



**Visoka šola za gradbeno inženirstvo Kranj  
Gorenjesavska c. 9, 4000 Kranj**

**ODVAJANJE IN ČIŠČENJE  
ODPADNIH VOD**

**MUHAREM HUSIĆ**

**Visokošolski strokovni program:** diplomirani inženir gradbeništva (VS)/diplomirana inženirka gradbeništva (VS).

Učno gradivo za interno uporabo: Odvajanje in čiščenje odpadnih vod

Gradivo za 3. letnik

**Avtor:**

**mag. Muharem Husić, univ. dipl. inž. kem. tehn.**

Visoka šola za gradbeno inženirstvo Kranj

(EDC VŠGI Kranj)

Gorenjesavska c. 9, 4000 Kranj



**Lektorica: Barbara Kalan, univ. dipl. ped., prof.**

CIP - Kataložni zapis o publikaciji

Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

628.3(075.8)(0.034.2)

HUSIĆ, Muharem

Odvajanje in čiščenje odpadnih vod [Elektronski vir] : [gradivo za 3. letnik] /  
Muharem Husić. - El. knjiga. - Kranj : Visoka šola za gradbeno inženirstvo, 2015

ISBN 978-961-93877-0-2 (pdf)

281018368

Izdajatelj: Visoka šola za gradbeno inženirstvo Kranj

Založnik: EDC-VŠGI Kranj

Kranj, 2015

## VSEBINA

<b>1</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>ZAKONODAJA NA PODROČJU ODVAJANJA IN ČIŠČENJA ODPADNIH VOD</b>	<b>5</b>
2.1	VELJAVNA ZAKONODAJA V RS.....	5
2.1.1	Zakon o varstvu okolja .....	5
2.1.2	Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo.....	5
2.2	Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav ..5	
2.2.1	Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz malih komunalnih čistilnih naprav .....	6
2.2.2	Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih voda ter o pogojih za njegovo izvajanje .....	6
2.2.3	Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne in padavinske odpadne vode .....	6
2.2.4	Operativni program odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode.....	6
2.3	KLJUČNE ZAHTEVE SLOVENSKE ZAKONODAJE .....	7
2.3.1	Poročanje evropski komisiji .....	7
	• poročilo v skladu s 17. členom Direktive 91/271/EGS o izvajanju Operativnega programa odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode. ....	8
2.4	PRENOVA INFORMACIJSKEGA SISTEMA NA PODROČJU ODVAJANJA IN ČIŠČENJA KOMUNALNE ODPADNE VODE .....	8
2.5	POMEN IZRAZOV .....	8
<b>3</b>	<b>VRSTE IN KOLIČINE ONESNAŽENIH VODA.....</b>	<b>12</b>
3.1	KOMUNALNA ODPADNA VODA .....	12
3.2	INDUSTRIJSKA ODPADNA VODA .....	12
3.3	PADAVINSKA ODPADNA VODA .....	12
3.4	KOLIČINA ODPADNE VODE .....	12
3.5	OPERATIVNI PROGRAM ODVAJANJA IN ČIŠČENJA KOMUNALNE ODPADNE VODE .....	15
<b>4</b>	<b>SESTAVA IN LASTNOSTI ODPADNIH VOD.....</b>	<b>17</b>
4.1	LASNOSTI ODPADNIH VOD.....	17
4.2	FIZIKALNE LASTNOSTI.....	18
4.2.1	Trdni delci .....	18
4.2.2	Motnost.....	18
4.2.3	Temperatura vode .....	18
4.2.4	Odvisnost topnosti raztopljenega kisika od temperature .....	18
4.2.5	Barva.....	19
4.2.6	Koncentracija in specifična masa .....	20
4.3	KEMIJSKE LASTNOSTI ODPADNIH VOD .....	20
4.3.1	pH .....	20
4.3.2	Kloridi.....	20
4.3.3	Dušik.....	20
4.3.4	Fosfor.....	21
4.3.5	Žveplo.....	22
4.3.6	Plini.....	23
4.3.7	Vonj .....	23
4.3.8	Kovine .....	23
4.3.9	Skupne organske snovi .....	23
4.3.10	Meritve vsebnosti organskih spojin.....	23
4.4	BIOLOŠKE LASTNOSTI ODPADNIH VOD .....	24
4.4.1	Indikatorske bakterije .....	24

<b>5</b>	<b>PRETOKI IN MASNE BILANCE .....</b>	<b>25</b>
5.1	Merjenje pretoka odpadnih vod.....	25
5.2	Pomembni jezovi.....	26
<b>6</b>	<b>VZORČENJE ODPADNIH VOD .....</b>	<b>28</b>
6.1	NAKLJUČNI (TRENUTNI) VZOREC .....	28
6.2	SESTAVLJENI (KOMPOZITNI) VZOREC.....	29
6.2.1	Časovno sorazmerni vzorec .....	29
6.2.2	Pretočno sorazmerni vzorec .....	29
6.2.3	Reprezentativno vzorčenje.....	29
6.2.4	Napake pri vzorčenju odpadnih vod .....	30
<b>7</b>	<b>ANALIZA ODPADNE VODE.....</b>	<b>32</b>
7.1	POMEMBNI SKUPINSKI PARAMETRI PRI ČIŠČENJU ODPADNE VODE ...	32
7.2	MERITVE PARAMETROV, KI SE S ČASOM SPREMINJAJO .....	32
7.2.1	Merjenje pH .....	32
7.2.2	Določanje BPK .....	33
7.2.3	Določanje vsebnosti usedljivih snovi.....	33
7.2.4	Spektrofotometer.....	34
7.2.5	Določanje koncentracije TOC.....	34
7.2.6	Določanje vsebnosti dušika po Kjeldahlu.....	35
7.2.7	Določanje kemijske porabe po kisiku (KPK) .....	36
7.2.8	Ionska kromatografija .....	37
7.2.9	Določanje strupenosti z zelenimi algami .....	37
7.2.10	Določanje strupenosti z vodnimi bolhami .....	38
7.2.11	Aparatura za izvajanje testa v čašah (Jar Test) .....	39
7.2.12	Tekočinska kromatografija visoke ločljivosti (HPLC).....	39
<b>8</b>	<b>ZASNOVE SISTEMOV ZA ODVAJANJE ODPADNE VODE IN NJIHOVO DIMENZIONIRANJE.....</b>	<b>40</b>
8.1	KANALIZACIJSKI SISTEMI.....	40
8.2	MEŠANI KANALIZACIJSKI SISTEM.....	40
8.3	LOČENI KANALIZACIJSKI SISTEM .....	40
8.4	ZASNOVA KANALIZACIJSKEGA SISTEMA .....	41
8.4.1	Primer izračuna KPK .....	42
<b>9</b>	<b>OSNOVNI TEHNOLOŠKI POSTOPKI IN TEHNIKE ČIŠČENJA ODPADNIH VODA Z IZRAČUNI.....</b>	<b>43</b>
9.1	METODOLOŠKA DELITEV ČIŠČENJA ODPADNIH VOD .....	43
9.1.1	Mehansko in primarno čiščenje .....	44
9.1.2	Ločevanje večjih delcev .....	44
9.1.3	Statične grablje.....	45
9.1.4	Ročno čiščene grablje .....	45
9.1.5	Strojno čiščene grablje .....	45
9.1.6	Kontinuirane transportne grablje .....	46
9.1.7	Sita .....	46
9.1.8	Problemi, ki se pojavljajo pri grabljah in sitih .....	46
9.1.9	Odstranjevanje peska .....	46
9.1.10	Peskolovi.....	47
9.1.11	Usedanje v peskolovu .....	47
9.1.12	Gravitacijski peskolov.....	48
9.1.13	Uporaba večjega števila kanalov.....	48
9.1.14	Prezračevani peskolov.....	48
9.1.15	Vortex peskolov .....	49
9.1.16	Usedanje.....	49
9.1.17	Pravokotni usedalniki.....	49

9.1.18	Krogelni usedalniki .....	49
9.1.19	Odstranjevanje maščob in olj .....	50
9.2	KEMIJSKO ČIŠČENJE .....	50
9.2.1	Obarjanje težkih kovin .....	50
9.2.2	Nevtralizacija.....	50
9.2.3	Oksidacija .....	51
9.2.4	Redukcija .....	51
9.2.5	Obarjanje .....	51
9.3	FIZIKALNO - KEMIJSKO ČIŠČENJE.....	51
9.3.1	Koagulacija.....	52
9.3.2	Flokulacija .....	52
9.3.3	Adsorpcija.....	53
9.3.4	Ionska izmenjava .....	53
9.3.5	Destilacija .....	54
9.4	BIOLOŠKO ČIŠČENJE (SEKUNDARNO) ODPADNIH VOD .....	54
9.4.1	Vrste in pogoji delovanja biološkega čiščenja .....	55
9.4.1.1	Aerobni pogoji.....	55
9.4.1.2	Anaerobni pogoji.....	55
9.4.1.3	Anoksični pogoji .....	57
9.5	NARAVNI SISTEMI ZA ČIŠČENJE ODPADNIH VOD .....	57
9.5.1	Neprezračene lagune.....	57
9.5.2	Aerobne lagune.....	58
9.5.3	Anaerobne lagune .....	58
9.5.4	Prezračevane lagune .....	58
9.5.5	Namakalna polja.....	58
9.6	RASTLINSKE ČISTILNE NAPRAVE .....	59
9.7	POSTOPEK ČIŠČENJA ODPADNE VODE Z AKTIVNIM BLATOM.....	60
9.7.1	Aktivno blato – mikrobiologija in biokemija I.....	62
9.7.2	Aktivno blato – mikrobiologija in biokemija II .....	63
9.7.3	Aktivno blato – osnovni cilji procesa .....	64
9.7.3.1	Odstranjevanje biokemijske potrebe po kisiku.....	64
9.7.3.2	Biološko čiščenje – odstranjevanje hraniv .....	65
9.7.3.3	Nitrifikacija .....	65
9.7.4	Aktivno blato – popolnoma premešani reaktor s selektorjem .....	65
9.7.5	Šaržni biološki reaktor (SBR).....	66
9.7.6	Podaljšano prezračevanje .....	67
9.7.7	Oksidacijski jarki.....	67
9.7.8	Proces s čistim kisikom .....	67
9.7.9	Sistemi s pritrjeno (fiksirano) biomaso .....	68
9.7.10	Precejalniki .....	69
9.7.11	Biofiltri .....	69
9.7.11.1	Delitev biofiltrov I.....	70
9.7.11.2	Delitev biofiltrov II. ....	71
9.7.12	Proizvodnja bioplina in drugih produktov presnove .....	71
9.7.13	Sistemi s statičnim nosilcem biomase .....	72
9.7.14	Obdelava in načini obdelave blata, ki nastaja na bioloških čistilnih napravah ..	72
9.7.14.1	Kondicioniranje blata .....	72
9.7.14.2	Zgoščevanje blata in odstranjevanje vode.....	73
9.7.14.3	Flotacijsko zgoščevanje z zrakom.....	74
9.7.14.4	Gravitacijski tračni zgoščevalnik .....	74
9.7.14.5	Stabilizacija blata .....	74
9.7.15	Osnovni parametri za vodenje gnilišča.....	75
9.7.16	Kompostiranje .....	75
9.7.16.1	Prednosti kompostiranja.....	75

9.7.16.2	Kaj vpliva na kompostiranje? .....	76
9.8	MEMBRANSKA FILTRACIJA .....	76
9.8.1	Mikrofiltracija .....	77
9.8.2	Ultrafiltracija .....	77
<b>10</b>	<b>OBJEKTI NA KANALIZACIJSKIH SISTEMIH IN KOMUNALNIH ČISTILNIH NAPRAVAH PRIMER IZ PRAKSE .....</b>	<b>78</b>
10.1	CENTRALNA ČISTILNA NAPRAVA LJUBLJANA .....	78
10.2	PODATKI O IZVORU ODPADNIH VODA .....	78
10.3	MEHANSKO ČIŠČENJE ODPADNE VODE .....	79
10.3.1	Lovilec kamenja (Objekt 1) .....	79
10.3.2	Merjenje z Venturijevim kanalom na dotoku .....	81
10.3.3	Vhodno črpališče (Objekt 2) .....	82
10.3.4	Fine grablje (Objekt 3) .....	83
10.3.5	Ozračeni lovilec maščob in peskolov (Objekt 4) .....	84
10.3.6	Vezna kineta 1 (objekt 07) .....	85
10.4	BIOLOŠKO, SEKUNDARNO ČIŠČENJE VODE .....	86
10.4.1	Prezračevalni bazeni (objekt 12) .....	86
10.4.2	Nameščenih je šest regulacijskih O <sub>2</sub> sond, ki uravnavajo dotok zraka v vse bazene, odvisno od porabe kisika. Vezna kineta 2 (objekt 13) .....	87
10.4.3	Naknadni usedalniki (objekt 14) .....	87
10.4.4	Črpališče povratnega, odvečnega in plavajočega blata (objekt 15) .....	89
10.5	OBDELAVA BLATA .....	89
10.5.1	Primarni zgoščevalnik odvečnega blata (objekt 17) .....	89
10.5.2	Sekundarni zgoščevalnik blata (objekt 18) .....	90
10.5.3	Objekt za sprejem tekočih biološko razgradljivih odpadkov (objekt 19) .....	90
10.5.3.1	Postopek prevzema tekočih odpadkov .....	91
10.5.3.2	Vrsta in količina biološko razgradljivih odpadkov .....	92
10.5.4	Gnilišča (objekt 20) – postopek obdelave tekočih odpadkov po R3 .....	92
10.5.4.1	Obratovanje gnilišč .....	92
10.5.4.2	Dnevna proizvodnja bioplina .....	93
10.5.4.3	Merilna postaja bioplina .....	93
10.5.4.4	Peščeni filtri pred merilno postajo .....	94
10.5.4.5	Peščeni filtri na izstopu iz gnilišč .....	94
10.5.5	Strojna dehidracija in sušenje blata (objekt 21) .....	94
10.5.5.1	Splošno .....	94
10.5.5.2	Predzgoščanje blata – mehanska obdelava blata .....	94
10.5.5.3	Zgoščanje blata – mehanska in kemijska obdelava blata .....	95
10.5.5.4	Toplotna obdelava blata – opis skladiščenja, pakiranja in dajanja trdnega goriva v uporabo 95	
10.5.5.5	Postopek sušenja obsega dva ciklusa .....	96
10.5.6	Higienizacija končnega produkta obdelave biološko razgradljivih odpadkov ..	97
10.5.7	Skladiščenje končnega produkta in njegovo dajanje v promet .....	97
10.6	BIOFILTER (OBJEKT 27) .....	98
10.7	UČINEK ČIŠČENJA NAPRAVE .....	98
10.8	DODATNE AKTIVNOSTI ZA VAROVANJE OKOLJA (RAVNANJE Z BLATOM IN PREPREČEVANJE EMISIJ V ZRAK) .....	98
10.8.1	Ravnanje z blatom .....	98
10.8.2	Preprečevanje emisij v zrak .....	98
10.8.3	Delovanje naprave za čiščenje odpadnih plinov .....	99
10.8.4	Plinska bakla .....	99
<b>11</b>	<b>LITERATURA .....</b>	<b>100</b>

## SEZNAM SLIK

Slika 1: Delež prebivalcev Slovenije, katerih komunalne odpadne vode so se v posameznem letu čistile na komunalnih ali skupnih čistilnih napravah z določeno stopnjo čiščenja .....	14	
Slika 2: Količina čiščene odpadne vode na leto na komunalnih ali skupnih čistilnih napravah z določeno stopnjo čiščenja.....	14	
Slika 3: Lastnosti odpadnih vod .....	17	
Slika 4: Odvisnost topnosti raztopljenega kisika od temperature brez zasoljenosti.....	19	
Slika 5: Indijska reka Jamuna.....	19	
Slika 6: Dušikov cikel .....	21	
Slika 7: Kroženje žvepla v kanalizacijskih ceveh .....	22	
Slika 8: Najpomembnejši jezovi in enačbe za izračun pretoka .....	26	
Slika 9: Najpomembnejši jezovi in odvisnost pretoka od višine.....	27	
Slika 10: Industrijski vzorčevalnik .....	28	
Slika 11: pH meter.....	32	
Slika 12: Naprava za merjenje kisika .....	33	
Slika 13: Določanje usedljivih snovi (Imhoffov lij).....	34	
Slika 14: Spektrofotometer.....	34	
Slika 15: TOC analizator .....	35	
Slika 16: Naprava za določanje Kjeldahlovega dušika (titrator).....	36	
Slika 17: Določanje KPK – titrator	Slika 18: Določanje KPK.....	36
Slika 19: Določanje KPK	Slika 20: Določanje KPK.....	37
Slika 21: Ionski kromatograf .....	37	
Slika 22: Določanje strupenosti z zelenimi algami .....	38	
Slika 23: Določanje strupenosti z vodnimi bolhami.....	38	
Slika 24: Aparatura za izvajanje testa v čašah (Jar Test) .....	39	
Slika 25: HPLC analizator.....	39	
Slika 26: Shema kanalizacijskega omrežja.....	41	
Slika 27: Čiščenje odpadnih vod .....	43	
Slika 28: Kineta za lovilec kamenja – mehanska stopnja čiščenja.....	44	
Slika 29: Statične grablje .....	45	
Slika 30: Ročno čiščene grablje .....	45	
Slika 31: Čiščenje odpadnih vod .....	46	
Slika 32: Gravitacijski peskolov z več kanali in tok vode skozi več kanalov peskolova.....	48	
Slika 33: Ozračeni lovilec maščob in peskolov .....	49	
Slika 34: Originalna in flokulirana odpadna voda.....	52	
Slika 35: Aktivno oglje.....	53	
Slika 36: Zrna ionskega izmenjevalca (ionska smola) .....	53	
Slika 37: Shematični prikaz biološkega čiščenja, ki poteka v naravi.....	55	
Slika 38: Anaerobna razgradnja organskih snovi v bioplin.....	56	
Slika 39: Shema tehnologije anaerobnega procesa .....	56	
Slika 40: Primeri lagun za čiščenje odpadne vode .....	57	
Slika 41: Lagune.....	59	
Slika 42: Shema delovanja rastlinske čistilne naprave.....	60	
Slika 43: Mikroorganizmi.....	61	
Slika 44: Shema konvencionalnega postopka z aktivnim blatom. ....	62	
Slika 45: Shema sistema s popolnoma premešanim reaktorjem aktivnega blata s "selektorjem" .....	66	
Slika 46: Šaržni biološki reaktor za en cikel .....	66	
Slika 47: Shema oksidacijskega jarka .....	67	
Slika 48: Proces s čistim kisikom s predeljenim prezračevalnikom.....	68	
Slika 49: Krivulja usedanja aktivnega blata za hitro, normalno in počasi usedljivo blato.....	69	

Slika 50: Podlaga za pritrjene mikroorganizme .....	69
Slika 51: Biofilter na CČNL za čiščenje zraka .....	70
Slika 52: Delitev biofiltrov .....	71
Slika 53: Postopki za predelavo in uporabo blata .....	73
Slika 54: Poglobljena kineta za odstranjevanje      Slika 55: Grabilec kamenja v prvem.....	79
Slika 56: Tehnološka shema CČNL.....	80
Slika 57: Merilno mesto za trajno merjenje pretoka odpadne vode z venturimetrom .....	81
Slika 58: Zaslon merilnika pretoka (venturimeter) .....	81
Slika 59: Vhodno črpališče-grobe grablje.....	82
Slika 60: Odpadki, odstranjeni na mehanski stopnji čiščenja – grobe grablje.....	82
Slika 61: Sistem finih grabelj      Slika 62: Stiskalnica trdnih odpadkov, odstranjenih iz.....	83
Slika 63: Sistem cevi za odstranjevanje mehanskih delcev iz peskolova .....	84
Slika 64: Odpadki, odstranjeni na mehanski stopnji čiščenja – ozračeni lovilec maščob in peskolov. ....	84
Slika 65: Ozračeni lovilec maščob in peskolov .....	85
Slika 66: Kineta za odstranjevanje      Slika 67: Odpadna voda na iztoku iz objekta.....	86
Slika 68: Prezračevalni bazen s suspendirano biomaso (mikroorganizmi).....	86
Slika 69: Naknadni usedalnik – 2. del biološkega čiščenja .....	87
Slika 70: Iztok prečiščene odpadne vode iz naknadnega usedalnika.....	88
Slika 71: Shema biološke stopnje in črpališča .....	88
Slika 72: Plinohran za skladiščenje bioplina.....	93
Slika 73: Objekti za obdelavo odvečne biomase iz procesa biološkega čiščenja .....	94

## SEZNAM TABEL

Tabela 1: Pogostost meritev in čas vzorčenja za komunalne in skupne čistilne naprave .....	30
Tabela 2: Letna pogostost meritev in čas vzorčenja za posamezen iztok iz naprave .....	31
Tabela 3: Podatki o povprečnih količinah in karakteristikah odpadnih voda .....	79
Tabela 4: Izračun potrebne toplote.....	92
Tabela 5: Učinek čiščenja naprave.....	98



## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se vodji Centralne čistilne naprave Ljubljana Ernestu Mlakarju, univ.dipl. ing. elektroteh. in procesni tehnologinji Vesni Mislej, univ. dipl.ing. kem. tehn., za strokovno pomoč in prispevek v poglavju 10. z naslovom Objekti na kanalizacijskih sistemih in komunalnih čistilnih napravah, primer dobre prakse.

Zahvaljujem se prof. dr. Milenko Roš, ki je recenziral učbenik in napisal predgovor.

Zahvaljujem se tudi lektorici Barbari Kalan, univ. dipl. ped., prof.

## **Predgovor**

Področje odvajanja in čiščenja odpadnih vod je zelo kompleksno, saj zahteva specifična znanja kemije, kemijskega inženirstva, zdravstvene hidrotehnike, gradbeništva itd. Zato je pisanje učbenika s tega področja zelo odgovorna naloga. Mag. Muharem Husić se je lotil tega odgovornega dela. V učbenik je vključil pregled osnovne evropske in slovenske zakonodaje, vrste in količine ter sestave odpadnih vod, opozoril na najpomembnejše aspekte masnih bilanc in vzorčenja odpadnih vod, ki so osnova za dobro analitiko. Nato je obdelal zasnove sistemov za odvajanje odpadnih voda in postopke čiščenja odpadnih vod. Na koncu svojega dela je prikazal na primeru Centralne čistilne naprave Ljubljana, kako celotno odvajanje in čiščenje odpadnih vod zglada v praksi. Delo je napisano tako, da si poglavja logično sledijo in zajema vso snov, ki je zapisana v učnem načrtu Visoke šole za gradbeno inženirstvo Kranj, za predmet Odvajanje in čiščenje odpadnih vod. Učbenik je treba podpreti tudi zato, ker pri nas še vedno premalo predavateljev na fakultetah in visokih šolah napiše gradivo za svoj predmet.

Iz dela je razvidno, da je mag. Husić uporabil tudi izkušnje, ki si jih je pridobil z raziskovalnim delom na Kemijskem inštitutu v Ljubljani.

Učbenik mag. Muharema Husića bo v veliko pomoč študentom Visoke šole za gradbeno inženirstvo Kranj, saj bodo imeli pred seboj celotno vsebino, ki je potrebna za predmet Odvajanje in čiščenje odpadnih vod.

prof. dr. Milenko Roš

### 1 UVOD

Voda je osnovni pogoj za življenje ljudi, živali in rastlin ter nepogrešljiv vir za industrijo, promet, kmetijstvo in druge gospodarske panoge, torej za ekonomski namen.

Zaradi naraščanja prebivalstva in industrijske dejavnosti se povečuje poraba vode in zato tudi količina odpadne vode, ki lahko onesnažuje površinske in podzemne vode. Tako je lahko ogrožen tudi vir pitne vode; kar bi vplivalo na zdravje ljudi.

Komunalne, industrijske in kmetijske odpadne vode predstavljajo večji del onesnaženja površinskih vod: vsebujejo snovi, bogate z dušikom, ki lahko močno porušijo ravnotežje v naravi. Dušik se lahko pojavlja v različnih oblikah, kot so organsko vezani dušik, amonijev dušik ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), nitritni dušik ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) ali nitratni dušik ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ). Amonijak je strupen za vodne organizme ter porablja kisik v vodi. Nitrat lahko onesnaži podzemne vode in je škodljiv tudi za človeški organizem, predvsem za dojenčke, ker se veže na hemoglobin namesto kisika. Odpadne vode, ki vsebujejo dušikove in fosforjeve spojine, lahko povzročijo čezmerno rast alg, ki povzročajo motnje v ravnotežju rasti vodnih organizmov (eutrofikacije). Posledica tega pojava je pomanjkanje raztopljenega kisika, sproščanje neprijetnega vonja in pogin občutljivih ribjih vrst. Zaradi tega je omenjene spojine potrebno odstraniti iz odpadnih vod, preden jih vrnemo nazaj v okolje. Za čiščenje odpadnih vod je na voljo veliko število različnih postopkov. Eden od načinov odstranjevanja ogljikovih in dušikovih spojin iz odpadne vode so biološki postopki. Biološko čiščenje temelji na razgradnji organskih in anorganskih snovi ob pomoči mikroorganizmov.

Organske snovi in hranila (dušikove in fosforjeve spojine), ki se nahajajo v odpadni vodi, služijo bakterijam in ostalim mikroorganizmom kot hrana za rast in razmnoževanje. Rezultat razgradnje je pretvorba organskih snovi v anorganske snovi in novo biomaso. Odstranjevanje dušikovih spojin iz odpadne vode v SBR (šaržni biološki reaktor) poteka s procesoma nitrifikacije in denitrifikacije. Nitrifikacija temelji na mikrobiološki razgradnji dušikovih spojin, ki se v odpadni vodi pojavljajo v obliki amonijevega dušika.

Zakonodaja EU o vodah je bila preoblikovana leta 2000 s sprejetjem okvirne direktive o vodah, s katero je uveden celosten pristop k upravljanju in varovanju površinskih in podzemnih voda na podlagi povodij. Okvirno direktivo o vodah dopolnjujejo mednarodne pogodbe in zakonodaja, ki se nanašajo na količino in kakovost vode ter onesnaževanje voda.

Komunalna odpadna voda je voda v skladu s predpisom, ki ureja emisijo snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo.

