
kumulativni neto denarni tok po obdavčitvi	0	0	22.682.261	16.222.968	18.002.538	19.792.211	21.591.630	23.400.836	25.219.870	25.938.774	27.777.590	29.626.360	31.485.126	33.353.889	35.232.648	39.178.483
Amortizacija	0	0	842.410	838.460	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410	842.410
neto denarni tok z amortizacijo in davkom na dobiček	0	0	918.275	-7.302.103	937.560	947.264	957.009	966.796	976.624	-123.506	996.406	1.006.360	1.016.356	1.026.353	1.036.349	3.103.425
ODPLAČILO KREDITA +OBRESTI																
neto denarni tok po obdavčitvi	0	0	1.760.685	-6.459.693	1.779.970	1.789.674	1.799.419	1.809.206	1.819.034	718.904	1.838.816	1.848.770	1.858.766	1.868.763	1.878.759	3.945.835

**PRILOGA 8: DENARNI TOK IN POSLOVNI IZID MBR ČISTILNO
NAPRAVO (IRR ≥ 7 %)**

MBR ČISTILNA NAPRAVA	Sedanja vrednost	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
PRILOVI															
1. Prihodki	28.226.353	0	0	0	2.775.135	2.786.820	2.798.555	2.810.340	2.822.175	2.834.060	2.845.995	2.857.982	2.870.019	2.882.107	2.894.247
Prihodki čiščenja odpadnih voda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKUPAJ	0	0	0	0	2.775.135	2.786.820	2.798.555	2.810.340	2.822.175	2.834.060	2.845.995	2.857.982	2.870.019	2.882.107	2.894.247
2. Preostanek vrednosti	28.226.353	0	0	0	2.775.135	2.786.820	2.798.555	2.810.340	2.822.175	2.834.060	2.845.995	2.857.982	2.870.019	2.882.107	2.894.247
Preostanek vrednosti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKUPAJ	324.687	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ODLIVI	324.687	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1. Operativni stroški															
Skupaj čistilna naprava															
SKUPAJ	9.212.563	25.421.175	0	0	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525
2. Investicijsko vzdrževanje	9.212.563	25.421.175	0	0	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525
Investicijsko vzdrževanje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKUPAJ	3.741.122	12.560.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.230.000	0
3. Celotna investicija po stalnih cenah brez DDV	3.741.122	12.560.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.230.000	0
SKUPAJ	0	15.071.525	7.065.000	941.525	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NETO DENARNI TOK	0	15.071.525	7.065.000	941.525	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Neto denarni tok pred obdavčitvijo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
neto denarni tok po obdavčitvi	2.055.141	-7.065.000	-7.065.000	-941.525	1.833.610	1.845.295	1.857.030	1.868.815	1.880.650	1.892.535	1.904.470	1.916.457	1.928.494	1.940.582	1.952.722
kumulativni neto denarni tok po obdavčitvi	0	-7.065.000	-7.065.000	-941.525	1.645.495	1.654.843	1.664.231	1.673.659	1.683.126	1.692.635	1.702.183	1.711.772	1.721.402	1.731.072	1.740.784
Amortizacija	0	0	0	0	1.645.495	3.300.338	4.964.569	6.638.227	8.321.354	10.013.988	11.716.171	13.427.943	15.149.345	16.880.418	18.611.202
neto denarni tok z amortizacijo in davkom na dobiček	0	0	0	0	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033