Cilj čiščenja komunalne odpadne vode v skladu z Direktivo o čiščenju komunalne odpadne vode [91/271/EGS](#) (kakor je bila spremenjena z Direktivo [98/15/ES](#)) je zavarovati okolje pred škodljivimi učinki izpustov komunalne odpadne vode in industrijskih izpustov.

Direktiva določa minimalne standarde in časovne razporede za zbiranje, čiščenje in izpust odpadne komunalne vode, uvaja nadzor nad odlaganjem blata iz čistilnih naprav in zahteva opustitev odlaganja tega blata v morje. Iz sedmega poročila o izvajanju Direktive o čiščenju odpadne vode iz leta 2013 izhaja, da je bil do leta 2010 dosežen bistven napredek na poti do polnega izvajanja, vendar so bile v poročilu opredeljene tudi še vedno prisotne znatne razlike med državami članicami, kar zadeva ravni skladnosti, in sicer med državami EU-15 in državami članicami, ki so k EU pristopile leta 2004 ali pozneje. Sedmi okoljski akcijski program in načrt za varovanje evropskih vodnih virov poudarjata pomen zbiranja in čiščenja komunalne odpadne vode ([http://www.europarl.europa.eu/aboutparliament /sl/display FtU.html?ftuId=FTU\\_5.4.4.html, 2.6.2015](http://www.europarl.europa.eu/aboutparliament /sl/display FtU.html?ftuId=FTU_5.4.4.html, 2.6.2015)).

Pri čiščenju odpadnih vod uporabljamo vrsto fizikalnih, kemijskih in bioloških postopkov, s katerimi iz odpadne vode odstranjujemo različne vrste onesnaževal. V zadnjih letih se s postopki sekundarnega ali terciarnega čiščenja očisti čedalje več odpadne vode, medtem ko je postopkov samo primarnega čiščenja čedalje manj. Količina odpadne vode, ki je bila prečiščena s postopki sekundarnega čiščenja, se je od leta 2002 povečala za 2011 % ali iz 38 milijonov m<sup>3</sup> (v letu 2002) na 84 milijonov m<sup>3</sup> (v letu 2013). Postopkov terciarnega čiščenja odpadnih voda v letu 2002 v Sloveniji skoraj ni bilo, v letu 2013 pa je bilo po takih postopkih prečiščenih 43 % ali 65 milijonov m<sup>3</sup> odpadne vode.

## **2 ZAKONODAJA NA PODROČJU ODVAJANJA IN ČIŠČENJA ODPADNIH VOD**

### **2.1 VELJAVNA ZAKONODAJA V RS**

Področje odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode urejajo zakonski in podzakonski predpisi na področju emisij pri odvajanju odpadnih voda ter podzakonski predpisi na področju javnih služb varstva okolja.

Področje odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode urejajo zakonski in podzakonski predpisi na področju emisij pri odvajanju odpadnih voda ter podzakonski predpisi na področju javnih služb varstva okolja.

#### **2.1.1 Zakon o varstvu okolja**

Področje odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode urejajo predpisi, izdani na podlagi Zakona o varstvu okolja v povezavi z zakonodajo, ki ureja gospodarske javne službe, upravljanje z vodami, prostorsko načrtovanje, graditev objektov, javno zasebno partnerstvo, ipd.

#### **2.1.2 Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo**

Ta uredba določa pogoje v zvezi z zmanjševanjem onesnaževanja okolja zaradi odvajanja snovi in emisije toplote v vode, ki nastaja pri odvajanju komunalne, industrijske in padavinske odpadne vode ter njihovih mešanic v vode, npr.:

- mejne vrednosti emisije snovi v vode in javno kanalizacijo,
- mejne vrednosti emisije toplote v vode,
- vrednotenje emisije snovi in toplote in
- prepovedi, omejitve in druge ukrepe zmanjševanja emisije snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda.

### **2.2 Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav**

Ta uredba določa posebne zahteve v zvezi z emisijo snovi pri odvajanju odpadnih vod za komunalne čistilne naprave in območja s posebnimi zahtevami.

Za komunalne čistilne naprave v zvezi z emisijo snovi pri odvajanju odpadne vode med drugim določa:

- mejne vrednosti parametrov odpadne vode,
- mejne vrednosti učinkov čiščenja odpadne vode,

- posebne ukrepe v zvezi z načrtovanjem in obratovanjem komunalnih čistilnih naprav,
- prehodne roke za odvajanje in čiščenje komunalne odpadne vode, za dodatno obdelavo komunalne odpadne vode in za prilagoditev obstoječih komunalnih in skupnih čistilnih naprav.

### **2.2.1 Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz malih komunalnih čistilnih naprav**

Ta uredba določa posebne zahteve v zvezi z emisijo snovi pri odvajanju odpadne vode iz malih komunalnih čistilnih naprav, med drugim:

- mejne vrednosti parametrov odpadne vode,
- posebne ukrepe v zvezi z odvajanjem odpadne vode iz malih komunalnih čistilnih naprav glede na občutljivost vodnega okolja,
- posebne zahteve v zvezi z nadzorom obratovanja malih komunalnih čistilnih naprav in izvajanjem prvih meritev in obratovalnega monitoringa emisij malih komunalnih čistilnih naprav in
- prehodne roke za odvajanje in čiščenje komunalne odpadne vode in za dodatno obdelavo komunalne odpadne vode.

### **2.2.2 Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih voda ter o pogojih za njegovo izvajanje**

Ta pravilnik določa vrste parametrov odpadnih vod, ki so predmet prvih meritev in obratovalnega monitoringa odpadnih vod, metodologijo vzorčenja in merjenja parametrov in količin odpadnih vod, vsebino poročila o prvih meritvah in emisijskem monitoringu ter način in obliko sporočanja podatkov ministrstvu, pristojnemu za varstvo okolja.

### **2.2.3 Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne in padavinske odpadne vode**

Ta uredba določa vrste nalog, ki se izvajajo v okviru opravljanja storitev obvezne občinske gospodarske javne službe odvajanja in čiščenja komunalne in padavinske odpadne vode. Uredba določa tudi obveznosti občin in izvajalcev javne službe pri opravljanju javne službe. S to uredbo so določeni tudi standardi komunalne opremljenosti, ki morajo biti izpolnjeni za odvajanje in čiščenje komunalne odpadne vode.

### **2.2.4 Operativni program odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode**

Operativni program odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode je na področju varstva voda pred onesnaženjem eden ključnih izvedbenih aktov za doseganje ciljev iz Nacionalnega programa varstva okolja. Nanaša se na varstvo vseh površinskih in podzemnih voda na območju Republike Slovenije pred onesnaževanjem okolja, vnosom dušika ter fosforja in pred mikrobiološkim onesnaženjem zaradi odvajanja komunalne odpadne vode na s predpisi določenih območjih s posebnimi zahtevami zaradi odvajanja komunalne odpadne vode.

Operativni program odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode je izvedbeni akt, s katerim so določena območja poselitve, za katera je v predpisanih rokih obvezno zagotoviti odvajanje komunalne odpadne vode v javno kanalizacijo in ustrezno čiščenje na komunalni čistilni napravi. V njem so določena tudi območja poselitve, kjer je v predpisanih rokih potrebno zagotoviti ustrezno odvajanje in čiščenje komunalne odpadne vode z usmeritvami.

Operativni program odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode velja za celotno obdobje izgradnje javne kanalizacije oziroma, kjer to ni predpisano, zahteva ureditev odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode do leta 2017.

### **2.3 KLJUČNE ZAHTEVE SLOVENSKE ZAKONODAJE**

Ključne zahteve slovenske zakonodaje na področju odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode, ki se izvaja kot obvezna občinska gospodarska javna služba varstva okolja, so naslednje:

- zagotavljanje infrastrukture za odvajanje in čiščenje komunalne odpadne vode za območja poselitve s skupno obremenitvijo, enako ali večjo od 2.000 PE, skladno z zahtevami Direktive 91/271/EGS, pri čemer je končni rok za zagotovitev vseh zahtev 31. december 2015, z vmesnimi roki za območja poselitve s skupno obremenitvijo, enako ali večjo od 10.000 PE, na občutljivih območjih (31. december 2008) ter za območja poselitve s skupno obremenitvijo, enako ali večjo od 15.000 PE, na območjih (31. december 2010), ki niso določena kot občutljiva,
- poročanje o izvajanju predpisanih zahtev javnosti in Evropski komisiji, in sicer o stanju pri izvajanju predpisanih zahtev in o rezultatih monitoringa izpustov in stanja voda, v katere se odpadne vode izpuščajo,
- izvajanje obveznih nalog občinske gospodarske javne službe odvajanja in čiščenja komunalne in padavinske odpadne vode in poročanje o izvajanju javne službe v informacijski sistem IJSVO.

Slovenska zakonodaja je usklajena z zahtevami evropske zakonodaje, in sicer področje odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode na evropski ravni ureja Direktiva Sveta z dne 21. maja 1991 o čiščenju komunalne odpadne vode (91/271/EGS).

#### **2.3.1 Poročanje evropski komisiji**

Zahteve slovenske in evropske zakonodaje ter podatki in informacije glede dejanskega stanja pri izvajanju predpisanih zahtev so podrobneje obrazložene v poročilu o izvajanju Direktive 91/271/EGS:

- poročilo v skladu s 16. členom Direktive 91/271/EGS o stanju pri odvajanju komunalne odpadne vode in blata na nacionalni ravni in v skladu s 15. členom Direktive 91/271/EGS o rezultatih monitoringa izpustov iz komunalnih čistilnih naprav ter monitoringa voda, v katere se stekajo izpusti iz komunalnih čistilnih naprav,

- poročilo v skladu s 17. členom Direktive 91/271/EGS o izvajanju Operativnega programa odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode.

### **2.4 PRENOVA INFORMACIJSKEGA SISTEMA NA PODROČJU ODVAJANJA IN ČIŠČENJA KOMUNALNE ODPADNE VODE**

V okviru izvajanja Direktive 91/271/EGS je MKO pristopilo k projektu vzpostavitve prenovljenega informacijskega sistema za spremljanje stanja na področju odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode. V okviru prenovljenega informacijskega sistema bo vzpostavljen spletni pregledovalnik, ki bo omogočal vpogled v podatke o doseženi stopnji opremljenosti posameznih območij poselitve z javno infrastrukturo za odvajanje in čiščenje komunalnih odpadnih voda ter o doseganju predpisanih zahtev glede stopnje čiščenja komunalne odpadne vode iz posameznih območij poselitve.

### **2.5 POMEN IZRAZOV**

- naprava je nepremična ali premična tehnološka enota, v kateri poteka določen tehnološki proces in na istem kraju z njim drugi neposredno tehnološko povezani procesi, ki povzročajo pri odvajanju industrijske odpadne vode onesnaževanje voda. Naprave so tudi objekti in naprave javne kanalizacije, namenjene odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode, in lovilci olj ter zadrževalniki in čistilne naprave padavinske odpadne vode, ki odteka z utrjenih, tlakovanih ali z drugim materialom prekritih površin objektov;
- obstoječa naprava je naprava, ki je bila zgrajena ali je obratovala na dan uveljavitve te uredbe, in naprava, za katero je bilo pred uveljavitvijo te uredbe pridobljeno okoljevarstveno soglasje ali gradbeno dovoljenje;
- čistilna naprava je naprava za obdelavo odpadne vode, ki zmanjšuje ali odpravlja njeno onesnaženost;
- komunalna čistilna naprava je čistilna naprava za komunalno odpadno vodo ali za mešanico komunalne in padavinske odpadne vode;
- mala komunalna čistilna naprava je naprava za obdelavo komunalne odpadne vode z zmogljivostjo čiščenja manjšo od 2.000 PE, v kateri poteka biološka razgradnja s pospešenim prezračevanjem s pomočjo razpršene biomase ali s pritrjenim biološkim filmom ali biološka razgradnja z naravnim prezračevanjem s precejanjem skozi peščeni filter, s pomočjo rastlin, v prezračevanih lagunah ali naravnih lagunah, če je zagotovljeno posredno odvajanje vode v podzemne vode;
- industrijska čistilna naprava je čistilna naprava za industrijsko odpadno vodo ene ali več naprav, v katerih poteka isti ali več različnih tehnoloških procesov. Če se industrijska odpadna voda odvaja v javno kanalizacijo, je industrijska čistilna naprava namenjena prečiščenju industrijske odpadne vode;
- skupna čistilna naprava je čistilna naprava za mešanico komunalne ali padavinske odpadne vode ali obeh z industrijsko odpadno vodo, pri kateri delež obremenitve čistilne naprave, ki jo povzroča industrijska odpadna voda ene ali več naprav, presega



50 %, merjeno s kazalnikom kemijska potreba po kisiku (v nadaljnjem besedilu: KPK);

- lovilce olj je naprava za obdelavo odpadne vode z izločanjem lahkih tekočin, katere velikost, vgradnja, obratovanje in vzdrževanje je v skladu s standardom SIST EN 858-2 in je zgrajena ali kot gradbeni proizvod načrtovana, preskušena in označena v skladu s predpisi, ki urejajo gradbene proizvode;
- čistilna naprava padavinske odpadne vode je naprava za fizikalno, kemijsko ali fizikalno-kemijsko obdelavo padavinske odpadne vode zaradi zmanjševanja njene onesnaženosti;
- vodotok je vsaka stalno ali občasno tekoča celinska voda, ki izvira iz naravnih virov in teče v naravnih strugah ali umetno narejenih poglobitvah, in zajezena celinska voda, v kateri pride zaradi vodne zapore, hidroelektrarne ali jezua do upočasnitve vodnega toka, vendar zadrževalni čas vode zaradi zajezitve ni daljši od pet dni, pri čemer je zadrževalni čas razmerje med prostornino zajezene vode in letnim srednjim nizkim pretokom zajezene celinske vode;
- neposredno odvajanje odpadnih vod je odvajanje odpadnih vod v površinske vode ali odvajanje v podzemne vode brez precejanja skozi neomočene sedimente ali kamnine, ki so pod površjem tal;
- posredno odvajanje odpadnih vod je odvajanje odpadnih vod na površje tal ali s ponikanjem v tla, od koder pronicajo skozi neomočene sedimente ali kamnine v podzemne vode;
- parameter odpadne vode je po predpisanem merilnem postopku izmerjena temperatura, pH-vrednost, obarvanost, strupenost, koncentracija snovi ali podobna lastnost odpadne vode;
- količina snovi v odpadni vodi (v nadaljnjem besedilu: količina snovi) je masa izpuščenih snovi pri odvajanju odpadnih vod v določenem obdobju;
- emisijski faktor obremenjevanja pri odvajanju odpadne vode (v nadaljnjem besedilu: emisijski faktor) je razmerje med količino snovi v odpadni vodi in maso izdelka ali surovine;
- učinek čiščenja čistilne naprave je razmerje med količino snovi, izločene pri obdelavi odpadne vode, in količino te snovi v odpadni vodi pred čiščenjem na čistilni napravi in se izraža v odstotkih;
- razpršeno odvajanje padavinske vode je odvajanje padavinske vode z utrjenih, tlakovanih ali z drugim materialom prekritih površin objektov s prelivanjem preko njihovih mejnih robov ali pri odvajanju padavinske odpadne vode preko posamičnih iztokov ali preko jarkov za zbiranje in odvajanje padavinske vode iz teh površin;
- srednji nizki pretok vodotoka je aritmetično povprečje najnižjih letnih vrednosti pretoka vodotoka v daljšem opazovalnem obdobju.
- nevarne snovi v odpadni vodi (v nadaljnjem besedilu: nevarne snovi) so snovi ali skupine snovi, ki so zaradi svoje strupenosti, obstojnosti oziroma težke razgradljivosti in sposobnosti, da se kopičijo v okolju, določene v Seznamu I in Seznamu II v prilogi 1 te uredbe;

- kanalizacija je omrežje kanalskih vodov, kanalov in jarkov ter z njimi povezanih naprav, ki se povezujejo v kanalizacijsko omrežje in s pomočjo katerega se zagotavlja odvajanje odpadne vode iz stavb ali ločeno od njih oziroma skupaj z njimi tudi padavinske vode s streh in z utrjenih, tlakovanih ali z drugim materialom prekritih površin;
- javna kanalizacija so infrastrukturni objekti in naprave kanalizacije, namenjeni izvajanju občinske gospodarske javne službe odvajanja in čiščenja komunalne in padavinske odpadne vode. Priključki stavb na javno kanalizacijo, greznice in male čistilne naprave z zmogljivostjo, manjšo od 50 PE, niso objekti javne kanalizacije;
- razredčevanje je združevanje dveh ali več vrst odpadnih vod ali združevanje odpadnih vod z drugimi vodami pred iztokom z namenom, da bi z mešanjem voda dosegli zmanjšanje koncentracije snovi ali emisijskega deleža oddane toplote v odpadnih vodah;
- iztok je vodni objekt v skladu s predpisom na področju urejanja voda, ki ureja infrastrukturne vodne objekte, in je del naprave, preko katere se odvaja odpadna voda v vode;
- emisija toplote v vode (v nadaljnjem besedilu: emisija toplote) je oddajanje toplote pri odvajanju odpadne vode iz posamezne naprave neposredno v vode in se izraža kot emisijski delež oddane toplote;
- mejna vrednost emisije snovi ali emisije toplote (v nadaljnjem besedilu: mejna vrednost) je vrednost, na podlagi katere se določa čezmerna obremenitev pri emisiji snovi ali toplote v javno kanalizacijo ali v vode pri odvajanju odpadne vode in se izraža kot:
  - ✓ mejna vrednost parametra odpadne vode,
  - ✓ mejna vrednost letne količine nevarnih snovi,
  - ✓ mejni emisijski faktor,
  - ✓ mejna vrednost učinka čiščenja odpadne vode,
  - ✓ mejni emisijski delež oddane toplote;
- prve meritve so meritve emisije snovi ali emisije toplote, ki se izvedejo po prvem zagonu naprave ali po večji spremembi v obratovanju naprave;
- obratovalni monitoring odpadnih vod je v skladu s predpisom, ki ureja prve meritve in obratovalni monitoring odpadnih vod, vzorčenje odpadne vode po vnaprej določenem programu, merjenje in vrednotenje parametrov odpadne vode med uporabo ali obratovanjem naprave;
- občasne meritve so meritve emisije snovi in emisije toplote v okviru obratovalnega monitoringa, ki se izvajajo med uporabo ali obratovanjem naprave v predpisanih časovnih presledkih;
- trajne meritve so meritve emisije snovi in emisije toplote v okviru obratovalnega monitoringa, ki se izvajajo med uporabo ali obratovanjem naprave ves čas brez prekinitve;
- populacijski ekvivalent (v nadaljnjem besedilu: PE) je enota za obremenjevanje vode, izražena v BPK<sub>5</sub>. PE je enak 60 g BPK<sub>5</sub>/dan;

## **Odvajanje in čiščenje odpadnih vod**

---

- zadrževalnik padavinske odpadne vode je objekt ali več objektov za izravnavanje sunkovitih in povečanih iztokov padavinske odpadne vode posredno ali neposredno v vode, v čistilno napravo padavinske odpadne vode ali v javno kanalizacijo;
- zadrževalni čas je čas zadrževanja odpadne vode v čistilni napravi, izračunan kot količnik med prostornino bazenov in dnevnim pretokom na dotoku, pri čemer se povratni tokovi ne štejejo za dotok odpadne vode.

### 3 VRSTE IN KOLIČINE ONESNAŽENIH VODA

Odpadne vode običajno delimo glede na izvor in vrsto onesnaženosti.

#### 3.1 KOMUNALNA ODPADNA VODA

Komunalna odpadna voda je 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 stavbah v javni rabi ali pri kakršnikoli dejavnosti, če je po nastanku in sestavi podobna vodi po uporabi v gospodinjstvu. Komunalna odpadna voda je tudi odpadna voda, ki nastaja kot industrijska odpadna voda v proizvodnji ali storitveni ali drugi dejavnosti ali mešanica te odpadne vode s komunalno ali padavinsko odpadno vodo, če je po naravi ali sestavi podobna odpadni vodi po uporabi v gospodinjstvu, njen povprečni dnevni pretok ne presega 15 m<sup>3</sup>/dan, njena letna količina ne presega 4.000 m<sup>3</sup>, obremenjevanje okolja zaradi njenega odvajanja ne presega 50 PE in pri kateri za nobeno od nevarnih snovi letna količina ne presega količine nevarnih snovi, določene v preglednici 1 iz priloge 3, ki je sestavni del te uredbe.

#### 3.2 INDUSTRIJSKA ODPADNA VODA

Industrijska odpadna voda je voda, ki nastaja predvsem pri uporabi v industriji (npr. tekstilna industrija, usnjarska industrija, proizvodnja kovinskih izdelkov, proizvodnja stekla, reja domačih živali, proizvodnja olja in maščob, emisije v povezavi z motornimi vozili, zdravstvena dejavnost,...), obrtni ali obrti podobni ali drugi gospodarski dejavnosti in po nastanku ni podobna komunalni odpadni vodi. Industrijska odpadna voda so tudi hladilne vode in tekočine, ki se zbirajo in odtekajo iz obratov ali naprav za predelavo, skladiščenje ali odlaganje odpadkov.

#### 3.3 PADAVINSKA ODPADNA VODA

Padavinska (meteorna) odpadna voda je voda, ki kot posledica meteorskih padavin odteka v vode ali se odvaja v javno kanalizacijo onesnažena iz utrjenih, tlakovanih ali z drugim materialom prekritih površin.

Količina odtoka padavinskih vod se spreminja, ko ni padavin, je ni, močno pa naraste, ko so padavine, še posebno ob nalivih, ko so količine lahko zelo velike – tudi do 100-krat večje od količine odpadnih voda. Padavinska voda nosi s seboj droben pesek, zato je njena največja dovoljena hitrost 3 m/s.

#### 3.4 KOLIČINA ODPADNE VODE

Ko se odločimo za nek kanalizacijski sistem (mešani ali ločeni), ko določimo potek (lego) kanalizacije, ko v situacijo vrišemo osi kanalov, ko kanale oštevilčimo, ko predvidimo smer

odtoka, izračunamo **prispevne površine** (ploskve, s katerih odtekajo vode v obravnavani kanal). Vode naj odtekajo po najkrajši poti, zato prispevne površine med seboj ločimo s simetralami kotov, izračunamo pa v hektarih (ha). Prispevne površine naj imajo isto številko kot obravnavani odseki. Pri dimenzioniranju posameznega kanala upoštevamo tudi vodo, ki priteče v ta kanal iz višje ležečih odsekov.

Če so s splošno emisijsko uredbo za posamezno napravo ali čistilno napravo trajne meritve pretoka odpadne vode posebej predpisane, se letna količina odpadne vode ugotavlja neposredno z meritvami na iztoku iz take naprave.

Trajne meritve pretoka odpadne vode se lahko namesto na iztoku izvajajo na vtoku v napravo, če je mogoče dokazati povezavo med obema pretokoma.

Če s splošno emisijsko uredbo trajne meritve pretoka odpadne vode niso posebej predpisane, se letna količina odpadne vode ugotavlja posredno iz podatkov o:

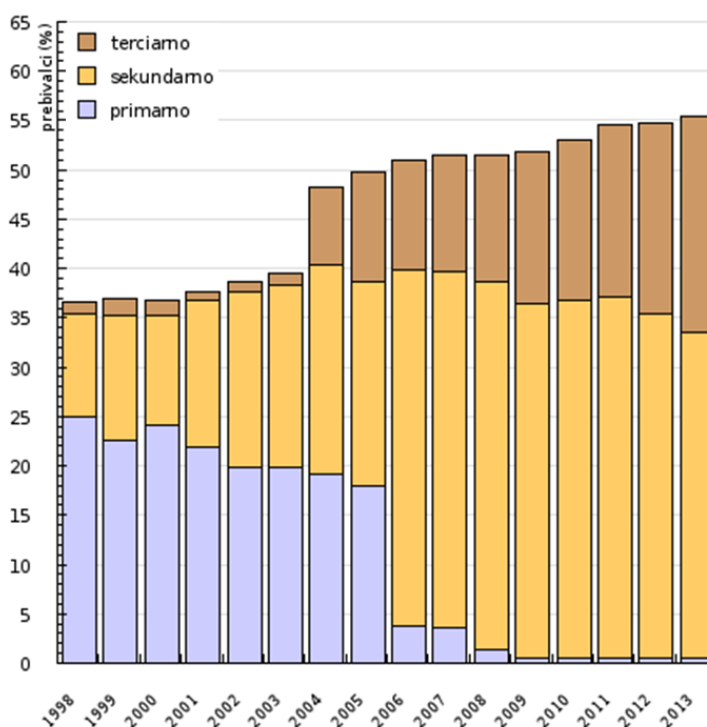
- porabi vode,
- ocenjenem deležu porabljene vode, ki se po uporabi odvaja po obravnavanem iztoku,
- prostornini izravnalnih bazenov ali prostornini posod pri šaržni obdelavi odpadne vode in o pogostosti njihovega praznjenja.

Letna količina odpadne vode se ugotavlja za koledarsko leto, na katero se nanašajo meritve obratovalnega monitoringa.

Kazalec prikazuje količino industrijske in komunalne odpadne vode ter delež prebivalcev, katerih odpadne vode se čistijo na komunalnih in skupnih čistilnih napravah, razvrščenih glede na stopnjo čiščenja po metodologiji iz Direktive o čiščenju komunalne odpadne vode (slika 1 in 2). Metodologijo povzema tudi slovenska Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz komunalnih čistilnih naprav. V grobem določa, da je primarno čiščenje mehansko oziroma kemično. Odstrani manjši del organskih obremenitev in del obremenitev z usedljivimi snovmi. Sekundarno čiščenje je v splošnem biološko. Odstrani pretežni del obremenitev z organskimi snovmi in del (20 % do 30 %) hranil. Terciarno čiščenje je tisto, ki poleg organskih obremenitev odstrani pretežni del obremenitev s hranili (dušik fosfor).

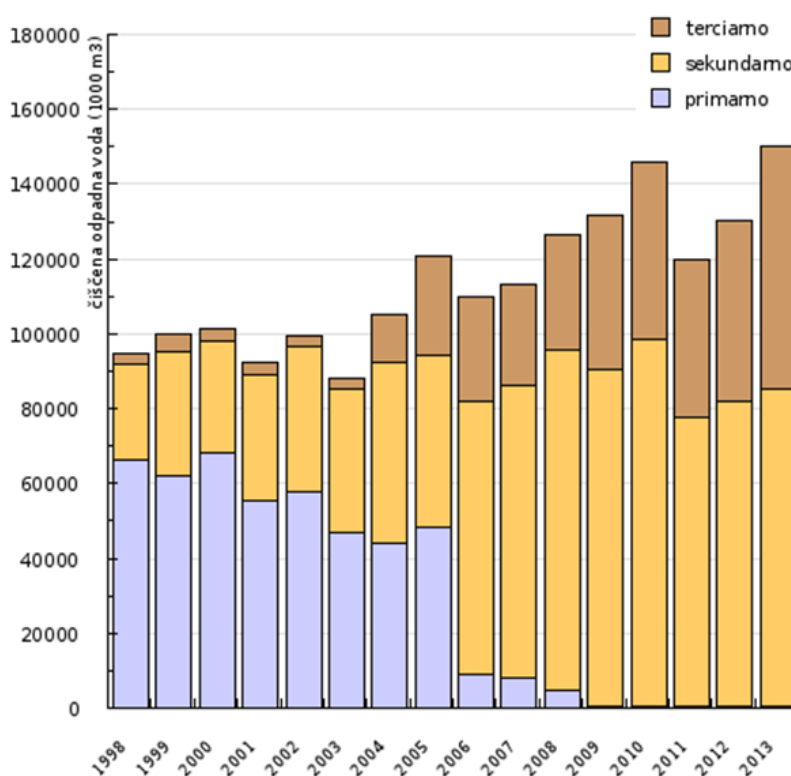
Sistem čiščenja odpadnih voda je v državah članicah Evropske unije različno razvit. Približno 70 % prebivalstva Evropske unije je priključenih na čistilne naprave. Ta delež je največji na Nizozemskem, in sicer je tam priključenih na čistilno napravo 99 % prebivalcev. V Španiji, Nemčiji, Italiji in Avstriji je ta delež 90-odstoten. V Sloveniji je po podatkih iz leta 2013 ta delež 55-odstoten, to pomeni, da spadamo med države, v katerih je delež prebivalstva, priključenega na komunalne in skupne čistilne naprave, majhen in da slaba polovica prebivalstva v Sloveniji še vedno uporablja greznice. Od tega slab odstotek predstavljajo male komunalne čistilne naprave z zmogljivostjo manjšo od 50 PE.

## Odvajanje in čiščenje odpadnih vod



Slika 1: Delež prebivalcev Slovenije, katerih komunalne odpadne vode so se v posameznem letu čistile na komunalnih ali skupnih čistilnih napravah z določeno stopnjo čiščenja

Vir: [http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind\\_id=597](http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=597) (15. 12. 2014)



Slika 2: Količina čiščene odpadne vode na leto na komunalnih ali skupnih čistilnih napravah z določeno stopnjo čiščenja

Vir: [http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind\\_id=597](http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=597) (15. 12. 2014)

### 3.5 OPERATIVNI PROGRAM ODVAJANJA IN ČIŠČENJA KOMUNALNE ODPADNE VODE

Operativni program odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode (operativni program na tem področju povzema zahteve iz Urban Wastewater Directive in prehodnih obdobjih za izvajanje te direktive, dogovorjenih v pristopnih pogojih) v povezavi z Uredbo o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz komunalnih čistilnih naprav (Uradni list RS, št. 45/07, 63/09 in 105/10), Uredbo o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz malih komunalnih čistilnih naprav (Uradni list RS, št. 98/07 in 30/10) ter Uredbo o odvajanju in čiščenju komunalne in padavinske odpadne vode (Uradni list RS, št. 88/11, 8/12 in 108/13), je postavil cilj:

- zgraditi komunalne čistilne naprave z zmogljivostjo čiščenja, enako ali večjo od 2.000 PE, ki bodo zagotavljale najpozneje do 31. 12. 2015:
  - sekundarno čiščenje,
  - terciarno čiščenje na prispevnih območjih občutljivih območij zaradi eutrofikacije in/ali prispevnem območju kopalnih voda,
  - terciarno čiščenje za območje poselitve z obremenitvijo, enako ali večjo od 10.000 PE, na vodnem območju Donave, ki niso na prispevnem območju občutljivih območij,
  - terciarno čiščenje, če se odpadna voda odvaja v tekočo površinsko vodo, katere srednji mali pretok vodotoka je manjši od desetkratnika največjega šesturnega povprečnega pretoka odpadne vode iz komunalne čistilne naprave,
  - poleg terciarnega čiščenja tudi dodatno mikrobiološko obdelavo na vplivnem območju občutljivih območij zaradi kopalnih voda,
  - dodatno mikrobiološko obdelavo za posredno odvajanje v podzemne vode na območju kraških in razpoklinskih vodonosnikov.
  
- zgraditi male komunalne čistilne naprave z zmogljivostjo čiščenja, enako ali večjo od 50 PE in manjšo od 2.000 PE, ki bodo zagotavljale:
  - sekundarno čiščenje na prispevnem območju občutljivega območja ali na vplivnem območju kopalnih voda ali na vodovarstvenem območju na območjih poselitve z obremenitvijo, večjo od 10 PE/ha, ali na območju poselitve z obremenitvijo, večjo od 20 PE/ha, če ni vnaprej navedenih občutljivih območjih, najpozneje do 31. 12. 2015,
  - sekundarno čiščenje z dodatnim mikrobiološkim čiščenjem v času kopalne sezone na vplivnem območju kopalnih voda, kadar gre za posredno odvajanje v podzemno vodo ali neposredno odvajanje v površinsko vodo, srednji mali pretok vodotoka pa mora presežati desetkratnik največjega šesturnega povprečnega iztoka iz male komunalne čistilne naprave, najpozneje do 31. 12. 2015,
  - sekundarno čiščenje na območju poselitve, ki ni na prispevnem območju občutljivega območja ali na vplivnem območju kopalnih voda ali na vodovarstvenem območju z gostoto obremenjenosti, manjšo od 20 PE/ha, najpozneje do 31.12.2017.

## Odvajanje in čiščenje odpadnih vod

---

- zgraditi male komunalne čistilne naprave z zmogljivostjo čiščenja, manjšo od 50 PE, če ni javne kanalizacije in je letna obremenitev, preračunana na 1 m dolžine kanalskega voda, manjša od 0,02 PE:
  - na prispevnem območju občutljivega območja ali na vplivnem območju kopalnih voda ali na vodovarstvenem območju, tako da bodo zagotavljale sekundarno čiščenje, najpozneje do 31. 12. 2015.
  - in če niso na občutljivem območju iz prejšnjega odstavka in bodo zagotavljale sekundarno čiščenje, najpozneje do 31. 12. 2017.
  - v izjemnih primerih, kjer čiščenje komunalne odpadne vode v mali komunalni čistilni napravi tehnično ni izvedljivo in se bo komunalna odpadna voda odvajala in zbirala v nepretočni greznici, tudi po 31. 12. 2017.



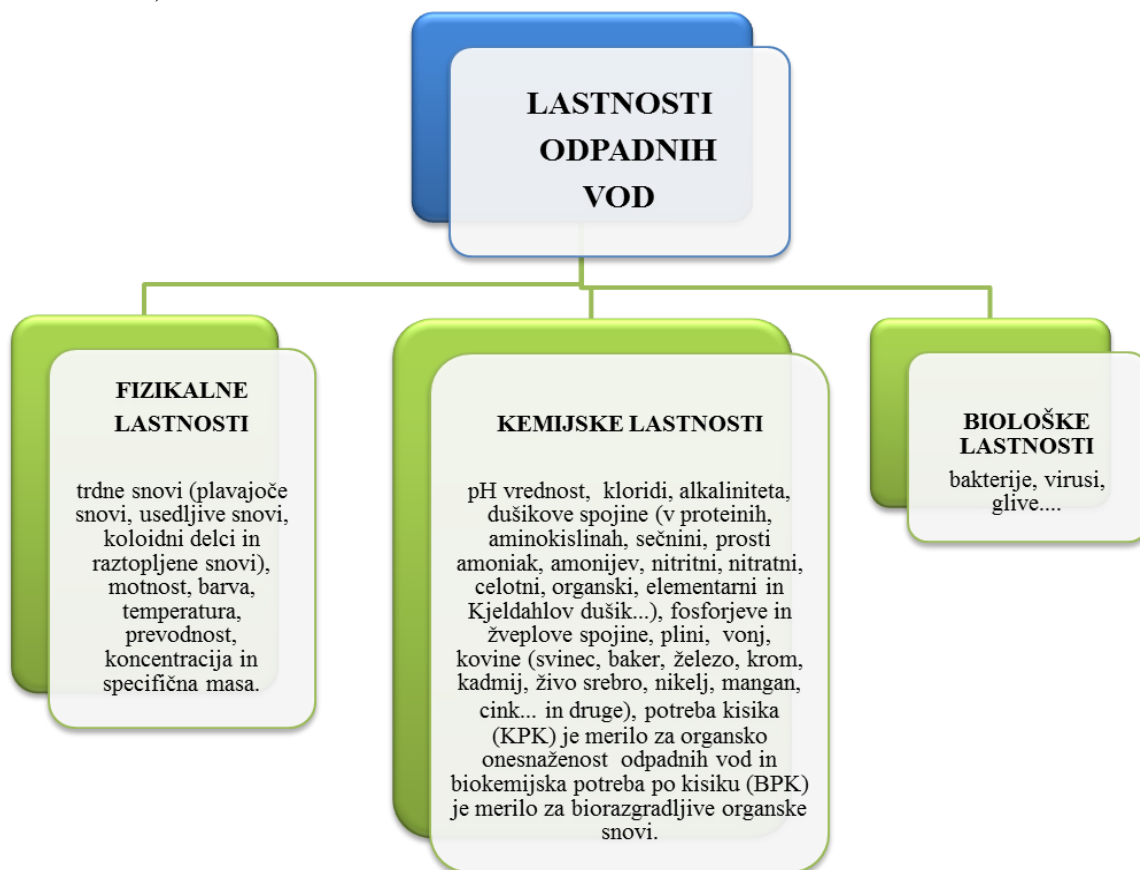
### 4 SESTAVA IN LASTNOSTI ODPADNIH VOD

#### 4.1 LASNOSTI ODPADNIH VOD

Pri ugotavljanju učinkovitosti čiščenja odpadnih vod v čistilnih napravah so v glavnem zanimivi sledeči parametri:

- količina neraztopljenih (suspendiranih) snovi,
- kemijska in biokemijska potreba po kisiku,
- onesnaženost z dušikovimi in fosfornimi spojinami ter
- bakteriološka onesnaženost.

Narava odpadne vode vključuje fizikalne, kemijske in biološke lastnosti (slika 3), ki so odvisne od uporabe vode v naseljih (vaseh ali mestih), od prispevka industrije in trgovine, vremena in infiltracije (dotoka) t.i. tujih vod (vode, ki dotekajo v kanalizacijski sistem zaradi netesnih cevi).



Slika 3: Lastnosti odpadnih vod  
Vir: Lasten

### 4.2 FIZIKALNE LASTNOSTI

#### 4.2.1 Trdni delci

Odpadna voda vsebuje vrsto trdnih suspendiranih snovi, ki se razlikujejo po velikosti delcev, in sicer vsebuje od krp do koloidnih delcev. Pri določanju lastnosti odpadnih vod se najbolj grobi material običajno odstrani pred vzorčenjem za analizo trdnih snovi.

#### 4.2.2 Motnost

Motnost je merilo za prepustnost svetlobe skozi vodo in je odvisna od prisotnosti koloidnih delcev in finih suspendiranih snovi. Splošno je znano, da ni zveze med motnostjo in koncentracijo celotnih suspendiranih snovi v surovi (neobdelani) odpadni vodi. Obstaja pa določena zveza med motnostjo in celotnimi suspendiranimi snovmi usedene in filtrirane vode po procesu biološkega čiščenja (iztok iz bistrilnika). Na splošno velja zveza:

$$\text{TSS} = \text{TSS}_f \times T \quad \text{kjer je:}$$

TSS mg/l – celotne suspendirane snovi, mg/l

TSS<sub>f</sub> – faktor za pretvorbo motnosti glede na TSS, (mg/l TSS)/NTU

T – motnost, NTU

Za usedeno blato v bistrilniku je ta faktor med 2,3 in 2,4. Po filtriranju skozi grobi peščeni filter pa je faktor med 1,3 in 1,6.

#### 4.2.3 Temperatura vode

Temperatura vode je zelo pomemben parameter, ker vpliva na kemijske reakcije in reakcijske hitrosti, vodno življenje in primernost vode za koristno uporabo. Povečanje temperature lahko npr. povzroči spremembe v vrstah rib, ki živijo v tekočih vodah. Industrijske ustanove, ki uporabljajo površinsko vodo za hlajenje, posebej kontrolirajo iztoke po hlajenju, da ne povzročijo prevelikega dviga temperature v tekočih vodah.

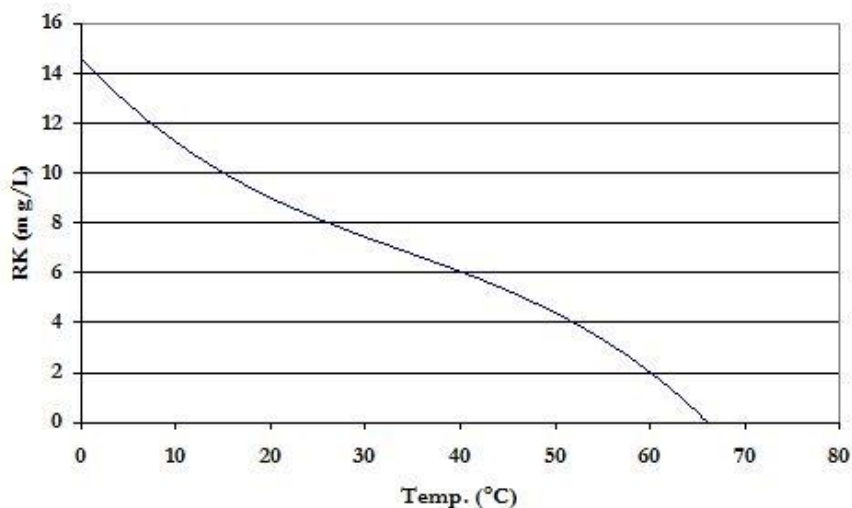
Poleg tega je topnost kisika nižja pri višjih temperaturah, biološki procesi pa se intenzivirajo s povišanjem temperature. Topnost raztopljenega kisika opišemo z enačbo:

$$RK_{\text{nasič.}} = 14,625 - 0,41022 \times T + 0,0079910 \times T^2 - 0,00077774 \times T^3$$

Kjer je:  $RK_{\text{nasič.}}$  – koncentracija nasičenja raztopljenega kisika, mg/l;  $T$  – temperatura vode, °C

#### 4.2.4 Odvisnost topnosti raztopljenega kisika od temperature

Na diagramu (slika 4) vidimo, da topnost raztopljenega kisika (nasičena koncentracija) pada z naraščanjem temperature in pri cca. 67 °C je nič.



Slika 4: Odvisnost topnosti raztopljenega kisika od temperature brez zasoljenosti

Vir: [http://egradiva.minet.si/mod/scorm/player.php?a=565&currentorg=eXeadnih\\_voda499a0be61\\_dd90cfcff892&scoid=22875](http://egradiva.minet.si/mod/scorm/player.php?a=565&currentorg=eXeadnih_voda499a0be61_dd90cfcff892&scoid=22875) (7. 12. 2014)

### 4.2.5 Barva

Barva in vonj sta močno odvisna od vrste in starosti odpadne vode. Surova komunalna odpadna voda je svetlo rjavkastosive barve. Po določenem času, ko teče po kanalizacijskem sistemu, postaja temno siva, če pa so v sistemu anaerobni pogoji, lahko postane sivočrne barve, ki jo povzročajo sulfidi.

Reka Jamuna v Indiji je največji pritok svete reke Ganges. Ocenjujejo, da se naravnost vanjo izliva približno 58 % vseh odplak New Delhija. Vodo iz Jamune, polno odplak in zato strupeno, še zmeraj uporabljajo milijoni Indijcev za pranje, umivanje in celo za pitje (slika 5).



Slika 5: Indijska reka Jamuna

Vir: [http://www.genspot.com/Bookmarks/BookmarkIframe.aspx?bookmark\\_id=25232](http://www.genspot.com/Bookmarks/BookmarkIframe.aspx?bookmark_id=25232) (15. 1. 2011)

### 4.2.6 Koncentracija in specifična masa

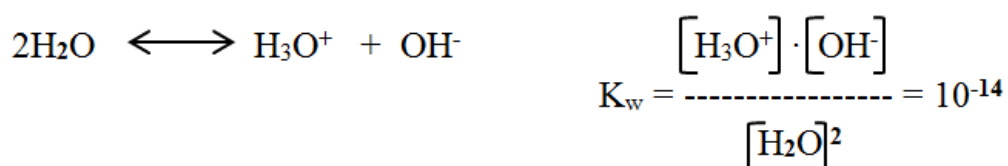
Koncentracija je definirana kot masa na enoto volumna in jo izražamo v g/L ali kg/m<sup>3</sup>. Specifična masa (gostota) tekočine (fluida) je masa na enoto volumna, izražamo jo kot kg/m<sup>3</sup>.

## 4.3 KEMIJSKE LASTNOSTI ODPADNIH VOD

### 4.3.1 pH

Ker je molekula vode polarna, se v njej najboljše topijo snovi z ionskimi in s polarnimi kovalentnimi vezmi.

Koncentracija hidronijevih ionov je zelo pomemben parameter za naravne in odpadne vode. Del molekul vode disocirra po reakciji:



pH izrazimo z:

$$\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}_3\text{O}^+]$$

Pri pH = 7 sta koncentraciji oksonijevih in hidroksilnih ionov enaki; pH = 7 nevtralno.

Če se koncentracija oksonijevih ionov povečuje, se pH znižuje; pH pod 7 kislo.

Če se koncentracija oksonijevih ionov zmanjšuje, se pH viša; pH nad 7 bazično.

Sprejemljiva vrednost pH za vode v naravi je med 6,5 in 8,5.

### 4.3.2 Kloridi

Klorid je sestavina odpadne vode, ki lahko vpliva na ponovno uporabo obdelane odpadne vode. Kloridi v naravi so rezultat izpiranja kamenin, ki vsebujejo kloride, in trdnih snovi, s katerimi pride voda v stik, ter v obalnih področjih zaradi vdora slane vode. Vir kloridov so tudi domače, kmetijske in industrijske odpadne vode, ki jih spuščamo v površinske vode.

### 4.3.3 Dušik

Elementa dušik in fosfor sta bistvena za rast mikroorganizmov, rastlin in živali in ju imenujemo hraniva (nutrienti) ali biostimulatorji. Poleg dušika in fosforja so pomembni tudi elementi v sledovih, kot so železo, žveplo, kalij, magnezij, kalcij, natrij, klor, ter minerali v izredno majhnih količinah, kot so cink, mangan, molibden, selen, kobalt, baker in nikelj. Ker je dušik eden osnovnih gradnikov beljakovin, je tudi nujno potreben pri biološkem čiščenju.

Snovni vir dušikovih spojin so:

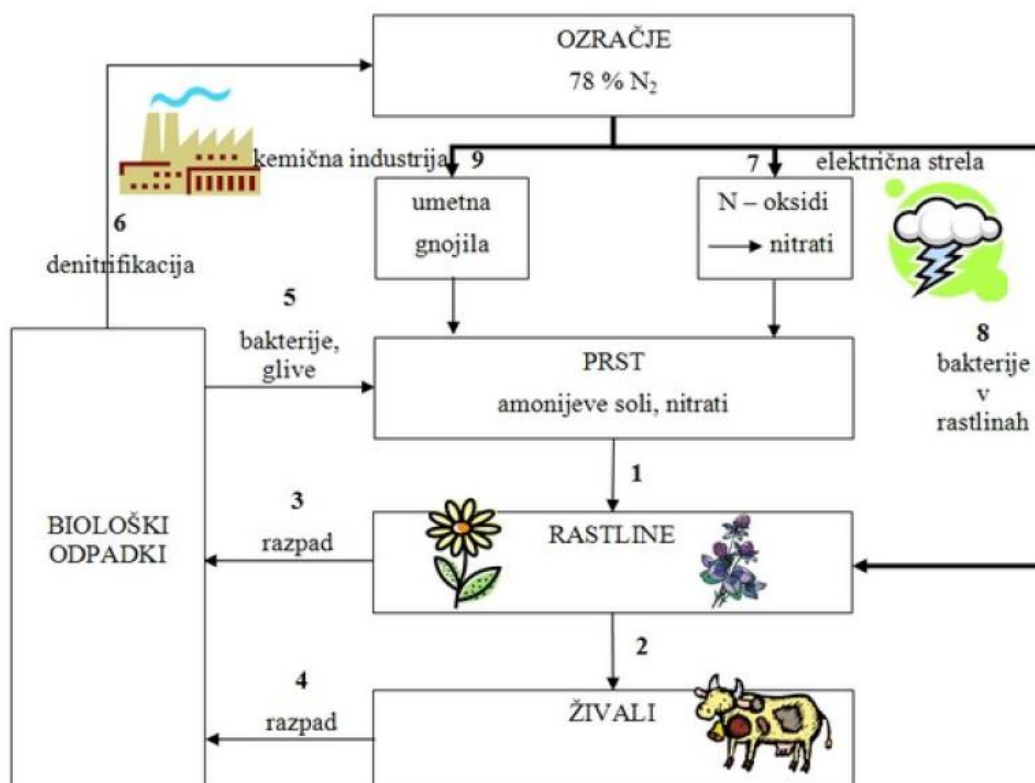
- ✓ dušikove spojine, ki nastajajo v rastlinah in živalih,

## Odvajanje in čiščenje odpadnih vod

- ✓ natrijev nitrat, ki ga najdemo kot mineralni depozit (npr. v Čilu),
- ✓ atmosferski dušik.

Kemija dušika je zelo zapletena, ker ga najdemo v različnih oksidacijskih stanjih. V odpadnih vodah se dušik lahko pojavlja v naslednjih oblikah: kot organsko vezani dušik, amonijev dušik ( $\text{NH}_4^+$ ), nitritni dušik ( $\text{NO}_2^-$ ) in nitratni dušik ( $\text{NO}_3^-$ ), odvisno od onesnaženja, ki je prisotno v odpadni vodi, in od redukcijsko-oksidacijskega stanja vode.

Dušik neprestano kroži med zrakom, prstjo, rastlinami in živalmi. To kroženje imenujemo kroženje dušika ali dušikov ciklus (slika 6).



Slika 6: Dušikov cikel

Vir: [http://ekemija.osbos.si/e-gradivo/6-sklop/kroenje\\_duika.html](http://ekemija.osbos.si/e-gradivo/6-sklop/kroenje_duika.html) (18. 4. 2015)

### 4.3.4 Fosfor

Fosfor je tudi bistven za rast alg in ostalih bioloških organizmov. Zaradi čezmerne rasti alg v površinskih vodah je treba v njih kontrolirati količino fosforja. Komunalne odpadne vode vsebujejo med 4 in 16 mg/l fosforja.

Fosfor se v naravnih in odpadnih vodah nahaja v različnih oblikah, kot so organsko vezani fosfor, polifosfati in ortofosfati. Za biološko rast so primerni le ortofosfati, polifosfati pa morajo pred uporabo hidrolizirati.

### 4.3.5 Žveplo

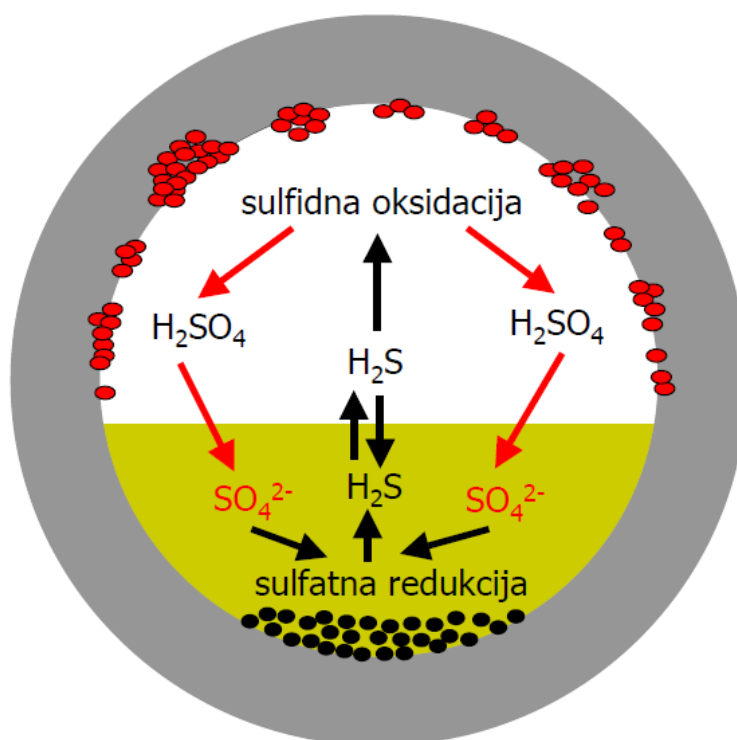
Žveplo je potrebno za sintezo proteinov in se sprošča pri njihovi razgradnji. Sulfatni ion se pojavlja v večini vodovodov, prisoten pa je tudi v odpadnih vodah. Sulfat se biološko reducira pri anaerobnih pogojih v sulfid, ki ob prisotnosti vodika tvori strupeni vodikov sulfid ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

Plin vodikov sulfid, ki z odpadno vodo difundira v kanalizacijski sistem, se nabira na površinah kanalov.

Akumuliran vodikov sulfid ( $\text{H}_2\text{S}$ ) se lahko biološko oksidira v žveplovno kislino, ki je korozivna za kanalizacijski sistem.