MBR ČISTILNA NAPRAVA	Sedanja vrednost	Vsota	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	
PRILIVI																			
1. Prihodki	28.226.353	79.178.603	2.906.438	2.918.681	2.930.976	2.943.324	2.955.723	2.968.176	2.980.681	2.993.240	3.005.892	3.018.517	3.031.236	3.044.010	3.056.837	3.069.665	3.082.492	3.095.320	
Prihodki čiščenja odpadnih voda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SKUPAJ	0	79.178.603	2.906.438	2.918.681	2.930.976	2.943.324	2.955.723	2.968.176	2.980.681	2.993.240	3.005.892	3.018.517	3.031.236	3.044.010	3.056.837	3.069.665	3.082.492	3.095.320	
2. Preostanek vrednosti	28.226.353	79.178.603	2.906.438	2.918.681	2.930.976	2.943.324	2.955.723	2.968.176	2.980.681	2.993.240	3.005.892	3.018.517	3.031.236	3.044.010	3.056.837	3.069.665	3.082.492	3.095.320	
Preostanek vrednosti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SKUPAJ	324.687	2.471.600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.471.600
ODLIVI	324.687	2.471.600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.471.600
1. Operativni stroški																			
Skupaj čistilna naprava																			
SKUPAJ	9.212.563	25.421.175	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525
2. Investicijsko vzdrževanje	9.212.563	25.421.175	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525	941.525
Investicijsko vzdrževanje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKUPAJ	3.741.122	12.560.000	0	0	0	10.100.000	0	0	0	0	0	1.230.000	0	0	0	0	0	0	0
3. Celotna investicija po stalnih cenah brez DDV	3.741.122	12.560.000	0	0	0	10.100.000	0	0	0	0	0	1.230.000	0	0	0	0	0	0	0
SKUPAJ	0	15.071.525	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NETO DENARNI TOK	0	15.071.525	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Neto denarni tok pred obdavčitvijo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
neto denarni tok po obdavčitvi	2.055.141	28.597.503	1.964.913	1.977.156	1.989.451	-8.098.201	2.014.198	2.026.651	2.039.156	2.051.715	2.064.327	846.992	2.089.711	2.102.485	2.115.312	2.128.140	2.140.967	2.153.795	4.625.395
kumulativni neto denarni tok po obdavčitvi	0	22.668.398	1.750.537	1.760.332	1.770.168	-8.319.954	1.789.965	1.799.927	1.809.932	1.819.978	1.830.068	610.200	1.850.376	1.860.594	1.870.856	1.881.118	1.891.380	1.901.642	4.373.242
Amortizacija	0	0	19.141.739	20.902.071	22.672.238	14.352.284	16.142.250	17.942.177	19.752.109	21.572.087	23.402.155	24.012.355	25.862.731	27.723.325	29.594.182	31.475.300	33.366.680	35.267.923	37.139.923
neto denarni tok z amortizacijo in davkom na dobiček	0	0	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033	893.033

Priloga 9: Denarni tok in poslovni izid za SBR čistilno napravo (IRR ≥ 7 %)

SBR ČISTILNA NAPRAVA	Sedanja vrednost	Vsota	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	
PRILIVI																			
1. Prihodki	27.581.942	77.370.947	0	0	0	2.711.778	2.723.197	2.734.664	2.746.180	2.757.744	2.769.358	2.781.021	2.792.734	2.804.496	2.816.308	2.828.171	2.840.084	2.852.048	
Vse občine	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Prihodki čiščenja odpadnih voda	0	77.370.947	0	0	0	2.711.778	2.723.197	2.734.664	2.746.180	2.757.744	2.769.358	2.781.021	2.792.734	2.804.496	2.816.308	2.828.171	2.840.084	2.852.048	
SKUPAJ	27.581.942	77.370.947	0	0	0	2.711.778	2.723.197	2.734.664	2.746.180	2.757.744	2.769.358	2.781.021	2.792.734	2.804.496	2.816.308	2.828.171	2.840.084	2.852.048	
2. Preostanek vrednosti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Preostanek vrednosti	263.260	2.004.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SKUPAJ	263.260	2.004.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ODLIVI																			
1. Operativni stroški																			
Skupaj čistilna naprava	8.648.895	23.865.786	0	0	0	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918
SKUPAJ	8.648.895	23.865.786	0	0	0	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918
2. Investicijsko vzdrževanje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Investicijsko vzdrževanje	3.034.112	10.180.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.090.000	0	0	0	
SKUPAJ	3.034.112	10.180.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.090.000	0	0	0	
3. Celotna investicija po stalnih cenah brez DDV																			
Čistilna naprava Nova Gorica	0	15.575.918	7.346.000	7.346.000	883.918	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SKUPAJ	0	15.575.918	7.346.000	7.346.000	883.918	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
NETO DENARNI TOK																			
Neto denarni tok pred obdavčitvijo	2.158.953	29.753.243	-7.346.000	-7.346.000	-883.918	1.827.860	1.839.279	1.850.746	1.862.262	1.873.826	1.885.440	1.897.103	1.908.816	1.920.578	1.932.340	1.944.253	1.956.166	1.968.130	
neto denarni tok po obdavčitvi	0	23.543.571	-7.346.000	-7.346.000	-883.918	1.628.635	1.637.770	1.646.943	1.656.156	1.665.408	1.674.699	1.684.029	1.693.399	1.702.809	1.712.259	1.721.749	1.731.279	1.740.850	
kumulativni neto denarni tok po obdavčitvi	0	0	0	0	0	1.628.635	3.266.405	4.913.348	6.569.504	8.234.912	9.909.611	11.583.640	13.267.039	14.959.848	16.612.107	18.333.856	19.065.135	20.805.966	
Amortizacija	0	0	0	0	0	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	
neto denarni tok z amortizacijo in davkom na dobiček	0	0	0	0	0	796.902	806.036	815.210	824.423	833.674	842.965	852.296	861.666	871.076	-209.474	890.016	899.546	909.117	