Sulfati se reducirajo v sulfide v gniliščih (reaktorjih za anaerobno predelavo blata) in lahko zavirajo biološke procese, če koncentracija sulfidov preseže 200 mg/l. Plin vodikov sulfid ( $\text{H}_2\text{S}$ ), ki se razvija in meša z bioplinom ( $\text{CH}_4 + \text{CO}_2$ ), je koroziven za plinske napeljave, in če se tak plin sežiga, lahko produkti izgorovanja poškodujejo motor, izpušni plini pa so korozivni tudi za sisteme ponovne uporabe toplote.

V kanalizacijskih ceveh je veliko organske snovi in v anaerobnem okolju prihaja do sulfatne redukcije.  $\text{H}_2\text{S}$  gre preko vodne interfaze v aerobno okolje, kjer ga kemolitotrofi pretvorijo v sulfat. Žveplena kislina ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) reagira s  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  v ceveh in nastaja  $\text{CaSO}_4$ , ki je mehak in odstopa. Letno lahko korodira do 4.5 mm cevi. Kroženje žvepla v kanalizacijski cevi (slika7).



Slika 7: Kroženje žvepla v kanalizacijskih ceveh

Vir: <http://web.bf.uni-lj.si/zt/mikro/homepage/krozenjeZVEPLO.pdf> (20. 5. 2015)

### 4.3.6 Plini

V neobdelanih (surovih) odpadnih vodah lahko najdemo pline, kot so dušik (N<sub>2</sub>), kisik (O<sub>2</sub>), ogljikov dioksid (CO<sub>2</sub>), vodikov sulfid (H<sub>2</sub>S), amoniak (NH<sub>3</sub>) in metan (CH<sub>4</sub>). Prvi trije plini izvirajo iz atmosfere in jih najdemo v vseh vodah, ki so izpostavljene zraku. Zadnji trije plini izvirajo iz anaerobne razgradnje organskih snovi, prisotnih v odpadnih vodah, in jih je treba upoštevati zaradi varnosti za zdravje. Pri obdelavi odpadne vode moramo biti pozorni tudi na klor (Cl<sub>2</sub>) in ozon (O<sub>3</sub>), ki ju uporabljamo pri dezinfekciji.

### 4.3.7 Vonj

Vonj v komunalni odpadni vodi povzročajo plini, ki nastajajo pri razgradnji organskih snovi, prisotne v odpadni vodi (npr. sulfid, amoniak). Sveža odpadna voda ima značilen neprijeten vonj, ki je manj neprijeten od vonja odpadne vode, ki je bila izpostavljena anaerobnim pogojem (pogojem brez prisotnosti kisika). Najbolj značilen vonj sečnine in zagnite (septične) odpadne vode je vodikov sulfid. Industrijske odpadne vode lahko vsebujejo ostale dišeče (smrdeče) snovi ali snovi, ki proizvajajo vonjave med procesom obdelave (čiščenja) odpadne vode.

### 4.3.8 Kovine

Sledovi mnogih kovin, kot so kadmij (Cd), krom (Cr), baker (Cu), železo (Fe), svinec (Pb), mangan (Mn), živo srebro (Hg), nikelj (Ni) in cink (Zn), so pomembne sestavine mnogih voda. Nekatere od teh kovin so tudi razvrščene kot prioriteta onesnaževala. Kakorkoli večina teh kovin je potrebna za ohranjanje življenja. Odsotnost zadostnih količin teh kovin lahko omeji, npr. rast alg, čezmerne količine pa lahko negativno vplivajo na druge žive organizme. Vir sledov kovin v odpadnih vodah so izpusti iz gospodinjstev, infiltracija podtalnice in industrijski izpusti.

### 4.3.9 Skupne organske snovi

Organske spojine so navadno sestavljene iz kombinacije ogljika, vodika in kisika, v nekaterih primerih skupaj z dušikom. Organske spojine v odpadni vodi običajno vsebujejo proteine (40 do 60 %), ogljikove hidrate (25 do 50 %) ter olja in maščobe (8 do 12 %). Sečnina, glavna sestavina urina, je naslednja pomembna organska spojina, ki prihaja v svežo vodo. Zaradi hitre razgradnje jo redko najdemo, razen v sveže onesnaženi vodi. Poleg proteinov, ogljikovodikov, maščob in olj ter sečnine vsebuje odpadna voda manjše količine velikega števila sintetičnih organskih spojin, od enostavnih struktur do zelo kompleksnih.

### 4.3.10 Meritve vsebnosti organskih spojin

Na splošno lahko razdelimo analize skupnih organskih spojin v tiste, ki jih merimo v miligramih na liter, in tiste, kjer merimo v sledovih, to je v koncentracijah reda velikosti 10<sup>-12</sup> do 10<sup>-3</sup> mg/l. Laboratoriji uporabljajo običajno metode, kot so:

- biokemijska potreba po kisiku (BPK),
- kemijska potreba po kisiku (KPK),
- celotni (totalni) organski ogljik (TOC).

Če poznamo kemijsko formulo, lahko določimo tudi teoretično kemijsko potrebo po kisiku (TKPK).

Ostale metode, ki jih uporabljajo v vodnih laboratorijih, so:

- ✓ dušikove spojine (Kjeldahlov dušik, amonijev dušik, nitritni in nitratni dušik),
- ✓ fosforjeve spojine (celotni fosfor, ortofosfor),
- ✓ poraba kisika.

Sledove organskih spojin v območju  $10^{-12}$  do  $10^{-3}$  mg/l določamo z uporabo instrumentalnih metod, ki vključujejo plinsko kromatografijo in masno spektroskopijo.

### 4.4 BIOLOŠKE LASTNOSTI ODPADNIH VOD

Glavne skupine mikroorganizmov, ki jih najdemo v odpadnih vodah, so: bakterije, glive, praživali, mikroskopske rastline in živali ter virusi. Večina mikroorganizmov (bakterije, praživali) je koristna za procese biološkega čiščenja odpadnih vod. Vseeno pa moramo posvetiti posebno pozornost nekaterim patogenim bakterijam, glivam, praživalim in virusom, ki jih najdemo v odpadnih vodah.

#### 4.4.1 Indikatorske bakterije

Patogeni organizmi se v odpadni vodi običajno pojavijo zaradi človeških izločkov iz prebavnega trakta. Bolezni, ki jih dobimo z vodo, so: kolera, tifus, paratifus, diareja in griža. Običajno je število patogenih organizmov v odpadni vodi majhno, zato jih je težko izolirati in diferencirati. Bakterije določamo kot celotni oz. totalni koliformi (TC), fekalni koliformi (FC) in fekalni streptokoki (FS).



### 5 PRETOKI IN MASNE BILANCE

#### 5.1 Merjenje pretoka odpadnih vod

Poznamo dva modela transporta odpadne vode in dva ustrezna načina merjenja količine vode oziroma pretoka. To sta:

- odprti kanali, kjer je površina odpadne vode izpostavljena atmosferi. V tem primeru je pretok ( $Q$ ) funkcija globine vode v kanalu:  $Q = f(h)$ ;
- zaprti sistemi, kjer je tekočina v cevi, ki je običajno polna. Tu je pretok odvisen od hitrosti toka:  $Q = f(v)$ .

Uporabljata se lahko oba sistema. Odprti kanali izkoriščajo za svoj tok gravitacijo, medtem ko so za zaprte sisteme potrebne ustrezne črpalke.

Večina odpadnih vod se pretaka v odprtih kanalih, zato si bomo ogledali te sisteme. Odpadna voda v odprtih kanalih je izpostavljena atmosferi, zato kanal običajno ni nikoli popolnoma poln. Za merjenje pretoka je del preseka kanala zožen, kjer se pretok pospeši. Poznavanje hitrosti tekočine in mokri del preseka dovoljujeta izračun količine toka vode v časovni enoti oziroma pretoka. Poznamo tri vrste odprtih kanalov kot merilnih sistemov:

- jezove (pregrade): vrh jezov je višji od gornjega nivoja vode;
- talni jez: vrh jezov je nižji od nivoja vode (preliv);
- Venturijevi kanali: kanali posebne konstrukcije.

Najbolj znani jezovi so tisti, ki imajo ravne robove, znani kot Thompsonov oziroma Cipolettijev jez. Manj uporabljeni so jezovi s parabolično ali hiperbolično odprtino. Drugi znani tip merilne konstrukcije je kanal, ki ga je konstruiral Venturi.

Jezovi za odpadno vodo so primerni samo takrat, ko je tok vode prost vzdolž toka in se jez oziroma pregrada ne maši, ali se zaradi večjih delcev v odpadni vodi ne ovira pretok skozi jez. Pogoji za učinkovito merjenje pretoka na jezovih in kanalih brez konstrukcije so:

a) merjenje na jezovih:

- razlika v višini med jezom in površino toka vode ne sme biti manjša od 5 cm;
- debelina pregrade jezov je 4 mm, debelina roba pa okoli 1 mm.

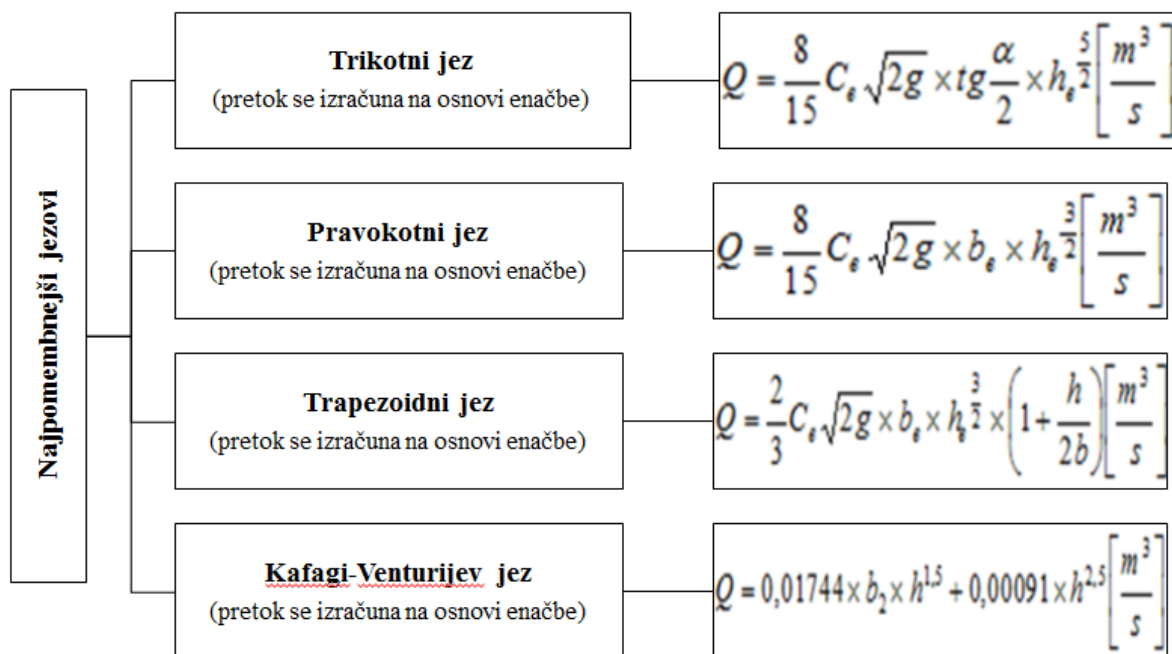
b) merjenje v odprtem kanalu ali strugi:

- višina nivoja naj bo med 5 cm in 180 cm;
- merilni kanal in dotok vode morata imeti vertikalne stene;
- ne sme biti blokad pred merilnim kanalom in v njem, ki bi vplivale na nivo vode na dotoku.

V odprtih kanalih se običajno uporablja merilnik višine, ki lahko deluje na različne načine (akustični postopki, magnetno-induktivni postopek, določanje razlike tlakov na dušilnih napravah).

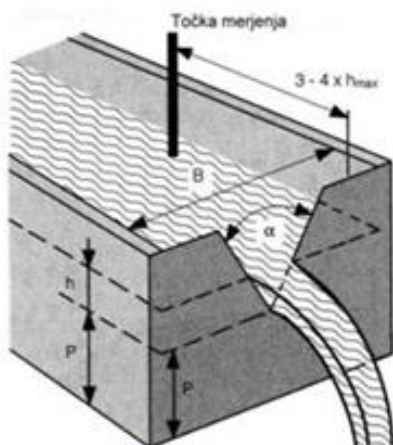
## 5.2 Pomembni jezovi

Najpomembnejši jezovi, ki se uporabljajo pri merjenju pretokov odpadnih vod, in odvisnost pretoka od višine (Slika 8 in 9).

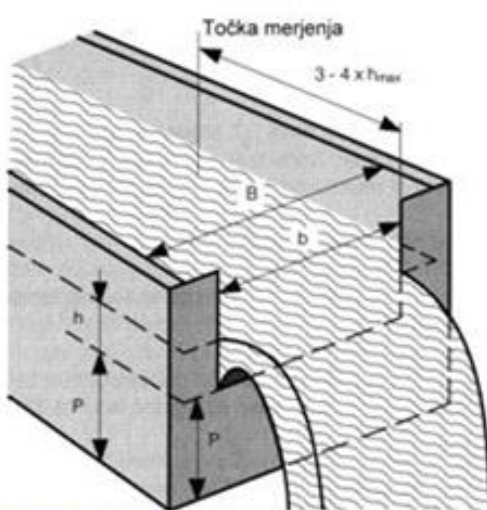


Slika 8: Najpomembnejši jezovi in enačbe za izračun pretoka

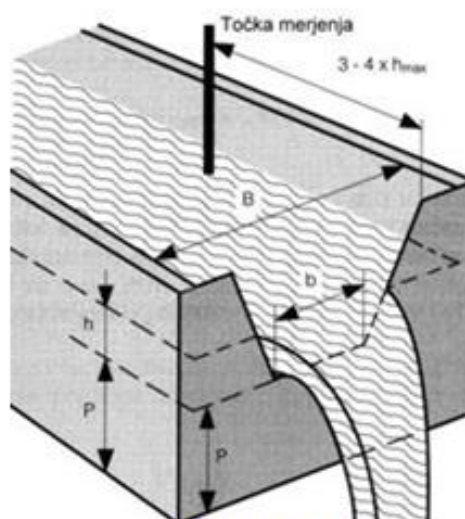
Vir: Lasten



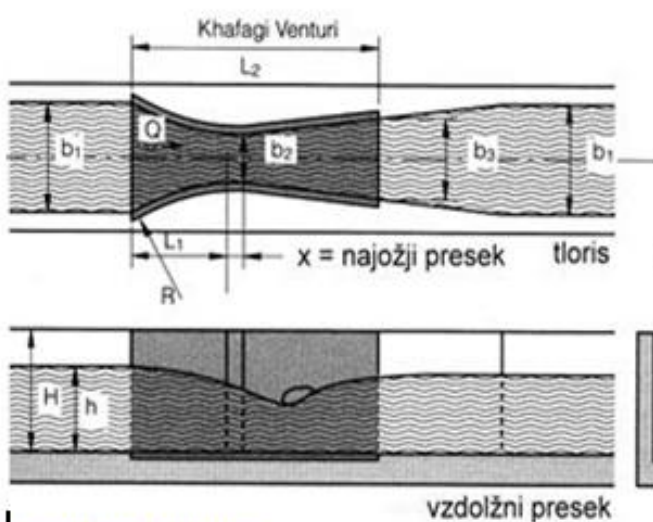
Trikotni jez.



Pravokotni jez.



Trapezoidni jez.



Khafagi-Venturijev jez.



Venturijev jez.

Slika 9: Najpomembnejši jezovi in odvisnost pretoka od višine  
 Vir: Prirejeno po: [http://egradiva.minet.si/mod/scorm/player.php?a=566&currentorg=eXeadnih\\_voda499a0be61dd90d5edc9fa&scoid=23001](http://egradiva.minet.si/mod/scorm/player.php?a=566&currentorg=eXeadnih_voda499a0be61dd90d5edc9fa&scoid=23001) ( 17.1.2015)

### 6 VZORČENJE ODPADNIH VOD

Osnovni cilj vzorčenja je zagotoviti, da je dobljeni vzorec reprezentativen toku, ki ga moramo analizirati. Ker predstavlja vzorec le majhen del toka odpadne vode, sta izbor vzorčevalnega mesta in tehnika vzorčenja odločilnega pomena. Napaka, ki jo napravimo na reprezentativnem vzorcu, lahko pripelje do napačnih podatkov, ki vodijo do napačnih odločitev pri vodenju procesa in izvedbi.

Namen in izvedba učinkovitega programa vzorčenja zahtevata upoštevanje specifičnih razlogov za vzorčenje, način, kako se bodo vzorci odvzemali (zajemali), vzorčevalno mesto, analize, ki jih bomo izvedli v vzorcu, in posebne metode zbiranja in konzerviranja vzorca (Tabela 1 in 2). Učinkovit program vzorčenja je temelj za dobro kontrolo procesa in kontrolo programa (SIST ISO 5667-10, 1996).

Vzorke lahko zbiramo na različne načine, odvisno od vrste potrebne informacije in narave procesa analiziranja. Zbiramo jih lahko ročno ali avtomatsko, z enkratnim odvzemom, združujemo lahko enkratne vzorce iz posameznih vzorcev. Analize in meritve lahko izvajamo kontinuirano (on-line), npr. pH, prevodnost ali temperaturo, ali pa občasno (diskontinuirano), odvisno od namena vzorčenja. Na sliki 10 je prikazan industrijski vzorčevalnik.



Slika 10: Industrijski vzorčevalnik  
Vir: Roš in Zupančič, 2010, 58

#### 6.1 NAKLJUČNI (TRENUTNI) VZOREC

Naključni vzorec je nepovezan (diskretni) vzorec, ki se običajno odvzema ročno. Uporabljamo ga, če želimo dobiti hitro informacijo o procesnem toku. Naključni vzorci služijo za določanje različnih vodnih tokov v nekem časovnem obdobju. Primerni so za takojšnje analize nestabilnih parametrov, kot so npr. pH, raztopljeni kisik, topni sulfid, Cr (VI), preostali klor, temperatura, indikator bakterij.

### 6.2 SESTAVLJENI (KOMPOZITNI) VZOREC

Sestavljeni vzorec je enovit vzorec, pripravljen s sestavljanjem ali mešanjem števila naključnih vzorcev za posebno (specifično) obdobje, običajno za 24 ur. Sestavljeni vzorec pripravljen ali ročno ali z opremo za avtomatsko vzorčenje zagotovi informacijo o povprečnih lastnostih vzorca za posebno obdobje. Sestavljeni vzorci vključujejo dve vrsti vzorcev: časovno sorazmerne in pretočno sorazmerne vzorce.

#### 6.2.1 Časovno sorazmerni vzorec

Za pripravo časovno sorazmernega vzorca mora vzdrževalec zbirati enake volumne vzorca v enakem časovnem obdobju in jih sestavljati. Tak vzorec je primeren za procesne tokove, ki niso močno odvisni od pretoka, kot npr. vsebina aktivnega blata iz prezračevalnika. Časovno sorazmerne vzorce lahko zbiramo ročno ali avtomatično. Celotni volumen sestavljenega vzorca je odvisen od števila in vrste analiz, ki jih želimo izvesti. Za 24-urni sestavljeni vzorec lahko izračunamo pogostost vzorčenja in volumen vsakega naključnega vzorca:

The image shows two trapezoidal boxes. The left box is pink and contains the formula  $\check{S}/d = 24h/d \times \check{S}/h$  and its definitions. The right box is green and contains the formula  $V_{v.v.} = V_{s.v.}/\check{S}_{n.v.}$  and its definitions.

$\check{S}/d = 24h/d \times \check{S}/h$ <ul style="list-style-type: none"><li>• <math>\check{S}</math>...število vzorcev,</li><li>• <math>d</math>...dan in</li><li>• <math>h</math>... ura.</li></ul>	$V_{v.v.} = V_{s.v.}/\check{S}_{n.v.}$ <ul style="list-style-type: none"><li>• <math>V_{v.v.}</math>...volumen vsakega vzorca,</li><li>• <math>V_{s.v.}</math>...volumen sestavljenega in</li><li>• <math>\check{S}_{n.v.}</math>...število naključnih vzorcev.</li></ul>
---	---

#### 6.2.2 Pretočno sorazmerni vzorec

Pretočno sorazmerni vzorec zahteva ali različne volumne naključnih vzorcev ali pogostosti vzorčenja, da uravnotežimo končni vzorec v pretočno sorazmerni vzorec glede na pretok, ki ga merimo med vzorčenjem. Taki pretočno sorazmerni vzorci vsebujejo odpadno vodo, ki je upravičeno enakovredna (ekvivalentna) sestavi realne odpadne vode, ki je tekla med vzorčenjem. Pretočno sorazmerni vzorec zahteva točno merjenje pretoka v procesnem toku, kjer se vzorči.

#### 6.2.3 Reprezentativno vzorčenje

Ovisno od cilja vzorčenja lahko odvezemamo naslednje vrste vzorcev:

- naključni (trenutni) vzorec – ročni odvzem,
- sestavljeni (kompozitni) vzorec,
- časovno sorazmerni vzorec: volumen odvzetega vzorca in frekvenca (časovni interval) odvzemov sta konstantna ( $\Delta q = \text{konst.}$  in  $\Delta t = \text{konst.}$ ),
- pretočno sorazmerni vzorec: volumen odvzetega vzorca je sorazmeren trenutnemu pretoku ( $\Delta q = K \times Q$ ), frekvenca odvzemov je konstantna ( $\Delta t = \text{konst.}$ ),

- volumen odvzetega vzorca je konstanten ( $\Delta q = \text{konst.}$ ), frekvenca odvzema je različna ( $\Delta t = K \times Q$ ).

### 6.2.4 Napake pri vzorčenju odpadnih vod

Najpogostejše napake, ki jih naredimo pri vzorčenju, so:

- nepravilen način vzorčenja ( $Q$  ni konstanten),
- napačno izbrano odzemno mesto (kanalizacijski sistem, več izpustov),
- skladiščenje in konzerviranje vzorcev (KPK, BPK<sub>5</sub>, biorazgradljivost),
- analiza plinov in komponent, ki hitro razpadajo (O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S itd.).

Vzorčenje mora biti strogo namensko, zato:

- se moramo pred vzorčenjem seznaniti z nastankom odpadnih vod (naselje, tehnologija);
- se moramo seznaniti s kanalizacijskim omrežjem, na katerem vzorčimo (mestno ali tovarniško);
- si moramo ogledati odzemno mesto.

Šele nato lahko začnemo postopek vzorčenja odpadnih vod.

Tabela 1: Pogostost meritev in čas vzorčenja za komunalne in skupne čistilne naprave

Zmogljivost komunalne ali skupne čistilne naprave, izražena v populacijskih ekvivalentih PE	Pogostost meritev osnovnih in dodatnih parametrov (število meritev na leto)	Čas vzorčenja reprezentativnega vzorca (ure)
< 50	1 ocena o obratovanju vsako tretje leto	trenutni vzorec <sup>(2)</sup>
=> 50 < 200	2 meritvi vsako tretje leto <sup>(1)</sup>	2 <sup>(4)</sup>
=> 200 < 1.000	2 meritvi vsako drugo leto <sup>(1)</sup>	2 <sup>(4)</sup>
=> 1.000 < 2.000	2 meritvi vsako leto	6 <sup>(4)</sup>
=> 2.000 < 10.000	prvo leto obratovanja 12 meritev <sup>(3)</sup>	24 <sup>(4)</sup>
	vsako nadaljnje leto 4 meritve	24 <sup>(4)</sup>
=> 10.000 < 50.000	12 meritev vsako leto	24 <sup>(4)</sup>
=> 50.000	24 meritev vsako leto	24 <sup>(4)</sup>

Vir: [https://www.uradni-list.si/files/RS\\_-2011-054-02512-OB~P001-0000.PDF#!/pdf](https://www.uradni-list.si/files/RS_-2011-054-02512-OB~P001-0000.PDF#!/pdf)  
(10. 4. 2015)

- (1) Prvi obratovalni monitoring mora biti izveden prvo naslednje leto po opravljenih prvih meritvah (prve meritve ne štejejo kot obratovalni monitoring).
- (2) Samo če se meritev izvede.
- (3) Za prvo leto obratovanja se šteje prvo koledarsko leto po pridobitvi uporabnega dovoljenja.

(4) Za komunalno ali skupno čistilno napravo iz sedmega odstavka 5. člena tega pravilnika in za napravo iz sedmega odstavka 6. člena tega pravilnika se za preskušanje mikrobioloških parametrov odvzame trenutni vzorec.

Tabela 2: Letna pogostost meritev in čas vzorčenja za posamezen iztok iz naprave

Vrsta naprave in letna količina industrijske odpadne vode na posameznem iztoku (1.000 m <sup>3</sup> /leto)	Letna pogostost meritev (število meritev na leto)	Čas vzorčenja reprezentativnega vzorca (ure)
< 4	1 meritev vsako leto	6
=> 4 < 10	2 meritvi vsako leto	6
=> 10 < 50	3 meritve vsako leto	6
=> 50 < 100	4 meritve vsako leto	6
=> 100 < 200	4 meritve vsako leto	24
=> 200 < 500	6 meritev vsako leto	24
=> 500	12 meritev vsako leto	24

Vir: [https://www.uradni-list.si/files/RS\\_-2011-054-02512-OB~P001-0000.PDF#!/pdf](https://www.uradni-list.si/files/RS_-2011-054-02512-OB~P001-0000.PDF#!/pdf)  
(10. 4. 2015)

### 7 ANALIZA ODPADNE VODE

#### 7.1 POMEMBNI SKUPINSKI PARAMETRI PRI ČIŠČENJU ODPADNE VODE

**KPK** (kemijska potreba po kisiku) približno ustreza količini kisika za popolno oksidacijo ogljikovih spojin, v katerih so zajete tudi reducirane anorganske spojine.

**BPK<sub>5</sub>** (biokemijska potreba po kisiku) je množina elementarnega kisika, porabljenega pri razgradnji po petih dneh s pomočjo mikroorganizmov pod standardiziranimi pogoji.

**TOC** (celotni organski ogljik) zajema organsko vezan ogljik in je v nasprotju z BPK<sub>5</sub>, ker so v TOC zajete tudi spojine, ki so težko biološko razgradljive.

**TKN** (celotni dušik po Kjeldahlu) zajema organsko vezan dušik in amonijev dušik.

**Celotni dušik TN (LATON)** zajema organsko vezan dušik, amonijev dušik ter nitritni in nitratni dušik.

#### 7.2 MERITVE PARAMETROV, KI SE S ČASOM SPREMINJAJO

Pretok in parametre, katerih vrednosti se s časom spreminjajo moramo meriti ob času zajema vzorca.

**Pretok merimo** s pomočjo merilnika pretoka, ki je navadno nameščen na mestu vzorčenja.

**Temperatura** se s časom hitro spreminja zaradi vpliva temperature okolice. Izmerimo jo s termometrom, ki mora biti umerjen.

##### 7.2.1 Merjenje pH

Vrednost pH se spreminja razmeroma hitro zaradi kemijskih in bioloških procesov v vzorcu. Zato pH izmerimo ob zajetju vzorca, najpogosteje pa pH izmerimo z umerjenim pH metrom in elektrodo, ki nam omogočata natančnejšo meritev (slika 11).



Slika 11: pH meter

Vir: Lasten



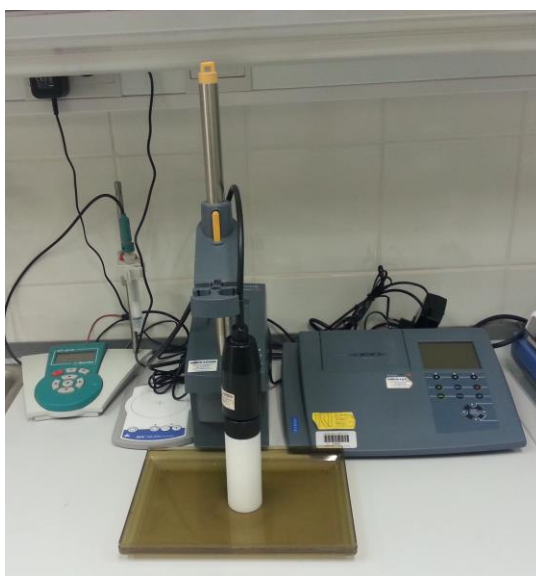
### 7.2.2 Določanje BPK

Biokemijska potreba po kisiku je množina kisika, ki je potrebna za aerobno mikrobiološko presnovo organskih in/ali anorganskih snovi prisotnih v odpadni vodi. BPK je parameter, ki nam pove stopnjo onesnaženosti odpadne vode z biološko razgradljivimi organskimi in/ali anorganskimi snovmi.

BPK se s časom hitro spreminja zaradi kemijskih in bioloških procesov, ki potekajo v odpadni vodi. Za določanje uporabljamo standardizirano metodo, pri kateri je čas inkubacije pet dni (BPK<sub>5</sub>).

Koncentracijo v vodi raztopljenega kisika izmerimo s kisikomerom in kisikovo elektrodo (slika 12).

Rezultat za posamezen analiziran vzorec podamo v mg O<sub>2</sub>/L.

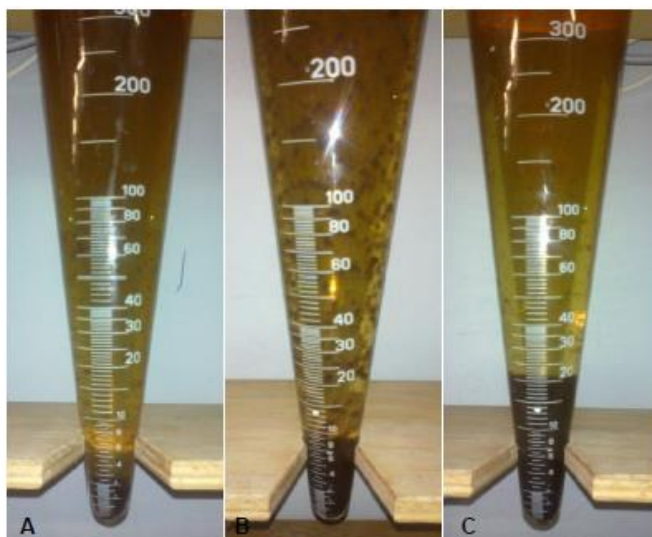


Slika 12: Naprava za merjenje kisika  
Vir: Lasten

### 7.2.3 Določanje vsebnosti usedljivih snovi

V odpadni vodi so prisotne različne organske in anorganske snovi. Suspendirane snovi iz vode ločimo s postopkom gravitacije, ki se izvaja v sedimentacijskih bazenih in/ali v peščenih filtrih.

Vsebnost usedljivih snovi je pomembna pri dimenzioniranju industrijskega predčiščenja, primarnih in sekundarnih usedalnikov čistilnih naprav in kanalizacije. Imhoffov lij uporabljamo za spremljanje oz. kontrolo delovanja biološke stopnje čiščenja odpadnih vod na čistilnih napravah (slika 13). Tiskane črke A, B in C predstavljajo časovni proces usedanja blata.



Slika 13: Določanje usedljivih snovi (Imhoffov lij)

Vir: [http://drugg.fgg.uni-lj.si/4187/1/GRM235\\_Vrbancic.pdf](http://drugg.fgg.uni-lj.si/4187/1/GRM235_Vrbancic.pdf) (2.6. 2015)

### 7.2.4 Spektrofotometer

Spektrofotometrija (slika 14) je kvantitativna analitska metoda za merjenje absorbance v raztopinah pri dani valovni dolžini. Pri višji koncentraciji vzorca, boljša je absorpcija svetlobe. Obarvanost v raztopinah določimo fotometrično pri različnih valovnih dolžinah.



Slika 14: Spektrofotometer

Vir: Lasten

### 7.2.5 Določanje koncentracije TOC

Za določevanje TOC se uporablja analizator TOC (slika 15), ki omogoča določanje celotnega, organskega in anorganskega ogljika. TOC je tudi eden od parametrov pri monitoringu odpadnih voda, tal ter odlaganju odpadkov na deponijo. Pri analizi vodnih vzorcev poznamo dve metodi za določitev TOC:

- Pri diferencialni metodi izračunamo TOC iz razlike ločenih določitev TC in IC (TC – celotni ogljik, IC – anorganski ogljik).

**Koncentracijo celotnega organskega ogljika (TOC) določimo:**

$$\text{TOC [mg C/l ali ppm C]} = \text{TC [mg C/l]} - \text{IC [mg C/l]}$$

- Pri direktni metodi pa določimo TOC v vodah z oksidacijo ogljika, prisotnega v organskih spojinah, v ogljikov dioksid. Ta oksidacija je lahko termična, kemična s pomočjo primerne oksidacijskega sredstva in/ali UV svetlobe.

Po tej metodi določimo količino organskega ogljika, ne pa vrsto spojina, ki vsebujejo ogljik.



Slika 15: TOC analizator

Vir: Lasten

### 7.2.6 Določanje vsebnosti dušika po Kjeldahlu

V odpadni vodi, ki doteka na čistilno napravo, je dušik organsko vezan (organski N) in v obliki amonijevega dušika ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ). V aktivnem blatu organski dušik pretvarjajo v  $\text{NH}_4\text{-N}$  in ga skupaj z  $\text{NH}_4\text{-N}$  iz dotoka prek nitrita pretvarjajo v nitrat (nitrifikacija).

V anoksičnih pogojih (brez prisotnega  $\text{O}_2$ ) se dušik pretvarja v elementarni dušik (denitrifikacija). Ta kot  $\text{N}_2$  izhaja v zrak.

Dušik je v vodi prisoten v več oblikah:  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$  in organsko vezani dušik (skupaj sestavljajo skupni dušik, kar je pomembno za bilance in nadzor iztoka).

Kjeldahlov dušik (slika 16) podaja množino amonijevega in organskega dušika v vzorcu po mineralizaciji (brez nitrita in nitrata). Z dodatkom žveplove (VI) kisline, vzorec se mineralizira v amonijev sulfat ob prisotnosti bakra kot katalizatorja. V razklopni napravi se organsko vezani dušik prevede v amonij, ki se ga potem določi z destilacijo in titracijo.

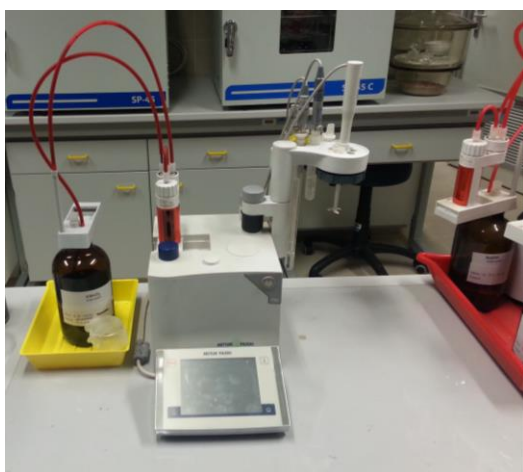


Slika 16: Naprava za določanje Kjeldahlovega dušika (titrator)  
Vir: Lasten

### 7.2.7 Določanje kemijske porabe po kisiku (KPK)

S kemijsko potrebo po kisiku (KPK) določimo vse organske snovi, ne moremo pa ločiti med biološko razgradljivimi in biološko nerazgradljivimi organskimi snovmi.

Kemijska potreba po kisiku je množina kisika, ekvivalentna množini kalijevega dikromata, ki je potrebna za kemijsko oksidacijo organskih snovi prisotnih v odpadni vodi. KPK je parameter, s pomočjo katerega sklepamo o onesnaženju odpadnih vod z organskimi snovmi. KPK lahko določamo s standardizirano klasično metodo (razklop in titracija) (slika 17 in 18), lahko pa uporabimo tudi hitri test (razklop, spektrofotometrična detekcija) (slika 19 in 20), pri katerem dobimo rezultat hitreje, bolj enostavno in z manjšo količino uporabljenega vzorca in kemikalij.



Slika 17: Določanje KPK – titrator  
(klasična metoda)

Vir: Lasten



Slika 18: Določanje KPK  
razklopna enota



Slika 19: Določanje KPK  
(razklopna enota)



Slika 20: Določanje KPK  
(fotometer)

Vir: Lasten

### 7.2.8 Ionska kromatografija

Ionska kromatografija (slika 21) se uporablja za merjenje ionov in spada v skupino kromatografskih separacijske metode in se uporabljajo v analizi kemiji za kvalitativno in kvantitativno določevanje analitov v vzorcih.



Slika 21: Ionski kromatograf

Vir: Lasten

### 7.2.9 Določanje strupenosti z zelenimi algami

Določanje strupenosti z zelenimi algami (slika 22). Alge so eno ali več celični organizmi, ki se pojavljajo v sladkih in slanih vodah, ter v kopenskih okoljih. Vsebujejo klorofil, zelen pigment, ki je nujen za fotosintezo.

V testu strupenosti določamo zaviranje rasti zelenih alg, ki jo povzroči preiskovana snov (npr. odpadna voda). Metoda je primerna za preiskovanje snovi, ki so topne v vodi.

Princip testa je določanje koncentracije preiskovane snovi (izcedna voda), ki povzroči 50 % zaviranje hitrosti rasti alg po 72 urah glede na kontrolo (72 h IC50).



Slika 22: Določanje strupenosti z zelenimi algami  
Vir: Lasten

### 7.2.10 Določanje strupenosti z vodnimi bolhami

Akutno in kronično strupenost odpadnih vod, določamo z vodnimi bolhami (slika 23). Pri akutnem testu strupenosti določamo koncentracijo preiskovane snovi (npr. odpadna voda), ki povzroči 50 % negibnih vodnih bolh po 24 oz. 48 urah (EC50).

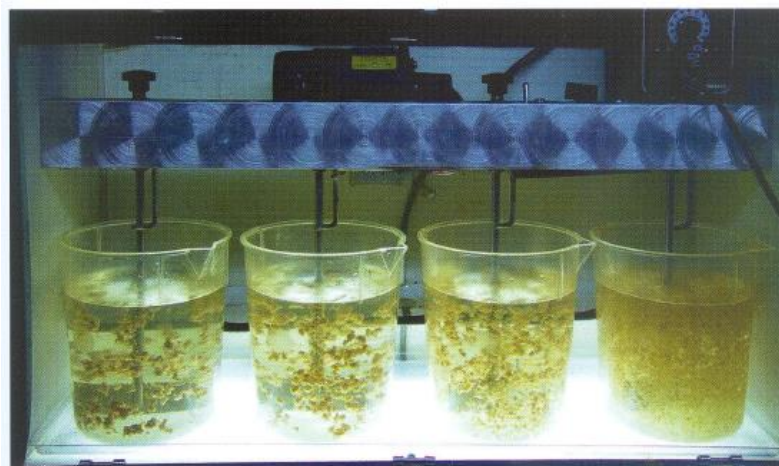
Pri kroničnem testu strupenosti, ki traja 21 dni, vodne bolhe izpostavimo preiskovani snovi in ugotavljamo preživetje samic ter vpliv na razmnoževanje, ki ga prikažemo kot skupno število mladih na samico. Pri kroničnem testu je sistem obnavljajoč, kar pomeni da izpostavljenim živalim menjamo raztopino (vsaj trikrat tedensko), ali pa pretočni, kjer zagotovimo stalen pretok raztopine s preiskovano snovjo.



Slika 23: Določanje strupenosti z vodnimi bolhami  
Vir: Lasten

### 7.2.11 Aparatura za izvajanje testa v čašah (Jar Test)

Jar test se izvaja v čašah (slika 24), ki simuliramo koagulacijo in flokulacijo, ki spodbujata odstranjevanje neraztopljenih koloidov in organskih snovi. Pri izvedbi testa lahko dodajamo različne koagulate, flokulante in tudi različne količine. Spreminjamo lahko pH območje, hitrost in trajanje mešanja, nastajanje kosmov, zgoščevanje in kvaliteto očiščene vode. S primerjavo večjega števila testov ugotovimo najboljše pogoje za čiščenje določene odpadne vode.



Slika 24: Aparatura za izvajanje testa v čašah (Jar Test)

Vir: Roš in Zupančič, 2010, 87

### 7.2.12 Tekočinska kromatografija visoke ločljivosti (HPLC)

Tekočinska kromatografija (LC) se uporablja za ločevanje snovi na osnovi porazdelitve med trdno stacionarno fazo in tekočo mobilno fazo.

Pri HPLC (slika 25) se mobilna faza dovaja s pomočjo črpalke. Vzorec se injicira ročno ali z avtomatskim injektorjem. Kolone za HPLC so polnjene s silikatnim ali polimernim materialom. Največ se uporablja UV-VIS detektor, pa tudi fotodiodni, fluorescentni, elektrokemijski itd. Uporablja se za selektivno določevanje vsebnosti aktivnih komponent in za določevanje drugih neželenih sorodnih spojin.



Slika 25: HPLC analizator

Vir: Lasten

## **8 ZASNOVE SISTEMOV ZA ODVAJANJE ODPADNE VODE IN NJIHOVO DIMENZIONIRANJE**

### **8.1 KANALIZACIJSKI SISTEMI**

Mestni kanalizacijski sistem je sestavljen iz mreže odvodnih kanalov za odvajanje odpadne vode (manjši sistem) in kanalov za odvajanje padavinskih vod za preprečevanje poplav (glavni sistem).

Glede na vrsto vode, ki jo odvajamo skozi kanalizacijski sistem, ločimo mešani in ločeni kanalizacijski sistem.

### **8.2 MEŠANI KANALIZACIJSKI SISTEM**

Če odvajamo po kanalizacijskem sistemu odpadno in padavinsko vodo skupaj, govorimo o mešanem kanalizacijskem sistemu. Da bi prihranili na dimenzijah kanalov, gradimo pri mešanem kanalizacijskem sistemu običajno razbremenilnike, katerih namen je, da odvajajo odvečno padavinsko vodo in/ali razredčeno odpadno vodo v bližnji odvodnik.

Prednosti mešanega sistema so:

- preprosta izvedba,
- nižja cena kot pri ločenem sistemu.

Pomanjkljivosti tega sistema so:

- slaba zaščita odvodnika zaradi razbremenilnikov,
- večja črpališča,
- delovanje čistilnih naprav je manj zanesljivo in jih je treba močneje dimenzionirati.

### **8.3 LOČENI KANALIZACIJSKI SISTEM**

Če odvajamo v en kanalizacijski sistem padavinsko vodo, v drugi sistem pa odpadno vodo, govorimo o ločenem kanalizacijskem sistemu. Prednosti ločenega sistema so:

- dobra zaščita odvodnika,
- povečana varnost pred preplavitvijo nizko ležečih delov priključenih objektov,
- zanesljivejše delovanje čistilnih naprav in manjša obremenitev črpališč.

Pomanjkljivosti sistema so:

- večja zapletenost sistema in manjša preglednost nad izbiro sistema,
- dražje vzdrževanje zaradi dvojnega sistema in slabšega samodejnega izpiranja sistema za o odpadne vode,
- večji investicijski stroški.



### 8.4 ZASNOVA KANALIZACIJSKEGA SISTEMA

Zasnova kanalizacijskega sistema je odvisna od številnih vplivov, npr. od:

- obstoječe in predvidene izrabe zazidalnih in drugih zemljišč v naselju,
- konfiguracije zemljišča,
- geomehanskih lastnosti tal in lege podtalnice,
- lege odvajalnika, ekstremnih pretokov v odvajalniku ter zahtevane stopnje zaščite odvajalnika,
- lege okoliških naselij,
- tehničnih in materialnih možnosti za izvedbo.

Pri zasnovi sistema moramo upoštevati predvsem, da je:

- mogoč priključek vseh obstoječih uporabnikov,
- mogoče pri širjenju naselij omogočiti priključevanje predvidenih uporabnikov,
- zagotovljena varnost in zanesljivost obratovanja,
- življenjska doba sistema vsaj 50 let,
- da so skupni stroški sistema do izteka amortizacijske dobe v okviru realnih materialnih stroškov.

Na sliki 26 je prikazana shema kanalizacijskega omrežja.



Slika 26: Shema kanalizacijskega omrežja

Vir: <http://egradiva.minet.si/mod/scorm/player.php?a=566&currentorg=eXeadnihvoda499a0be61dd90d5edc9fa&scoid=22979> (10. 12. 2014)

### 8.4.1 Primer izračuna KPK

Odpadna voda s KPK= 1350 mg/L in pretokom 3.200 m<sup>3</sup>/dan se izliva v reko s pretokom 265.000 m<sup>3</sup>/dan in KPK=25 mg/L. Kakšna je vrednost KPK po premešanju odpadne vode in reke, če predpostavljamo, da se odpadna voda v času mešanja ne razgrajuje?

$$C \times Q = (C_{o.v.} \times Q_{o.v.}) + (C_r \times Q_r), \quad \text{kjer je} \quad Q = Q_{o.v.} + Q_r$$

Od tu je koncentracija po premešanju:

$$C = (C_{o.v.} \times Q_{o.v.}) + (C_r \times Q_r) / (Q_{o.v.} + Q_r)$$

$$C = (1.350 \text{ mg/L} \times 3.200 \text{ m}^3/\text{dan}) + (25 \text{ mg/L} \times 265.000 \text{ m}^3/\text{dan}) / (3.200 \text{ m}^3/\text{dan} + 265.000 \text{ m}^3/\text{dan}) = 41 \text{ mg/L}$$

**KPK po premešanju = 41 mg/L.**

### 9 OSNOVNI TEHNOLOŠKI POSTOPKI IN TEHNIKE ČIŠČENJA ODPADNIH VODA Z IZRAČUNI

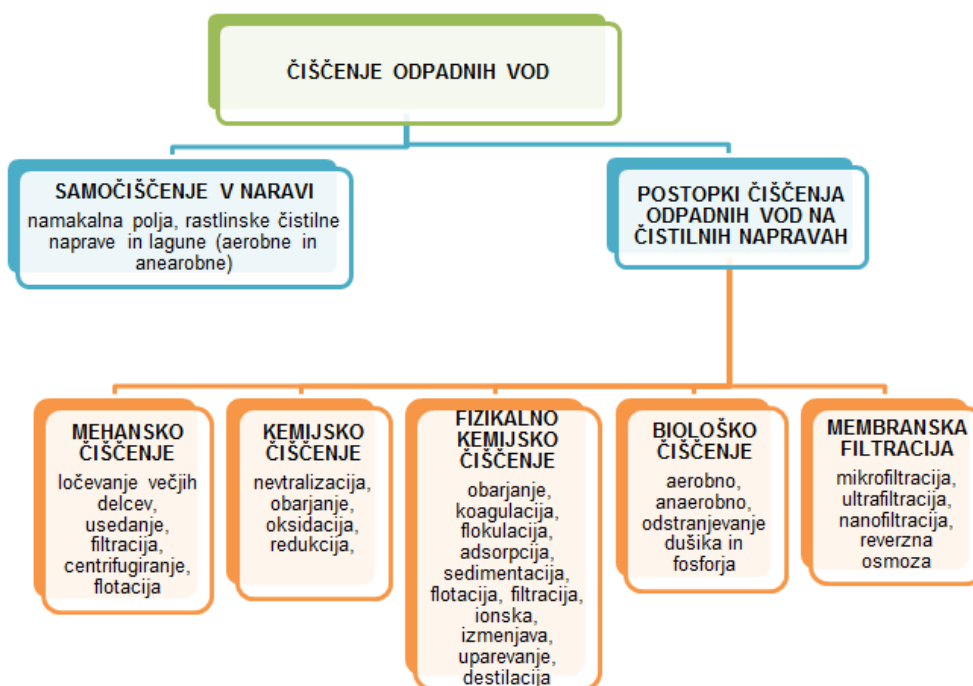
Glede na odstranjevanje posameznih onesnaževal, ki so prisotna v odpadni vodi, najbolj splošno ločujemo naslednje vrste čiščenja:

- predhodno ali mehansko čiščenje, s katerim odstranjujemo iz odpadne vode najbolj grobe delce,
- primarno čiščenje, s katerim odstranjujemo iz odpadne vode suspendirane in lebdeče snovi,
- sekundarno čiščenje, s katerim odstranjujemo iz odpadne vode biološko razgradljive organske snovi,
- terciarno čiščenje, s katerim odstranjujemo iz odpadne vode hraniva (dušikove in fosforjeve spojine),
- dodatno čiščenje, s katerim odstranjujemo iz odpadne vode posebne snovi, ki jih s predhodnimi postopki ne moremo odstraniti (npr. nekatere kovine, pesticidi, barvila itd.).

#### 9.1 METODOLOŠKA DELITEV ČIŠČENJA ODPADNIH VOD

Metodološko lahko čiščenje odpadnih vod razdelimo na naslednje skupine (slika 27):

- mehansko čiščenje,
- kemijsko čiščenje,
- fizikalno kemijsko čiščenje,
- biološko čiščenje.



Slika 27: Čiščenje odpadnih vod

Vir: Lasten

### 9.1.1 Mehansko in primarno čiščenje

Mehansko čiščenje zajema postopke predčiščenja in primarnega čiščenja odpadnih vod.

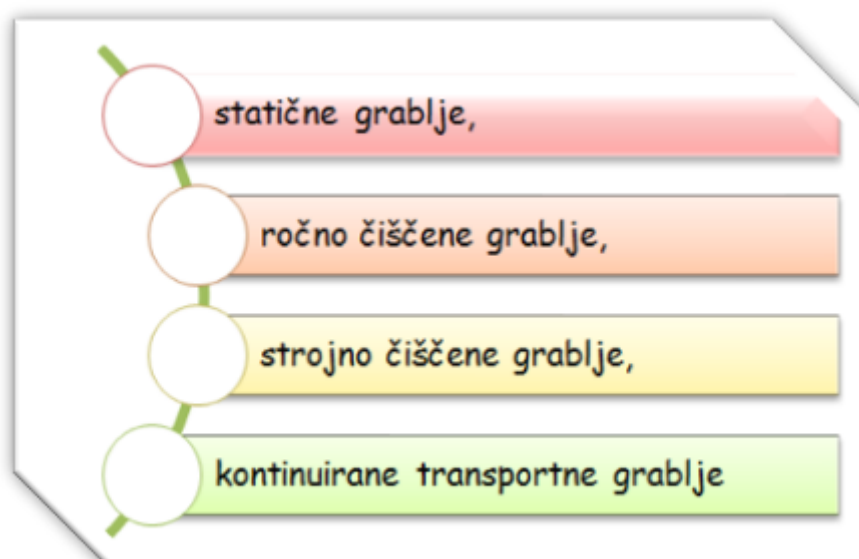
Odpadna voda običajno vsebuje veje, kamenje, pesek, steklenice, koščke kovin, plastiko, krpe in podobno (slika 28). Ti predmeti lahko zmanjšajo učinek čiščenja in s tem odtekanje onesnaževal v sprejemnike (reke, jezera ali morje).



Slika 28: Kineta za lovilce kamenja – mehanska stopnja čiščenja  
Vir: Lasten

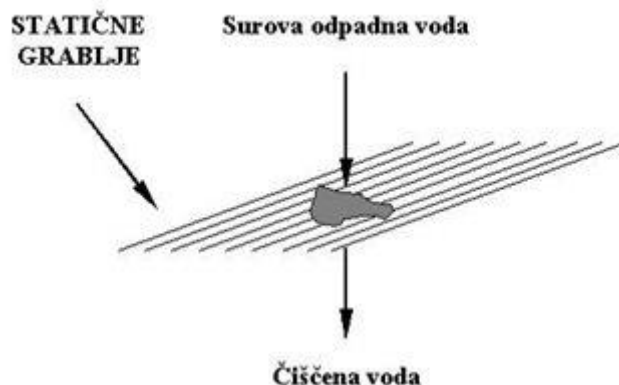
### 9.1.2 Ločevanje večjih delcev

Za ločevanje večjih delcev uporabljamo najpogosteje različne grablje, sita in peskolove, po potrebi tudi mletje grobih delcev. Primeri grabelj so:



### 9.1.3 Statične grablje

To so grablje, ki so iz težkih pravokotnih ali okroglih jeklenih palic (drogov) in nimajo premikajočih se delov, na katere teče odpadna voda z vrha grabelj. Tako čiščena voda prehaja skozi fine grablje, večji trdni delci pa se ujamejo na površini grabelj (slika 29).