SBR ČISTILNA NAPRAVA	Sedanja vrednost	Vsota	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041
PRILIVI																
1. Prihodki	27.581.942	77.370.947	2.864.062	2.876.127	2.888.244	2.900.412	2.912.632	2.924.904	2.937.228	2.949.604	2.962.033	2.974.514	2.987.049	2.999.584	3.012.118	3.024.653
Vse občine	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prihodki čiščenja odpadnih voda	0	77.370.947	2.864.062	2.876.127	2.888.244	2.900.412	2.912.632	2.924.904	2.937.228	2.949.604	2.962.033	2.974.514	2.987.049	2.999.584	3.012.118	3.024.653
SKUPAJ	27.581.942	77.370.947	2.864.062	2.876.127	2.888.244	2.900.412	2.912.632	2.924.904	2.937.228	2.949.604	2.962.033	2.974.514	2.987.049	2.999.584	3.012.118	3.024.653
2. Preostanek vrednosti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Preostanek vrednosti	263.260	2.004.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.004.000
SKUPAJ	263.260	2.004.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.004.000
ODLIVI																
1. Operativni stroški																
1. Operativni stroški																
Skupaj čistilna naprava	8.648.895	23.865.786	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918
SKUPAJ	8.648.895	23.865.786	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918	883.918
2. Investicijsko vzdrževanje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Investicijsko vzdrževanje	3.034.112	10.180.000	0	8.000.000	0	0	0	0	0	1.090.000	0	0	0	0	0	0
SKUPAJ	3.034.112	10.180.000	0	8.000.000	0	0	0	0	0	1.090.000	0	0	0	0	0	0
3. Celotna investicija po stalnih cenah brez DDV																
Čistilna naprava Nova Gorica	0	15.575.918	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKUPAJ	0	15.575.918	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NETO DENARNI TOK																
Neto denarni tok pred obdavčitvijo	2.158.953	29.753.243	1.980.144	-6.007.791	2.004.326	2.016.494	2.028.714	2.040.986	2.053.310	975.686	2.078.115	2.090.596	2.103.131	2.115.666	2.128.200	4.144.735
neto denarni tok po obdavčitvi	0	23.543.571	1.750.462	-6.239.886	1.769.807	1.779.542	1.789.318	1.799.135	1.808.994	728.895	1.828.839	1.838.824	1.848.852	1.858.879	1.868.907	3.882.935
kumulativni neto denarni tok po obdavčitvi	0	0	22.556.448	16.316.562	18.086.369	19.865.911	21.655.229	23.454.364	25.263.359	25.992.254	27.821.093	29.659.916	31.508.768	33.367.647	35.236.554	39.119.489
Amortizacija	0	0	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733	831.733
neto denarni tok z amortizacijo in davkom na dobiček	0	0	918.728	-7.071.619	938.074	947.809	957.585	967.402	977.261	-102.838	997.105	1.007.090	1.017.118	1.027.146	1.037.174	3.051.201