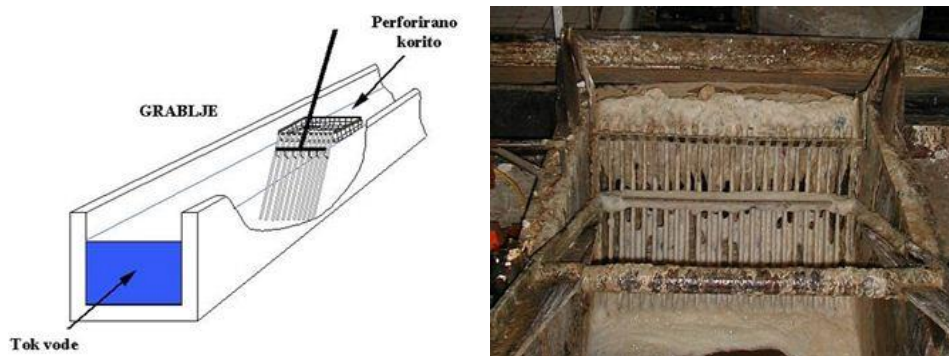


Slika 29: Statične grablje

Vir: [http://egradiva.minet.si/mod/scorm/player.php?id=790&currentorg=eXeo\\_ciscenje499a0be61dd90ddfd1a92&mode=normal&scoid=23053](http://egradiva.minet.si/mod/scorm/player.php?id=790&currentorg=eXeo_ciscenje499a0be61dd90ddfd1a92&mode=normal&scoid=23053) (5. 2. 2015)

### 9.1.4 Ročno čiščene grablje

Odpadek, ki se iz odpadne vode nabira na grabljah, moramo pogosto odstranjevati (slika 30). Če se nabere na grabljah preveč materiala, lahko ta zamaši kanal in odpadna voda steče nazaj v kanalizacijski sistem.

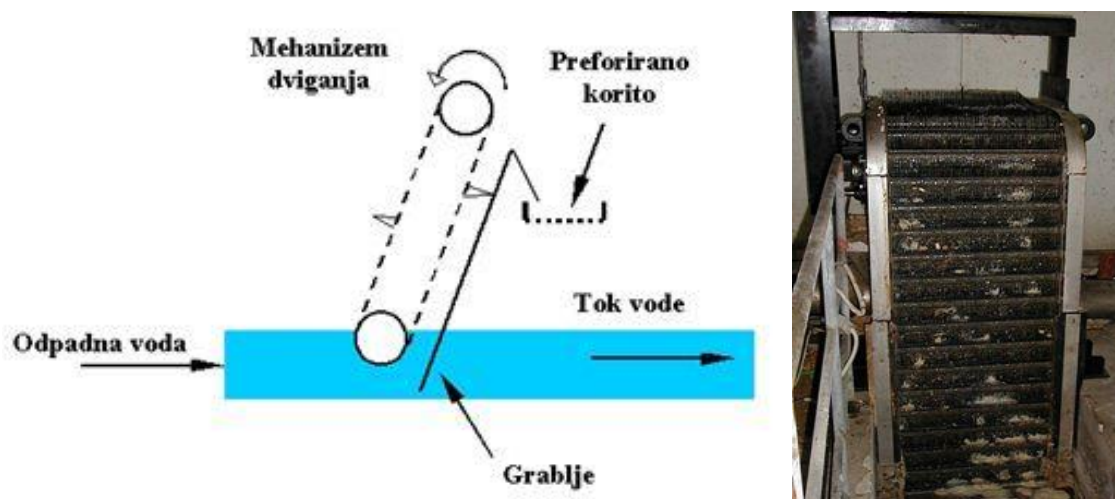


Slika 30: Ročno čiščene grablje

Vir: Prirejeno po: [http://egradiva.minet.si/mod/scorm/player.php?id=790&currentorg=eXeo\\_ciscenje499a0be61dd90ddfd1a92&mode=normal&scoid=23055](http://egradiva.minet.si/mod/scorm/player.php?id=790&currentorg=eXeo_ciscenje499a0be61dd90ddfd1a92&mode=normal&scoid=23055) (5. 2. 2015)

### 9.1.5 Strojno čiščene grablje

Razlikujemo različne tipe strojno čiščenih grabelj, ki jih uporabljamo na čistilnih napravah. Nekatere imajo prednje čiščenje, druge se čistijo pod kotom. Ne glede na tip grabelj se te grablje čistijo strojno. Krmilni mehanizem, ki čisti grablje, poženemo s časomerilcem ali senzorjem nivoja vode ali kombinacijo obeh (slika 31).



Slika 31: Čiščenje odpadnih vod

Vir: Prirejeno po: [http://egradiva.minet.si/mod/scorm/player.php?id=790&currentorg=eXeo\\_ciscenje499a0be61dd90ddfd1a92&mode=normal&scoid=23057](http://egradiva.minet.si/mod/scorm/player.php?id=790&currentorg=eXeo_ciscenje499a0be61dd90ddfd1a92&mode=normal&scoid=23057) (3. 2. 2015)

### 9.1.6 Kontinuirane transportne grablje

Enota kontinuiranih transportnih grabelj je vstavljena v kanal, podobno kot mehanično čiščene grablje. Podobne so mehanično čiščenim grabljam, le da so odprtine med pregradami manjše.

### 9.1.7 Sita

Veliko čistilnih naprav nadomešča ročno ali mehanično čiščene grablje s finimi siti, kot so samočistilna rotirajoča bobnasta. Material za sita je fina mreža iz nerjavečega jekla, katere odprtine so od 0,2 mm do 6 mm.

### 9.1.8 Problemi, ki se pojavljajo pri grabljah in sitih

Probleme, ki se lahko pojavijo pri čiščenju surove odpadne vode z grabljami ali siti, lahko razvrstimo v tri vrste:

- neobičajne delovne razmere (nenadna obremenitev z odpadki, ki ovirajo ali zamašijo opremo),
- poškodba opreme,
- pomanjkanje kontrole.

### 9.1.9 Odstranjevanje peska

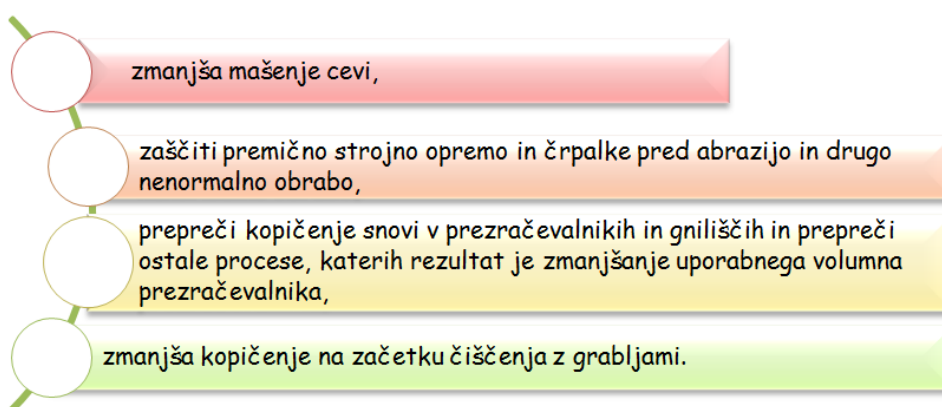
Po grobem čiščenju (za grabljami) je naslednja stopnja čistilne naprave odstranjevanje specifično težjih snovi, ki so lahko anorganske in organske snovi v odpadni vodi, ki ne razpadajo in se ne razgrajujejo. Te snovi se ne nabirajo na grabljah med procesom usedanja. Lahko poškodujejo strojno opremo v čistilni napravi, ali pa se usedajo v prezračevalnikih in mogoče zmanjšajo kapaciteto prezračevalnikov. Primer specifično težkih snovi so pesek, prod,

gramoz, pepel, jajčne lupine, cigaretni filtri, semena oziroma sadne koščice (pečke), kavna usedlina in druge hitro usedljive snovi organskega in neorganskega izvora. Občasno, predvsem če je v vtoku na čistilno napravo prisotna večja količina smole ali maščob, se lahko težji delci skepijo in tvorijo trdno gmoto, ki lahko zamaši črpalke, ali se nabira v kanalih in bazenih. Naprave za odstranjevanje zelo hitro usedljivih snovi imenujemo peskolovi.

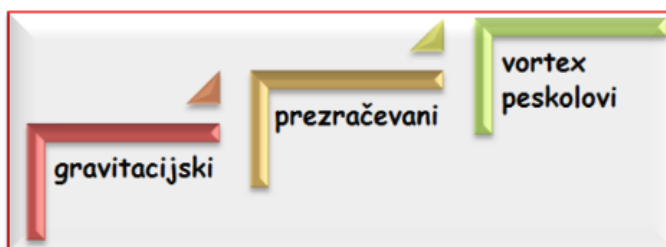
Glavni namen peskolova je čim popolnejše odstranjevanje težko usedljivih snovi in čim manjše odstranjevanje razgradljivih organskih snovi.

### 9.1.10 Peskolovi

Peskolov mora zaščititi opremo, ki je vgrajena v čistilni napravi, tako da:



Na voljo so trije glavni tipi peskolovov za odstranjevanje težje usedljivih snovi:



Gravitacijske enote, kot so dolgi kanali in enote za lovljenje peska, se počasi zamenjujejo s prezračevanimi peskolovi in vortex peskolovi. Vsaka enota peskolova je projektirana tako, da zmanjša hitrost toka odpadne vode v peskolovu, tako da je manjša od toka v kanalizacijskem sistemu, vendar dovolj velika, da se ne usedajo organski delci.

### 9.1.11 Usedanje v peskolovu

Da bi obdržali suspendirane snovi v kanalizacijskem sistemu, mora biti hitrost toka odpadne vode najmanj 0,6 m/s. Tok se v peskolovu upočasni do okoli 0,3 m/s. Zmanjšanje hitrosti dopusti pesku in nekaterim težjim organskim snovem usedanje, lažje organske snovi pa se še vedno premikajo naprej v nadaljnjo stopnjo čiščenja. Preveč organskih snovi v pesku lahko povzroči neprijeten vonj in probleme pri odlaganju peska.

### 9.1.12 Gravitacijski peskolov

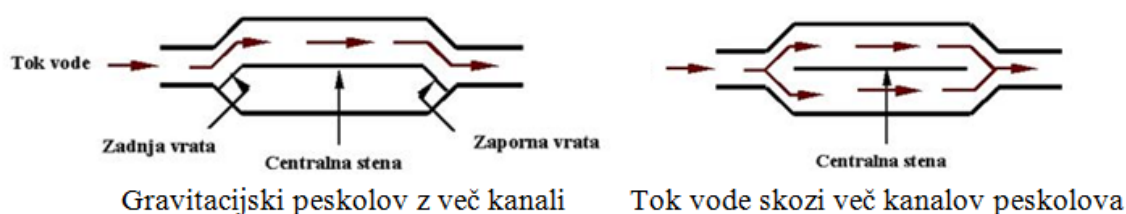
Za upočasnitev toka odpadne vode v gravitacijskem peskolovu uporabljamo proporcionalno pregrado. Ta zmanjša tok odpadne vode skozi dolg kanal.

Proporcionalna pregrada v gravitacijskem peskolovu .

V nekaterih primerih kontroliramo hitrost toka odpadne vode namesto s proporcionalno pregrado z uporabo večjega števila kanalov.

### 9.1.13 Uporaba večjega števila kanalov

V nekaterih primerih kontroliramo hitrost toka odpadne vode namesto s proporcionalno pregrado z uporabo večjega števila kanalov (slika 32).



Slika 32: Gravitacijski peskolov z več kanali in tok vode skozi več kanalov peskolova

Vir: Prirejeno po: [http://egradiva.minet.si/mod/scorm/player.php?id=790&currentorg=eXeo\\_ciscenje499a0be61dd90ddfd1a92&mode=normal&scoid=23076](http://egradiva.minet.si/mod/scorm/player.php?id=790&currentorg=eXeo_ciscenje499a0be61dd90ddfd1a92&mode=normal&scoid=23076) (3.2.2015)

Če je vtok odpadne vode nizek, obratuje samo ena enota, da se obdrži nizek tok vode skozi ves peskolov (0,3 m/s). Če je tok odpadne vode visok, se lahko tok porazdeli skozi več enot ali skozi vse kanale, da obdržimo želeno hitrost toka.

### 9.1.14 Prezračevani peskolov

Tak peskolov deluje na podoben način kot gravitacijski, vendar po drugačni poti (slika 33). V gravitacijskem peskolovu potuje odpadna voda premočrtno, medtem ko v prezračevanem delci potujejo spiralno. Ena od prednosti takega peskolova je, da ni treba imeti tako dolgega kanala. V prezračevanem peskolovu uporabljamo komprimiran zrak, ki s pomočjo difuzorjev vrtinči odpadno vodo skozi napravo. Hitrost toka je okoli 0,3 m/s.

Težji delci se usedajo, medtem ko ostanejo lažji delci organskih snovi v suspenziji. Večji je pretok zraka v difuzorjih, hitrejša je vrtinčenje v komori. Če se preveč organskih snovi v peskolovu useda, povečamo pretok zraka in s tem povečamo vrtinčenje ter zmanjšanje usedanja organskih snovi.





Slika 33: Ozračeni lovilce maščob in peskolov  
Vir: Lasten

### 9.1.15 Vortex peskolov

Tretji tip peskolova je vortex peskolov. Ta kontrolira hitrost toka odpadne vode ali z mešanjem, ki ustvarja spiralno gibanje v kanalu, ali s posebno konstrukcijo vtoka in iztoka. Vortex peskolov ima dve osnovni obliki: prostor z ravnim dnom in majhno odprtino za zbiranje peska ter prostor s poševnim dnom in veliko odprtino, ki vodi do zbiralnika peska. Ko vortex peskolov usmerja pesek proti sredini, vrteče lopate povečajo hitrost toka do take mere, da dvigne lažje organske snovi, ki stečejo proti iztoku peskolova.

### 9.1.16 Usedanje

Za usedanje suspendiranih usedljivih snovi uporabljamo različne vrste usedalnikov. Najpogosteje uporabljamo pravokotne in krogelne usedalnike. Učinek usedalnika je v veliki meri odvisen od hidravličnih pogojev (površinskega pretoka in zadrževalnega časa), oblike usedalnika, lastnosti odpadne vode, lastnosti delcev, temperature in prispevka industrijske odpadne vode.

### 9.1.17 Pravokotni usedalniki

Učinek usedalnika je odvisen od površine bazena (dolžina in širina ali premer), volumna (površina in globina) in izvedbe vtoka in iztoka. Najpočasnejši delec se mora usedati do konca usedalnika, zato je pomembna hitrost usedanja delca.

### 9.1.18 Krogelni usedalniki

Najobičajnejša vrsta krogelnega usedalnika je usedalnik, v katerega se vodi odpadna voda v sredino in se nato razporedi proti zunanjemu delu bazena. Usedene snovi se zbirajo v poglobljenem delu blizu centra usedalnika. Plavajoče snovi se posnemajo in zbirajo v posebnem delu na vrhu usedalnika.

### 9.1.19 Odstranjevanje maščob in olj

Maščobe in olja, ki pridejo v odpadno vodo iz gospodinjstev (olja, margarina, maslo ...) ali iz proizvodnje, je treba pred biološkim čiščenjem odstraniti, ker motijo biološke procese.

Lovilniki maščob in olj so na komunalnih čistilnih napravah konstruirani kot podolgovati bazeni, ki jih prepihujemo s stisnjenim (komprimiranim) zrakom, tako da ostajajo suspendirane snovi v suspenziji, maščobe pa se združujejo v aglomerate, ki flotirajo. Z vrha se maščobe in olja posname.

## 9.2 KEMIJSKO ČIŠČENJE

H kemijskemu čiščenju spadajo naslednji postopki:



### 9.2.1 Obarjanje težkih kovin

Tehnologije, ki so na voljo za odstranjevanje težkih kovin iz odpadne vode, so kemijsko obarjanje, adsorpcija na aktivnem oglju, ionska izmenjava in reverzna osmoza. Od vseh omenjenih se najpogosteje uporablja kemijsko obarjanje za odstranjevanje večine kovin. Kovine, kot so arzen (As), barij (Ba), kadmij (Cd), baker (Cu), živo srebro (Hg), nikelj (Ni), selen (Se) in cink (Zn), se obarjajo kot hidroksidi ali sulfidi, zato uporabljamo kot obarjalno sredstvo hidroksid (OH<sup>-</sup>) ali sulfid (S<sup>2-</sup>).

### 9.2.2 Nevtralizacija

V industriji se zaradi proizvodnega procesa pojavljajo ali kisle ali alkalne odpadne vode, ki jih je treba pred izpustom nevtralizirati do pH okoli 7. V nasprotnem primeru bi odpadna voda poškodovala cevovode in v biološki stopnji uničila mikroorganizme, ki so nosilci čiščenja organskih snovi, prisotnih v odpadni vodi.

Odpadno vodo lahko nevtraliziramo s kislino (če gre za alkalne odpadne vode) ali z lugom (če gre za kisle odpadne vode).

Primer nevtralizacije lahko opišemo z enačbo:



### 9.2.3 Oksidacija

Kemijsko oksidacijo pri čiščenju odpadne vode največkrat povzročamo z uporabo oksidantov, kot so npr. ozon (O<sub>3</sub>), vodikov peroksid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), klor dioksid (ClO<sub>2</sub>), klor (Cl<sub>2</sub>) ali kisik (O<sub>2</sub>), ki spremenijo kemijsko sestavo ali spojino v odpadni vodi.

Kemijsko oksidacijo z uporabo kisika, klora, ozona ali vodikovega peroksida imenujemo "enostavna oksidacija". V splošnem so reakcijske hitrosti prepočasne za uporabo pri čiščenju odpadne vode. Običajno uporabljamo t.i. napredne oksidacijske procese, ki vsebujejo hidroksilne radikale za oksidacijo kompleksnih organskih molekul.

Napredno oksidacijski postopki se uporabljajo za oksidacijo kompleksnih organskih spojin v odpadni vodi in ki so biokemijsko težko razgradljive v enostavnejše končne produkte.

### 9.2.4 Redukcija

Če imamo v odpadni vodi snovi, ki jih lahko odstranimo z redukcijo (dodajanje elektronov), lahko na ta način take snovi spremenimo v manj nevarne.

Primer redukcije je odstranjevanje prisotnega klora v odpadni vodi:



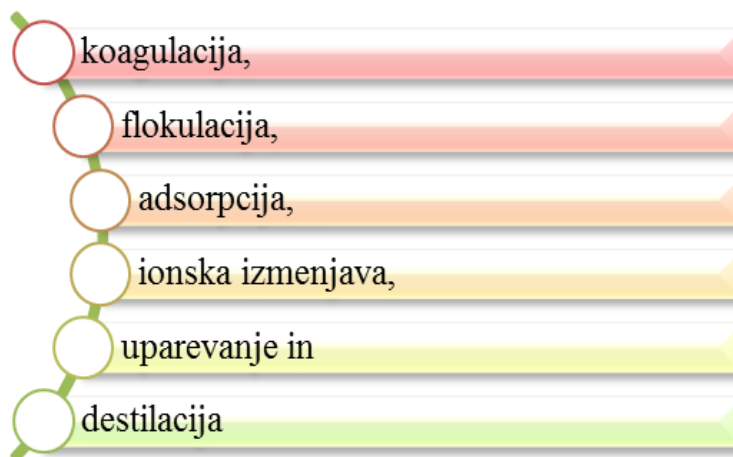
### 9.2.5 Obarjanje

Nekatere snovi, ki odpadni vodi škodujejo, lahko oborimo v netopne produkte, ki jih lahko odstranimo iz odpadne vode.



## 9.3 FIZIKALNO - KEMIJSKO ČIŠČENJE

K najpogosteje uporabljenim fizikalno kemijskim postopkom čiščenja odpadne vode spadajo naslednji postopki:



### 9.3.1 Koagulacija

Koagulacija je fizikalno kemijski postopek, pri katerem s pomočjo koagulantnih kemikalij združujemo koloidne delce v večje aglomerate, ki jih imenujemo kosmi ali flokule. Uporabljamo večvalentne soli kovin, kot so npr.  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{NaAlO}_2$ ,  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$  itd.

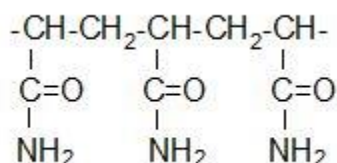
Pri koagulaciji gre za destabilizacijo koloidnih delcev, ki se zaradi elektrostatične sile ne morejo usedati v doglednem času.

### 9.3.2 Flokulacija

Flokulacija je postopek, pri katerem koagulirane delce oziroma kosme (flokule) povečamo z adsorpcijo na dolgo verigo organskega polimera (flokulanta) in s tem omogočimo boljše in hitrejše usedanje ali filtriranje (slika 34).

Ločimo tri vrste flokulantov (polielektrolitov):

Neionski flokulanti so visoko molekularni poliakrilamidi z naslednjo osnovno verigo:



Brez kationskih ali anionskih v glavnem niso uporabni, ker je njihovo delovanje le mehanične narave. Delujejo kot veziva in tvorijo mrežaste povezave med posameznimi kosmi, zaradi katerih se povečujeta velikost in gostota kosmov, kar omogoča lažje usedanje.

**Kationski flokulanti** so daleč najpomembnejši pri čiščenju odpadnih vod. Lahko jih uporabljamo tudi kot koagulate, vendar dosežemo boljše učinke s predhodnim dodatkom Al-sulfata ali Fe-klorida. Osnovna veriga je visoko molekularna struktura poliakrilamida, poliamina ali poliakrilata.

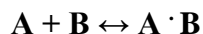


Slika 34: Originalna in flokulirana odpadna voda

Vir: [http://egradiva.minet.si/mod/scorm/player.php?id=792&currentorg=eXeo\\_ciscenje499a0be61dd90e618eb2c&mode=normal&scoid=23134](http://egradiva.minet.si/mod/scorm/player.php?id=792&currentorg=eXeo_ciscenje499a0be61dd90e618eb2c&mode=normal&scoid=23134) (20. 1. 2015)

### 9.3.3 Adsorpcija

Adsorpcija organskih snovi iz tekočin je rezultat privlačnih sil na površini trdnega delca – adsorbenta (A), ki povzročajo adhezijo organskih snovi (B), ko pridejo v stik s trdnimi delci adsorbata (nastane produkt A·B) po reverzibilni enačbi:



Ravnotežje je doseženo, ko se adsorbira maksimalna koncentracija adsorbata.

**Aktivno oglje** je zaradi svoje velike specifične površine in sprejemljive cene daleč najbolj razširjeno adsorpcijsko sredstvo za odstranjevanje onesnaževal iz vod (slika 35). Aktivno oglje pridobivamo z aktivacijo s plinom (ali vodno paro) ali s kemično aktivacijo, za katero so odgovorne interakcije med onesnaževali in površino aktivnega oglja. V obeh primerih dobimo zelo porozno strukturo s številnimi porami, kar je poglavitni vzrok za dobro adsorpcijo.

Čeprav se na aktivnem oglju adsorbirajo praktično vse v vodi raztopljene organske snovi, se adsorpcija na aktivnem oglju uporablja predvsem za odstranjevanje organskih snovi, ki so nepolarne in imajo visoko molekularno maso. Aktivno oglje običajno uporabljamo za vode z nizko vsebnostjo onesnaževal (manj kot 50–100 mg/l). Ko se aktivno oglje zasiti, ga je treba regenerirati.



Slika 35: Aktivno oglje

### 9.3.4 Ionska izmenjava

Ionska izmenjava je postopek, ki se uporablja za odstranjevanje raztopljenih ionskih sestavin (slika 36). Pri čiščenju odpadnih vod je ionska izmenjava nekonvencionalen postopek, ki se redkeje uporablja. Največ se uporablja za mehčanje vode, kjer natrijev ion zamenjajo kalcijevi in magnezijevi ioni. Pri čiščenju odpadne vode se ionska izmenjava uporablja za odstranjevanje dušikovih spojin, težkih kovin in celotnih raztopljenih snovi.



Slika 36: Zrna ionskega izmenjevalca (ionska smola)

Vir: Roš in Zupančič, 2010, 194

### 9.3.5 Destilacija

Destilacija je postopek ločevanja mešanice tekočin z različnimi vrelišči. Ko zmes tekočin segrevamo, začne prva izparevati tekočina, ki ima najnižje vrelišče. Paro vodimo skozi hladilnik, kjer se kondenzira ponovno v tekočino.

Destilacija je enotni postopek, v katerem se tekoče sestavine ločijo z izparevanjem in kondenzacijo. Destilacija se lahko skupaj z reverzno osmozo uporablja za nadzor soli v primeru ponovne uporabe vode ali preostanka. Ker je destilacija draga, je njena uporaba omejena predvsem:

- če je zahtevana visoka stopnja čiščenja,
- če se onesnaževala ne morejo odstraniti z drugimi metodami,
- če je na razpolago poceni toplota.

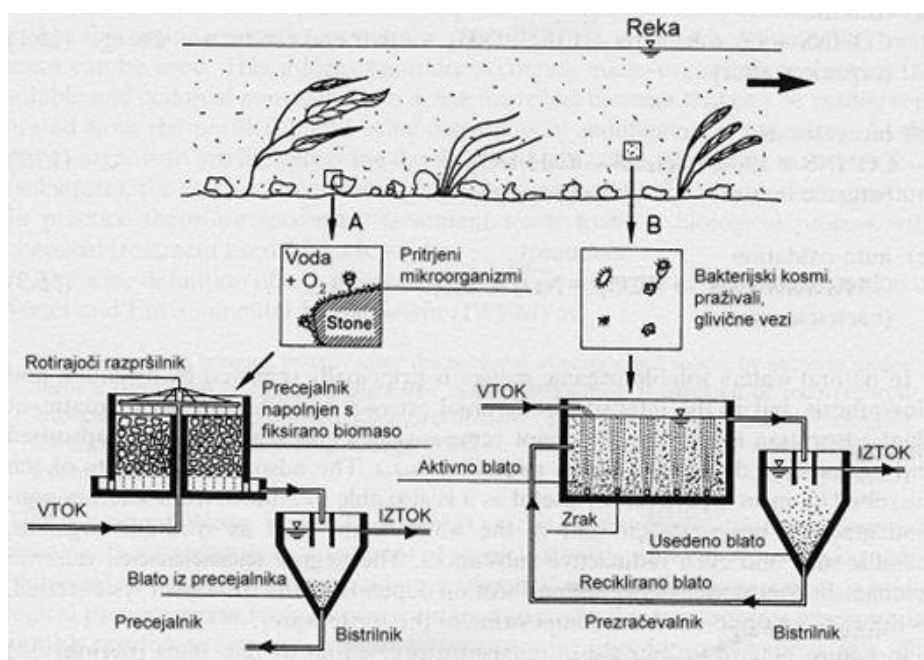
### 9.4 BIOLOŠKO ČIŠČENJE (SEKUNDARNO) ODPADNIH VOD

Za odstranjevanje raztopljenih in koloidnih organsko razgradljivih spojin lahko uporabimo biološko čiščenje. To uporablja naravne mikroorganizme za pretvorbo raztopljenih in koloidnih snovi v gosto mikrobnobno biomaso, ki se lahko ločuje od čiščene tekočine z uporabo konvencionalnih sedimentacijskih procesov.

Osnovno biološko (sekundarno) čiščenje izrablja naravne sisteme, s katerimi lahko razdelimo sisteme na:

- naravne sisteme za čiščenje odpadne vode,
- sisteme čiščenja z aktivnim blatom,
- sisteme s pritrjeno biomaso.

Prenos naravnega čiščenja, ki poteka v rekah, v umetne sisteme (slika 37).



Slika 37: Shematični prikaz biološkega čiščenja, ki poteka v naravi.

Vir: Roš in Zupančič, 2010, 95

### 9.4.1 Vrste in pogoji delovanja biološkega čiščenja

Poznamo naslednje osnovne postopke biološkega čiščenja:

- anaerobno čiščenje,
- aerobno čiščenje,
- odstranjevanje hraniv (nitrifikacija in denitrifikacija, odstranjevanje fosforjevih spojin).

Mikroorganizmi lahko razgrajujejo organsko snov tako v naravi kot v bioloških čistilnih napravah pri različnih oksidacijskih pogojih.

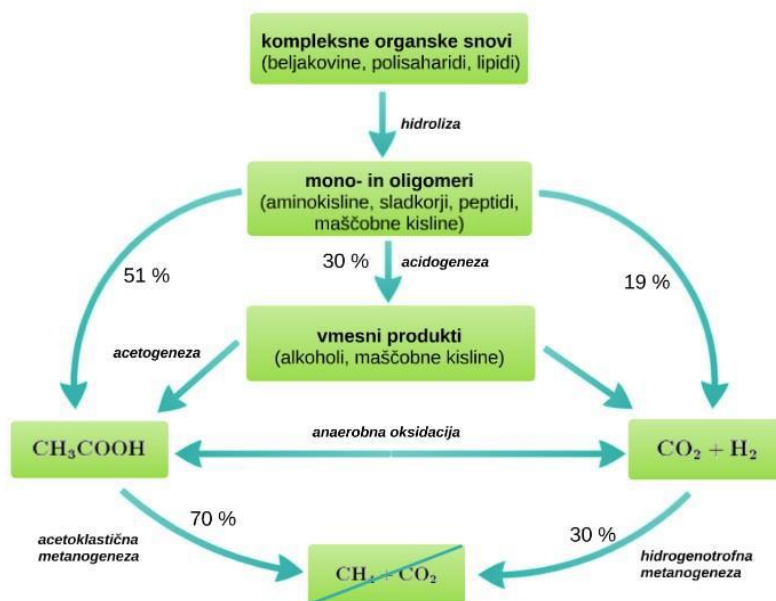
#### 9.4.1.1 Aerobni pogoji

Aerobni pogoji so tisti, kjer mikroorganizmi uporabljajo kot akceptor elektronov raztopljeni kisik. Torej mora biti za aerobne mikroorganizme v sistemu (v prezračevalniku) prisoten raztopljeni kisik (nad 0,5 mg/l), da bo čiščenje potekalo dobro.

#### 9.4.1.2 Anaerobni pogoji

Anaerobni pogoji (slika 38) so tisti, kjer mikroorganizmi dobivajo kisik iz organskih spojin ali iz sulfatnega iona ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), v sistemu pa ne sme biti prisoten raztopljeni kisik, ker ta zavira delovanje anaerobnih mikroorganizmov. Pogoj za normalno delovanje anaerobnega reaktorja je tudi, da ni prisoten dušik v obliki nitrita in nitrata ( $\text{NO}_2^-$  in  $\text{NO}_3^-$  ioni).

## Odvajanje in čiščenje odpadnih vod



Slika 38: Anaerobna razgradnja organskih snovi v bioplin

Vir: <http://www.delo.si/assets/media/other/20140701/vodik.pdf> (5.5.2015)

Na sliki 39 je prikazana shema anaerobnega procesa. Proces je sestavljen iz treh sklopov:

- ✓ priprave in predobdelave substrata,
- ✓ anaerobne presnovne ter
- ✓ obdelave ostanka presnove in bioplina.



Slika 39: Shema tehnologije anaerobnega procesa

Vir: Roš in Zupančič, 2010, 225



### 9.4.1.3 Anoksični pogoji

Anoksični pogoji so tisti, kjer mikroorganizmi dobivajo kisik iz nitritnega in nitratnega dušika. V tem primeru govorimo o denitrifikaciji.

## 9.5 NARAVNI SISTEMI ZA ČIŠČENJE ODPADNIH VOD

Naravni sistemi, ki se običajno uporabljajo za čiščenje komunalnih odpadnih vod, so lagune in namakalna polja (slika 40). Vsi naravni sistemi se uporabljajo za čiščenje odpadnih vod iz manjših naselij. Stabilizacijske lagune se uporabljajo za sekundarno čiščenje, medtem ko se sistemi z namakanjem polj največkrat uporabljajo za dopolnilno (terciarno) čiščenje.



Slika 40: Primeri lagun za čiščenje odpadne vode

Vir: Prirejeno po: <https://www.google.si/search?q=Laguna+za+%C4%8Di%C5%A1%C4%8Denje+odpadne+vode&hl=sl&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=6bQyVcLxDoLlywO4mIGIAw&ved=0CDoQsAQ&biw=1344&bih=723> (15. 4. 2015)

Lagune so običajni bazeni, ki so v celoti zgrajeni v zemlji. Grajene so kot naravni plitvi bazeni iz naravnih materialov, novejša konstrukcija pa vsebujejo tudi umetne pregrade in talne obloge.

Lagune lahko načrtujemo tako, da zgradimo vrsto (serijo) lagun (bazenov). Sedimentacija trdnih snovi in anaerobna razgradnja usedenih organskih snovi potekata v prvi laguni, ki jo imenujemo **primarna laguna**. Sekundarno čiščenje, kjer se oksidira organska snov aerobno v stabilnejše produkte z zmanjšanjem BPK in suspendiranih snovi, poteka v drugi laguni, ki jo imenujemo **sekundarna laguna**. V tretji stopnji se običajno izvaja dodatno oziroma terciarno čiščenje (poliranje) obdelane odpadne vode. Tako laguno imenujemo **terciarna ali polirna laguna**. Zanj je značilno, da je nizko obremenjena z organskimi in suspendiranimi snovmi.

### 9.5.1 Neprezračene lagune

Neprezračene lagune so lahko aerobne, anaerobne ali fakultativne. Organske snovi v odpadni vodi se razgradijo s pomočjo aerobnih in fakultativnih bakterij. Potreben kisik za aerobne bakterije se uvaja z naravnim prenosom kisika na površini zrak – voda in s fotosintezo alg.

Množina kisika z naravnim prenosom na vodni površini je odvisna od moči vetra, ki povzroča turbulenco na površini lagun. Na prenos kisika vpliva tudi topnost kisika, ki je odvisna od temperature vode. Topnost kisika je višja pri nižjih in nižja pri višjih temperaturah.

Neprezračene lagune so nizka umetna jezerca 0,9 – 1,5 m globine tekočine.

### 9.5.2 Aerobne lagune

V aerobnih lagunah se organske snovi razgrajujejo s pomočjo mikroorganizmov ob prisotnosti raztopljenega kisika. Za zahtevano koncentracijo raztopljenega kisika se pri danih dimenzijah, temperaturi in količini sončne svetlobe uporablja naravna ali umetna turbulenca na površini lagun. Globina aerobnih lagun je 0,9–2,4 m. V praksi ni mogoče vzdrževati lagun, ki so v celoti aerobne. Primer aerobne lagune je terciarna ali polirna laguna.

### 9.5.3 Anaerobne lagune

V anaerobnih lagunah, kjer ni kisika, proizvajajo bakterije reducirane produkte, kot so metan ( $\text{CH}_4$ ) in vodikov sulfid ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Na pretvorbo organskih kislin v metan ( $\text{CH}_4$ ) in ogljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ) z metanogenimi bakterijami vplivajo raztopljeni kisik, pH in temperatura, zato so te lagune za te parametre zelo občutljive.

Anaerobne lagune se najpogosteje uporabljajo za grobo čiščenje pred čiščenjem v aerobnih ali fakultativnih lagunah. Z zaporedno povezavo lagun se lahko vmesni produkti iz anaerobne lagune oksidirajo v aerobni laguni. Globina anaerobne lagune je običajno 3 m. Globina lagune je odvisna od ekonomskih razmer, nivoja podtalnice in zadrževanja toplote v laguni.

### 9.5.4 Prezračevane lagune

V nasprotju s plitvejšimi neprezračenimi stabilizacijskimi lagunami prezračevane lagune niso odvisne od fotosinteze alg za oskrbo kisika za aerobne bakterije. Raztopljeni kisik uvajamo z mehanskimi prezračevalniki ali difuzorji. Prezračevane lagune so globoke 3–4,5 m. Načrtujejo popolnoma premešane prezračevane lagune, delno premešane fakultativne prezračevane lagune in kombinacije obeh (slika 43). V teh lagunah varira koncentracija raztopljenega kisika v profilu lagune, ki pa se spreminja tudi med dnevom.

### 9.5.5 Namakalna polja

Čiščenje odpadne vode z namakalnimi polji je kontrolirana uporaba odpadne vode na površino zemlje (slika 41). S fizikalnimi, kemijskimi in biološkimi procesi skozi plasti rastline – zemlja – voda dosežemo načrtovano stopnjo čiščenja. Osnovne lastnosti zemlje (tal), ki vplivajo na uspeh čiščenja odpadne vode, so odvisne od zgradbe in sestave zemlje, prepustnosti, infiltracije vode in kapacitete ionske izmenjave.

Odpadne snovi se odstranjujejo fizikalno s filtracijo skozi zemljo, njihova koncentracija se spreminja z razredčevanjem z deževnico, s taljenjem snega ali v stiku s podtalnico. Filtracija je omejena z zamašitvijo por zemlje s suspendiranimi snovmi. Temu mašenju zemlje se lahko izognemo s predčiščenjem in obdobjem mirovanja med uporabo.

Glavna procesa, vključena v zadrževanje odpadkov v zemlji, sta adsorpcija in usedanje. Učinkovitost zemlje pri odstranjevanju odpadnih snovi je odvisna od vrste snovi, ki se čisti, ter stika med raztopljeno snovjo in trdno fazo zemlje.

Biološki procesi razgrajujejo organsko snov. Hitrost razgradnje je odvisna od vrste dejavnikov, kot so sestava in oblika odpadne vode ter temperatura okolja, predvsem zemlja – voda.

Sposobnost zemlje za čiščenje odpadne vode je omejena z obremenitvijo z dušikom in fosforjem, nato z vodo, ki vsebuje potencialno strupene snovi, odvisna pa je tudi od adsorpcijskega razmerja natrija proti zemlji. V večini situacij je glavni omejitveni dejavnik dušik.

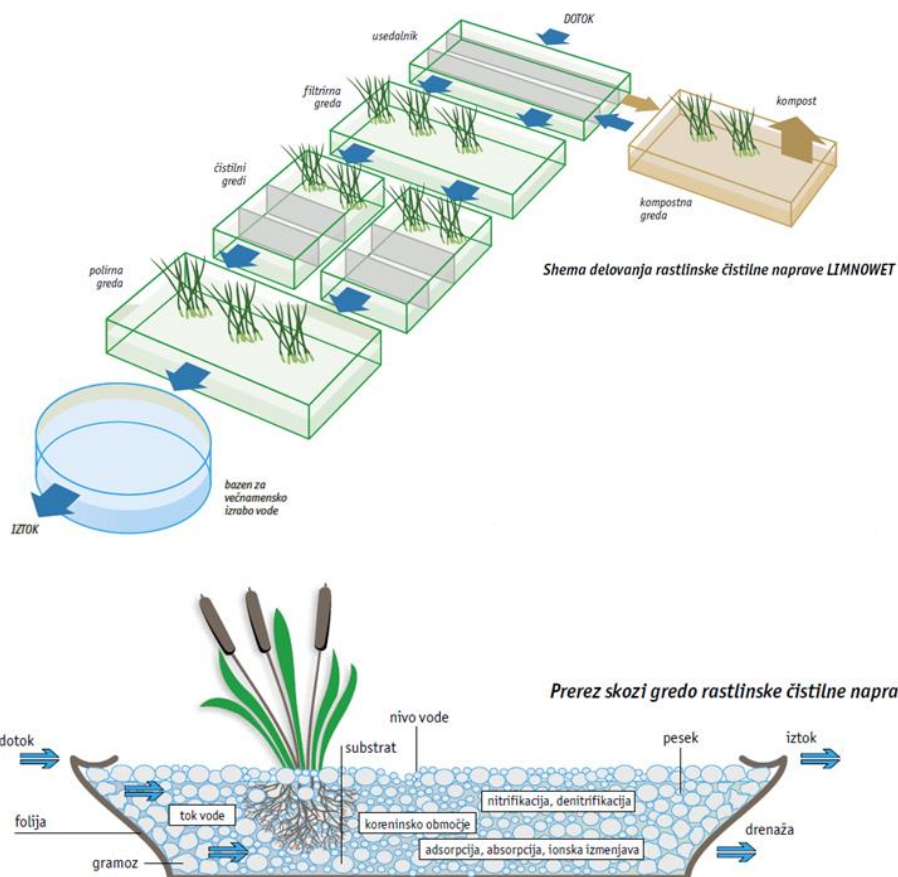


Slika 41: Lagune

Vir: Prirejeno po: [http://egradiva.minet.si/mod/scorm/player.php?id=793&currentorg=eXeo\\_ciscenje499a0be61\\_dd90ef25bb8a&mode=normal&scoid=23198](http://egradiva.minet.si/mod/scorm/player.php?id=793&currentorg=eXeo_ciscenje499a0be61_dd90ef25bb8a&mode=normal&scoid=23198) (2.6.2015)

### 9.6 RASTLINSKE ČISTILNE NAPRAVE

Čistilne naprave, ki jih pogosto imenujemo rastlinske čistilne naprave (RČN), so razširitev namakalnih polj s tokom vode prek zemlje. Rastlinske čistilne naprave so tehnično bolj dovršene, saj imajo običajno definirano zemljo (nekateri jo imenujejo substrat) in urejeno dno naprave (neprepustna folija). Namesto trave ali rastlinske stelje se uporabljajo točno definirane rastline (višje rastline). V principu pa veljajo podobne prednosti in slabosti, kot veljajo za ostala namakalna polja. Shema delovanja rastlinske čistilne naprave (slika 42).

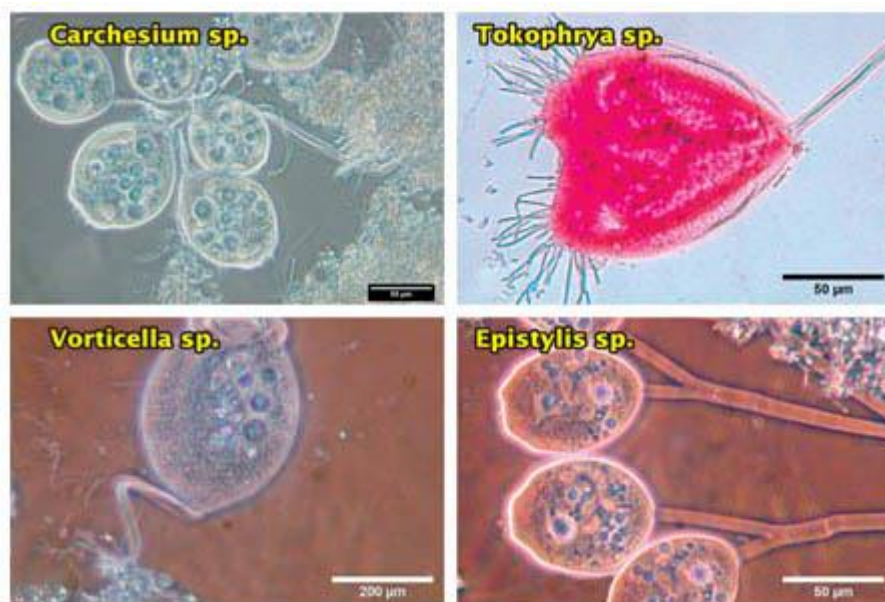


Slika 42: Shema delovanja rastlinske čistilne naprave

Vir: [http://www.erm-jvs.si/Dokumenti/Delavnice/RCN/Limnowet\\_prospekt.pdf](http://www.erm-jvs.si/Dokumenti/Delavnice/RCN/Limnowet_prospekt.pdf) (14.4.2015)

### 9.7 POSTOPEK ČIŠČENJA ODPADNE VODE Z AKTIVNIM BLATOM

Postopek biološkega čiščenja odpadne vode z aktivnim blatom je najbolj razširjen postopek čiščenja odpadne vode. Aktivno blato predstavlja združba mikroorganizmov (bakterije, glive, praživali, kodačniki, glistice...), ki čisti odpadno vodo tako, da v prezračevalnem bazenu razgrajuje organske ogljikove spojine, oksidira amonijev dušik (nitrifikacija) in akumulira fosfor. Mikroorganizmi se med seboj povezujejo v kosme, ki so zbir manjših delcev, zbranih v večje, lažje usedljive delce (slika 43).



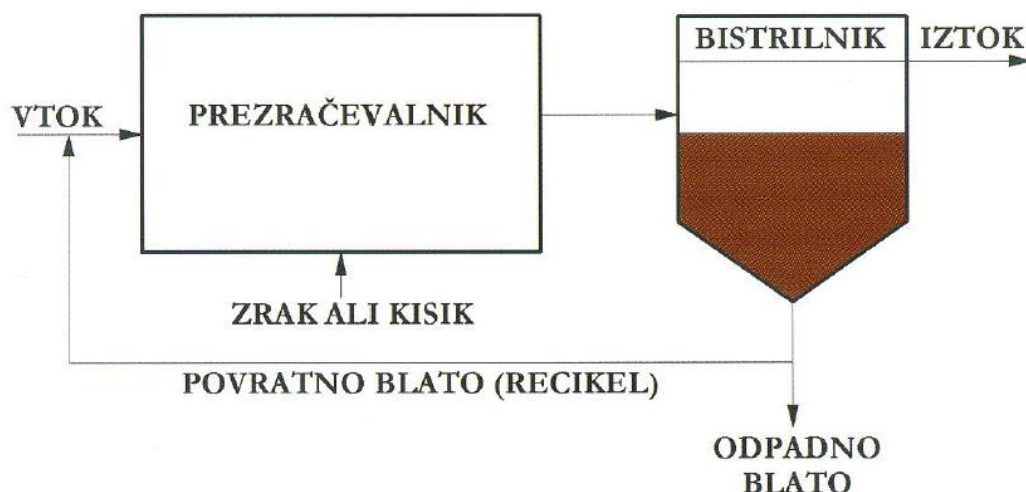
Slika 43: Mikroorganizmi

Vir: <http://www.vo-ka.si/o-druzbi/centralna-cistilna-naprava-ljubljana/biolosko-ciscenje>  
(12.12. 2014)

Prvi del biološkega čiščenja, ki je aerobni proces, poteka v prezračevalnih bazenih, drugi del pa v naknadnih usedalnikih. Odpadna voda se pred vstopom v biološko čiščenje pomeša s povratnim aktivnim blatom in porazdeli v tri prezračevalne bazene. Heterotrofni mikroorganizmi presnavljajo raztopljene snovi in drobne neraztopljene snovi v odpadni vodi, ki vsebujejo organske ogljikove spojine. Te snovi so hrana za mikroorganizme. Sestavni del aerobnega biološkega procesa je tudi nitrifikacija, pri kateri avtotrofni mikroorganizmi pretvorijo okolju škodljivo obliko dušika (amonijev dušik  $\text{NH}_4\text{-N}$ ) v hranilo (nitraten dušik  $\text{NO}_3\text{-N}$ ).

Mikroorganizmi so sestavljeni iz 70–90 % organskih in 10–30 % neorganskih snovi. Celična masa (biomasa) se spreminja glede na kemijsko sestavo odpadne vode, okoljskih razmer in specifičnih lastnosti organizmov.

Po reakciji v prezračevalniku odteka voda gravitacijsko iz prezračevalnika v bistrilnik ali naknadni (sekundarni) usedalnik, kjer se ločijo suspendirane snovi od obdelane (čiščene) vode (slika 44). Koncentrirana suspenzija aktivnega blata se vrača v prezračevalnik, saj vsebuje koncentrirano populacijo mikroorganizmov, ki čistijo odpadno vodo. Ker se mikroorganizmi v procesu neprestano proizvajajo (sintetizirajo), je treba poskrbeti, da se višek aktivnega blata redno odstranjuje. To odstranjevanje poteka iz bistrilnika, čeprav je možno odstranjevati biomaso tudi iz prezračevalnika. Koncentracija odvečnega aktivnega blata iz prezračevalnika je nižja od tiste iz bistrilnika, zato je volumen odvečnega aktivnega blata večji od tistega iz bistrilnika (naknadnega usedalnika).



Slika 44: Shema konvencionalnega postopka z aktivnim blatom.  
Vir: Roš in Zupančič, 2010, 105

Osnovni proces z aktivnim blatom ima več med seboj povezanih sestavnih delov:

- enega ali več prezračevalnikov, kjer se dogajajo biološke reakcije;
- vir zraka, ki zagotavlja oskrbo kisika in mešanje. Vir kisika je lahko zrak, stisnjen zrak, mehansko prezračevanje ali čisti kisik;
- bistrilnik (naknadni usedalnik), ki ločuje biološke suspendirane snovi (aktivno blato) od čiščene odpadne vode;
- zbrano biomaso (aktivno blato) v bistrilniku in vračanje (recikliranje) le-te nazaj v prezračevalnik;
- odstranjeno odvečno blato iz sistema.

Večino sistemov z aktivnim blatom uporabljamo za razgradnjo ogljikovih spojin (BPK). Sistem je možno projektirati in uporabljati tudi za proces oksidacije amonijevih spojin (nitrifikacija) in redukcijo nitrata v elementarni dušik (denitrifikacija). Mnogo sistemov, ki jih projektirajo v novejšem času, je namenjeno nitrifikaciji. Drugi modificirani sistemi vključujejo odstranjevanje fosforjevih spojin in biološko denitrifikacijo.

### 9.7.1 Aktivno blato – mikrobiologija in biokemija I.

Okolje aktivnega blata je vodno. Stalno prezračevanje, premešavanje in recirkulacija ustvarjajo idealno okolje za vrsto prisotnih mikroorganizmov, medtem ko zavirajo rast višjih organizmov. V aktivnem blatu najdemo navadno bakterije, glive (fungi), praživali (protozoa), kotačnike (rotatoriji) in glistice (nematode). Vsi naštetni organizmi pa ne obstajajo v vseh sistemih. Kljub temu so bakterije tisti značilni organizmi, ki porabljajo organske snovi v odpadni vodi. Alge redko živijo v suspenziji aktivnega blata zaradi pomanjkanja svetlobe.

S stališča mikrobiologije je prevladujoča vrsta organizmov odvisna od lastnosti odpadne vode, razmer okolja za različne prisotne mikroorganizme, načrtovanja postopka in načina vodenja

čistilne naprave. Uspeh čiščenja odpadne vode v sistemu z aktivnim blatom je odvisen od gojenja biološke združbe (biocenoze), ki porablja in s tem odstranjuje odpadne snovi, nadalje od združevanja aktivnega blata v kosme, ki se morajo dobro usedati in od dobre recirkulacije blata. Če so izpolnjeni ti pogoji, je iztok iz naprave ustrezen.

Medtem ko prevladuje v aktivnem blatu združba mikroorganizmov aerobnih bakterij, ki potrebujejo organske snovi za preskrbo ogljika in energije (heterotrofne bakterije), so bistvenega pomena tudi glive in praživali. Nitrifikacijske bakterije, ki so sposobne, da porabljajo neorganske spojine za svojo celično rast (avtotrofne bakterije), so prisotne v različnih količinah, odvisno od načina vodenja čistilne naprave ter koncentracije dušika in ogljika. Kotačnike in glistice najdemo najpogosteje v sistemih z dolgim prezračevanjem (6 do 30 ur) ali pravilneje, pri starosti blata nad 10 dni.

Kvalitativno biokemijsko reakcijo za stabilizacijo (mineralizacijo) organskih snovi v procesu aktivnega blata lahko izrazimo:

S stališča mikrobiologije je prevladujoča vrsta organizmov odvisna od lastnosti odpadne vode, razmer okolja za različne prisotne mikroorganizme, načrtovanja postopka in načina vodenja čistilne naprave. Uspeh čiščenja odpadne vode v sistemu z aktivnim blatom je odvisen od gojenja biološke združbe (biocenoze), ki porablja in s tem odstranjuje odpadne snovi, nadalje od združevanja aktivnega blata v kosme, ki se morajo dobro usedati in od dobre recirkulacije blata. Če so izpolnjeni ti pogoji, je iztok iz naprave ustrezen.

Medtem ko prevladuje v aktivnem blatu združba mikroorganizmov aerobnih bakterij, ki potrebujejo organske snovi za preskrbo ogljika in energije (heterotrofne bakterije), so bistvenega pomena tudi glive in praživali. Nitrifikacijske bakterije, ki so sposobne, da porabljajo neorganske spojine za svojo celično rast (avtotrofne bakterije), so prisotne v različnih količinah, odvisno od načina vodenja čistilne naprave ter koncentracije dušika in ogljika. Kotačnike in glistice najdemo najpogosteje v sistemih z dolgim prezračevanjem (6 do 30 ur) ali pravilneje, pri starosti blata nad 10 dni.

Kvalitativno biokemijsko reakcijo za stabilizacijo (mineralizacijo) organskih snovi v procesu aktivnega blata lahko izrazimo:

Inertna snov + organska snov + O<sub>2</sub> + hraniva + mikroorganizmi → novi mikroorganizmi + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + dodatna inertna snov + energija

### 9.7.2 Aktivno blato – mikrobiologija in biokemija II

Aktivno blato v čistilni napravi je namenjeno čiščenju odpadnih voda. Pri reakcijah čiščenja (presnove) sodelujejo vsi mikroorganizmi v aktivnem blatu. Presnova (metabolizem) poteka po dveh ločenih poteh, in sicer je to tvorba novih celic (sinteza), po drugi strani pa lastno dihanje mikroorganizmov (respiracija). Obe vrsti reakcij, to je sinteza in dihanje, potekata vzporedno. Pri reakcijah sinteze se proizvajajo vmesni produkti, končni produkti presnove (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O) in se sprošča del energije. Točna narava teh nastalih produktov je odvisna od

velikosti čistilne naprave, zasnove procesa, zadrževalnega časa odpadne vode v sistemu in obremenitve čistilne naprave.

Sinteza protoplazme (novih celic, biomase) je reverzibilna, ker lahko celice uporabljajo svojo lastno protoplazmo kot hrano (substrat) za preskrbo potrebne energije za vzdrževanje življenja. To je znano kot endogeno dihanje (respiracija). Vzdrževanje obstoječih energetskih potreb je neodvisno od prisotnosti substrata izven celice. Ko prevladuje endogeno dihanje, preneha rast mikroorganizmov in poveča se celična razgradnja. To se kaže v neto zmanjšanju mase mikrobnih celic v sistemu. Za primerno vodenje procesa je treba še vedno odstranjevati odvečno blato. Primer takega sistema je proces podaljšanega prezračevanja, ki lahko uspešno obratuje pri endogeni respiraciji.

### 9.7.3 Aktivno blato – osnovni cilji procesa

Proces z aktivnim blatom uporablja za odstranjevanje razgradljivih organskih snovi (ogljikovega BPK) in oksidacijo amonijevega dušika (nitrifikacija). Posebni procesi z aktivnim blatom se lahko uporabljajo tudi za odstranjevanje nitratov (denitrifikacija) in biološko odstranjevanje fosforja.

Pri načrtovanju sistema z aktivnim blatom moramo upoštevati velikost reaktorja, razvrstitev posameznih delov čistilne naprave, opremo za vnos kisika in opremo za mešanje aktivnega blata.

Pri procesu z aktivnim blatom lahko potrebo po kisiku ločimo v dve vrsti: ogljikovo in dušikovo. Ogljikova potreba po kisiku je merilo kisika, ki ga zahtevajo organizmi v aktivnem blatu (biomasa) za pretvorbo razgradljivih organskih snovi (substrata) v biomaso. Dušikova potreba po kisiku je merilo kisika, ki ga zahtevajo nitrifikacijske bakterije za pretvorbo amonijevega dušika v nitrit in nitrat.

Ti sestavni deli potrebe po kisiku se uporabljajo za določevanje kisikovih potreb za sistem z aktivnim blatom.

#### 9.7.3.1 Odstranjevanje biokemijske potrebe po kisiku

Ogljikovo potrebo merimo z ogljikovo biokemijsko potrebo po kisiku (CBPK) in jo lahko izrazimo kot funkcijo števila dni, ko se meri poraba; običajno je 5-dnevna (najpogosteje) in 20-dnevna. BPK sestoji iz topnega, raztopljenega in neraztopljenega dela.

Z značilno komunalno odpadno vodo in z dobro načrtovanim procesom z aktivnim blatom lahko dosežemo kakovost iztoka CBPK 5 do 15 mg/l. Dovajanje kisika, potrebno za navedeno kakovost iztoka, je v območju 1,0 do 1,4 kg O<sub>2</sub>/kg BPK, kar je odvisno tudi od starosti blata.



### 9.7.3.2 Biološko čiščenje – odstranjevanje hraniv

Bakterije, ki oksidirajo amonij (*Nitrosomonas sp.*), dobijo energijo z oksidacijo amonijevega dušika v nitritni dušik, bakterije, ki oksidirajo nitrit (*Nitrobacter sp.*), pa oksidirajo nitritni dušik v nitratni dušik. Te oksidacijske reakcije proizvedejo zelo malo energije. Ker je za pretvorbo CO<sub>2</sub> v celični ogljik potrebna energija, je populacija nitrifikatorjev v aktivnem blatu sorazmerno majhna. Pri primerjavi heterotrofnih bakterij v aktivnem blatu z nitrifikacijskimi bakterijami imajo le-te krajši čas reprodukcije.

Nitrifikatorji so do določene mere prisotni v vseh domačih vodah. Vendar se nekatere odpadne vode ne nitrificirajo v obstoječih čistilnih napravah, ker so naprave projektirane za večjo hitrost rasti bakterij, ki so odgovorne za odstranjevanje ogljikovih spojin. Če starost blata naraste, se pojavi tudi nitrifikacija. Daljša starost blata zagotovi večje število nitrifikatorjev in s tem zaščiti te organizme pred propadom, ko se pojavi onesnaženje. Počasnejša rast nitrifikatorjev jih naredi občutljive za propad, če se močno poveča dotok odpadnih snovi.

### 9.7.3.3 Nitrifikacija

Ker nitrifikacija zahteva daljšo starost blata, so volumni večji kot tisti za odstranjevanje ogljikovih spojin. Prevelika starost blata pa lahko vodi do problemov pri usedanju zaradi onesnaženega zraka ali zaradi endogenega dihanja.

Potreba po kisiku za popolno nitrifikacijo je visoka. Za večino domačih odpadnih vod sta potreba po kisiku za nitrifikacijo in potrebna moč za 30–40 % večji od tistih, ki jo potrebujemo za samo odstranjevanje CBPK. Za nitrifikacijo pa se zahteva 4,3–4,6 mg O<sub>2</sub>/mg amonijevega dušika, ki se pretvori v nitratni dušik. Odpadna voda vsebuje običajno 10–30 mg/l reduciranega dušika. S pravilnim (stabilnim) vodenjem nitrifikacije lahko nitrificiramo nad 90 % dušikovih spojin.

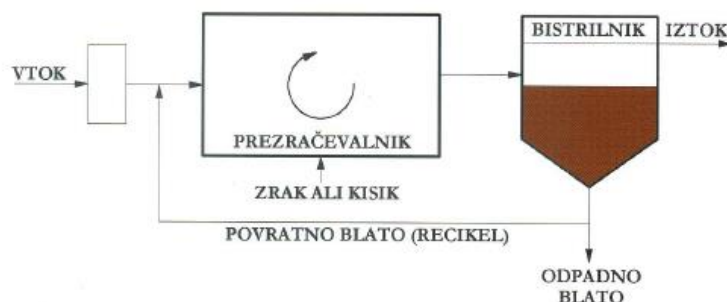
Nitrifikatorji so aerobni mikroorganizmi, zato moramo vzdrževati določeno koncentracijo raztopljenega kisika (RK) v sistemu. Minimalna sprejemljiva koncentracija RK je 2–3 mg/l. Optimalna rast nitrifikacijskih bakterij je v območju pH med 8 in 9.

Nitrifikacija poteka v širokem temperaturnem območju, vendar se z zmanjšanjem temperature reakcijska hitrost upočasni. Zmanjšanje temperature je manj problematično kot starost blata. V toplejših krajih se nitrifikacija pojavi že pri starosti blata 3 dni, v hladnejših krajih pa mora biti starost blata nad 20 dni.

### 9.7.4 Aktivno blato – popolnoma premešani reaktor s selektorjem

Ena od metod za kontrolo nitastih (filamentoznih) mikroorganizmov in s tem za preprečevanje napihovanja blata je uporaba "selektorja" v kombinaciji s sistemom, kjer se izvaja popolno mešanje aktivnega blata. "Selektor" je kontaktni bazen ali predel, katerega nadaljevanje je prezračevalnik (slika 45). Zagotovi kratkotrajne (10–30 minut) pogoje

reagiranja (kondicioniranje) med mešanico vtoka in povratnega blata. Reagiranje (kondicioniranje) se v "selektorju" lahko dogaja pri aerobnih pogojih, pri nizki koncentraciji RK ali anaerobnih pogojih.

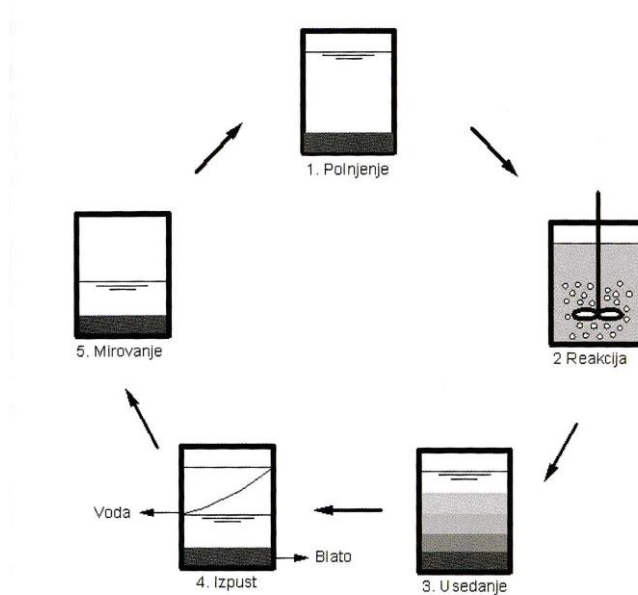


Slika 45: Shema sistema s popolnoma premešanim reaktorjem aktivnega blata s "selektorjem"  
Vir: Roš in Zupančič, 2010, 112

### 9.7.5 Šaržni biološki reaktor (SBR)

Šaržni biološki reaktor je tako imenovani "napolni-in-izprazni" sistem z aktivnim blatom (slika 46). Enoviti procesi, ki potekajo v SBR, so identični konvencionalnemu procesu z aktivnim blatom. Prezračevanje in usedanje se izvajata v istem reaktorju. Pomembna razlika je v tem, da se v konvencionalnem sistemu izvaja usedanje v ločenem bazenu, pri SBR pa se oboje izvaja v istem reaktorju. Zaradi stalnega dotoka odpadne vode potrebujemo več vzporednih reaktorjev.

SBR-sistem ima skupno običajno pet stopenj, ki se izvajajo v specifičnih zaporedjih. Te stopnje so: polnjenje, reakcija, usedanje, izpust in mirovanje. Mešanje in prezračevanje vzdržujemo z isto opremo, kot se uporablja v konvencionalnem prezračevalniku z aktivnim blatom.



Slika 46: Šaržni biološki reaktor za en cikel  
Vir: Roš in Zupančič, 2010, 115

### 9.7.6 Podaljšano prezračevanje

Proces s podaljšanim prezračevanjem zadržuje odpadno vodo v prezračevalniku 18 ur ali več. Ta proces obratuje pri visokih starostih blata (in nizkem F/M-razmerju), kjer se lahko pojavita nitrifikacija in endogeno dihanje. Zato se mikroorganizmi hranijo z vso preostalo hrano in uporabljajo za hrano celo svoje lastne celice. Posledica visoke kompetitivnosti je dobro očiščen iztok z nizko koncentracijo suspendiranih snovi. Veliko sistemov s podaljšanim prezračevanjem nima primarnega usedalnika.

### 9.7.7 Oksidacijski jarki

Oksidacijski jarek je varianta procesa podaljšanega prezračevanja (slika 47).

Odpadna voda, ki jo poganja mehanični prezračevalnik ali črpalke na enem ali več mestih, kroži po ovalnem jarku. Hitrost toka v prezračevalniku je 0,2–0,37 m/s, da bi s tem preprečili usedanje suspendiranih snovi (aktivnega blata).

Oksidacijski jarki imajo za prezračevanje krtače, diskaste prezračevalnike, površinske prezračevalnike, prezračevalnike s curkom (jet aerator), ki prezračujejo tekočino in jo istočasno poganjajo po jarku. Uporablja se tudi kombinacija globinskega prezračevanja z difuzorji in s pripravo za črpanje.



Slika 47: Shema oksidacijskega jarka

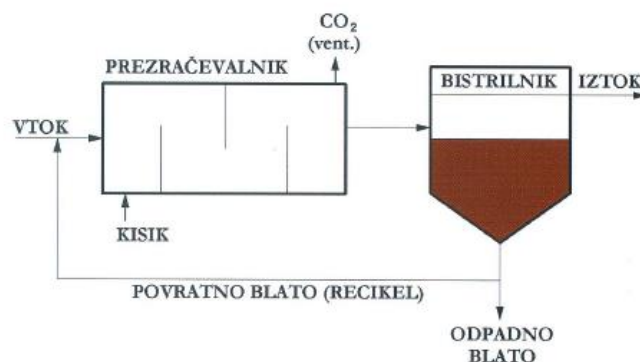
Vir: Roš in Zupančič, 2010, 125

### 9.7.8 Proces s čistim kisikom

Najbolj znan sistem s čistim kisikom je zaprt in pregrajen prezračevalnik (slika 48). Odpadno vodo, povratno blato in kisik dovajamo v prvi del prezračevalnika. Odpadno vodo in odpadno blato vodimo vzdolž prezračevalnika. Prezračevalniki v tem sistemu so pokriti, da zadržujejo kisik in omogočajo visoko stopnjo porabe kisika. Glavna prednost takega reaktorja je sposobnost sistema, da maksimalno izrablja kisik.

Taki sistemi so občutljivi za industrijske izpuste, zato morajo imeti vgrajene protieksplzivne in protipožarne alarme. Upoštevati je treba tudi posebne varnostne ukrepe za delo s čistim kisikom.

Pomemben element takega procesa je vir kisika. Na voljo so štiri viri oskrbe kisika: uskladiščeni tekoči kisik, kriogeni generator kisika, adsorpcijski generator pod visokim tlakom in vakuumska adsorpcija. Prvi ne zahteva strojne opreme, ampak samo rezervoar, v katerega lahko skladiščimo tekoči kisik, ki ga občasno pripeljejo. Ta metoda je ekonomično primerna za oskrbo s kisikom za manjše čistilne naprave (manj kot 175 l/s). Ostali trije viri kisika so nameščeni na mestu čistilne naprave. Adsorpcijski generator pod visokim tlakom uporabljamo za manjše naprave, medtem ko se kriogeni generator in vakuumska adsorpcija uporabljata za večje naprave.



Slika 48: Proces s čistim kisikom s predeljenim prezračevalnikom

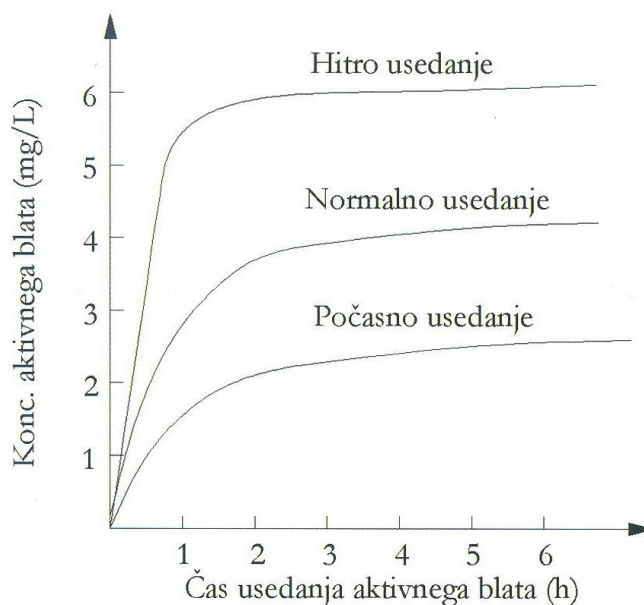
Vir: Roš in Zupančič, 2010, 126

### 9.7.9 Sistemi s pritrjeno (fiksirano) biomaso

Poleg sistemov z aktivnim blatom, kjer je biomasa razpršena v prezračevalniku, poznamo vrsto sistemov, kjer je biomasa priraščena na nosilce biomase. Taki sistemi so precejalniki, rotirajoči biološki kontaktorji in različni biofiltri. V zadnjem času jih izredno hitro razvijajo.

Sistemi z aktivnim blatom, kjer mikroorganizmi oksidirajo organsko snov in amonij v novo biomaso, potrebujejo kisik, ki mora priti v stik z odpadno vodo in mikroorganizmi. V bioloških čistilnih napravah z aktivnim blatom je kisik potreben tudi za mešanje, ki ga dosežemo z vnašanjem zraka z difuzorji ali z mehanskimi prezračevalniki. Reaktorji s pritrjeno (fiksirano) biomaso opravljajo isto nalogo kot prezračevalniki z aktivnim blatom. Vodo spravijo v stik z mikroorganizmi z uporabo različne trdne podlage, ki služi kot nosilec biomase. V reaktorjih s pritrjeno biomaso so mikroorganizmi priraščeni na trdni podlagi, kot je npr. kamenje, plastika ali keramika.

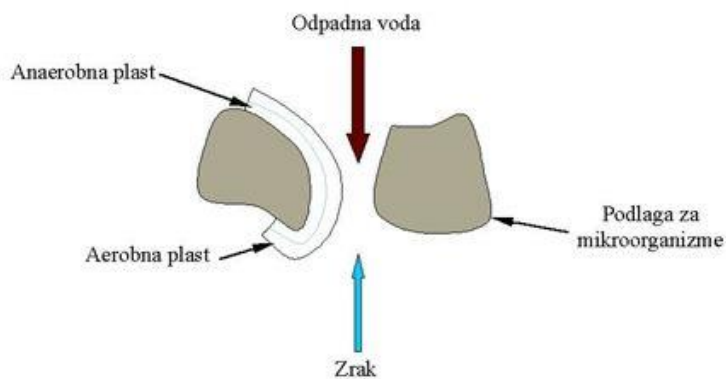
Pritrjena biomasa v obliki filma, ki je lepljiv, želatinast, vsebuje veliko in raznovrstno populacijo živih organizmov, kot so bakterije, praživali, alge, glive, glistice in celo ličinke. Krivulja usedanja aktivnega blata za hitro, normalno in počasi usedljivo blato (slika 49).



Slika 49: Krivulja usedanja aktivnega blata za hitro, normalno in počasi usedljivo blato  
Vir: Roš in Zupančič, 2010, 132

### 9.7.10 Precejalniki

Pri precejalnikih prehaja odpadna voda skozi obraščeno podlago od vrha navzdol. Na to podlago pritrjeni mikroorganizmi se hranijo z organsko snovjo iz odpadne vode. Mikroorganizme, ki rastejo na podlagi, imenujemo biofilm ali biološka prirast. Ti mikroorganizmi vsebujejo na zunanji površini aerobne, na notranji strani pa anaerobne bakterije (slika 50).



Slika 50: Podlaga za pritrjene mikroorganizme  
Vir: Roš in Zupančič, 2010, 137

### 9.7.11 Biofiltri

Izraz biofiltracija se uporablja za čistilne postopke, kjer istočasno odstranimo organsko onesnaženje in suspendirane snovi (slika 51). Biomasa ima višjo koncentracijo in aktivnost kot pri postopkih čiščenja z aktivnim blatom. Za zahtevano stopnjo čiščenja potrebujejo

biofiltri trikrat manj volumna kot sistemi biološkega čiščenja z aktivnim blatom in dvanajstkrat manj kot precejalniki. Prednosti biofiltrov so:

- manj potrebnega prostora za postavitev (zaradi oblike in manjših bistrilnikov),
- prilagodljivost na razredčene odpadne vode,
- hiter ponovni zagon,
- možnost modularne konstrukcije in avtomatizacije,
- uporaba za različne vrste onesnaženja (organske, dušikove spojine),
- lahka vključitev v obstoječe čištilne naprave in
- zanesljivo delovanje.

Slabi strani biofiltrov sta njihova zapletena konstrukcija (dovod odplake, dovod zraka, recikel) in uporaba nosilcev biomase, kar se odraža v visokih investicijskih stroških. Tudi obratovalni stroški so višji kot pri sistemih z aktivnim blatom zaradi stroškov energije, ki nam omogoča dovod odplake in zraka v biofilter.



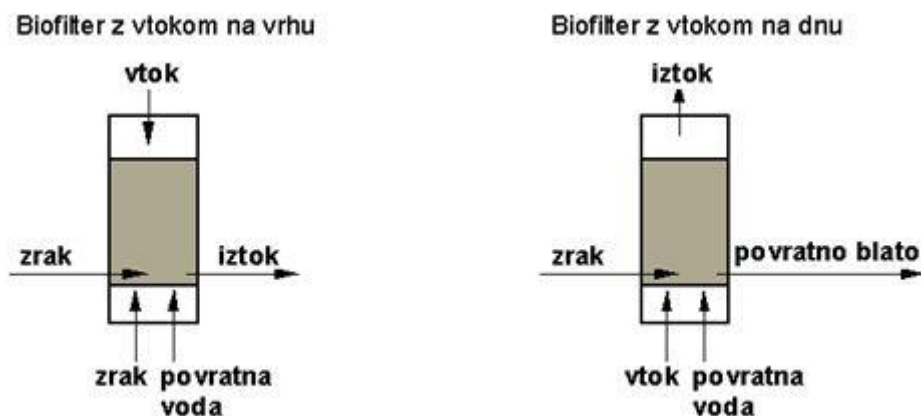
Slika 51: Biofilter na CČNL za čiščenje zraka  
Vir: Lasten

Biofiltre uporabljamo v različnih procesih čiščenja odpadne vode. V povezavi z drugimi metodami jih uporabljamo za odstranjevanje organskih snovi, nitrifikacijo in denitrifikacijo. Pomembno je, da odpadna voda, ki vstopa v proces biofiltracije, vsebuje čim manj suspendiranih snovi. Čim več suspendiranih snovi vsebujejo, tem pogosteje je treba biofiltre spirati.

### 9.7.11.1 Delitev biofiltrov I

Glede na vstop odplak v biofiltre delimo na (slika 52):

Biofiltre z vtokom na vrhu (angl. down flow) in tokom vode navzdol, biofiltre z vtokom na dnu (angl. up flow) in tokom vode navzgor.



Slika 52: Delitev biofiltrov

Vir: [http://egradiva.minet.si/mod/scorm/player.php?a=572 &currentorg=eXeo\\_ciscenje499a0be61dd90ef25bb8a&scoid=23298](http://egradiva.minet.si/mod/scorm/player.php?a=572 &currentorg=eXeo_ciscenje499a0be61dd90ef25bb8a&scoid=23298) (12.4.2015)

### 9.7.11.2 Delitev biofiltrov II.

Delimo jih lahko tudi glede na tok odplake in zraka:

- sotočni biofiltri,
- protitočni biofiltri.

V biofiltrih s strnjenim slojem se razvije biomasa z zelo visoko stopnjo aktivnosti, zato je njihova učinkovitost čiščenja glede na volumen zelo visoka. Težava, ki se pojavlja pri uporabi biofiltrov s strnjenim slojem, je mašenje filtrirnega medija. Potrebno je redno povratno spiranje filtrirnega medija (sloja nosilca biomase). Pogostost spiranja je odvisna od količine suspendiranih snovi v odplaki. Zato moramo iz odpadne vode, ki vstopa v sistem biološkega čiščenja z biofiltri, čim bolj odstraniti suspendirane snovi. Od frekvence povratnega spiranja sta odvisni kapaciteta (učinkovitost) in poraba energije biofiltra.

### 9.7.12 Proizvodnja bioplina in drugih produktov presnove

Pri anaerobni presnovi nastanejo trije produkti: presnovljeno blato, odpadna tekočina (blatnenica) in plini. Presnovljeno blato je v številnih pogledih drugačno od primarnega in sekundarnega blata. Ima manj patogenih organizmov, je stabilizirano in ima precej manj neprijeten vonj, z vonjem po zemlji. Posušeno blato je primerno za odlaganje na kmetijske površine. BPK tekočine je lahko zelo visok, do 10000 mg/L. Zaradi razgradnje organskega dušika ima lahko tekoča frakcija visoko koncentracijo topnega dušika (predvsem v obliki amonijevega dušika). Tekočina (blatnenica) se običajno vrača na začetek čistilne naprave.

Presnovljeni plin imenujemo običajno bioplin. Bioplin je v glavnem mešanica ogljikovega dioksida in metana, ob sledeh vodne pare, vodikovega sulfida, vodika, dušika in nenasičenih

ogljikovodikov. Običajno vsebuje 65 % do 70 % metana in 30 % do 35 % ogljikovega dioksida. Skupna kalorična vrednost bioplina je med 24 000 in 26 000 kJ/m<sup>3</sup>.

### 9.7.13 Sistemi s statičnim nosilcem biomase

Anaerobni reaktorji z uporabo fiksnih ali statičnih nosilcev biomase, ki zadržuje biomaso, so znani kot anaerobni biofiltri. Projektirani so tako, da se voda preceja ali zgoraj navzdol ali pa od spodaj navzgor, in so v celoti potopljeni v vodi, tako da zrak ne more prodreti v nosilce. Biomasa se obraste na nosilcih.

### 9.7.14 Obdelava in načini obdelave blata, ki nastaja na bioloških čistilnih napravah

Odstranjevanje usedljivih snovi iz surove vode pri primarnem čiščenju (primarno blato) in usedljive snovi, ki se proizvajajo z biološko pretvorbo raztopljenih snovi v bakterijske celice pri sekundarnem čiščenju (sekundarno blato), nenehno proizvajajo velike količine koncentriranega blata. Medtem ko lahko tekočo frakcijo odpadne vode prečistimo in jo varno odvajamo v površinske vode, je treba akumulirano blato pred odlaganjem dodatno obdelati. Blato vsebuje različne komponente, kar je odvisno od sestave in načina predelave odpadne vode.

Odvečno blato iz biološke čistilne naprave je treba zbirati, stabilizirati in nato na primeren način odstranjevati.

Snovi v blatu, ki nastaja na bioloških čistilnih napravah, lahko razdelimo na:

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

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

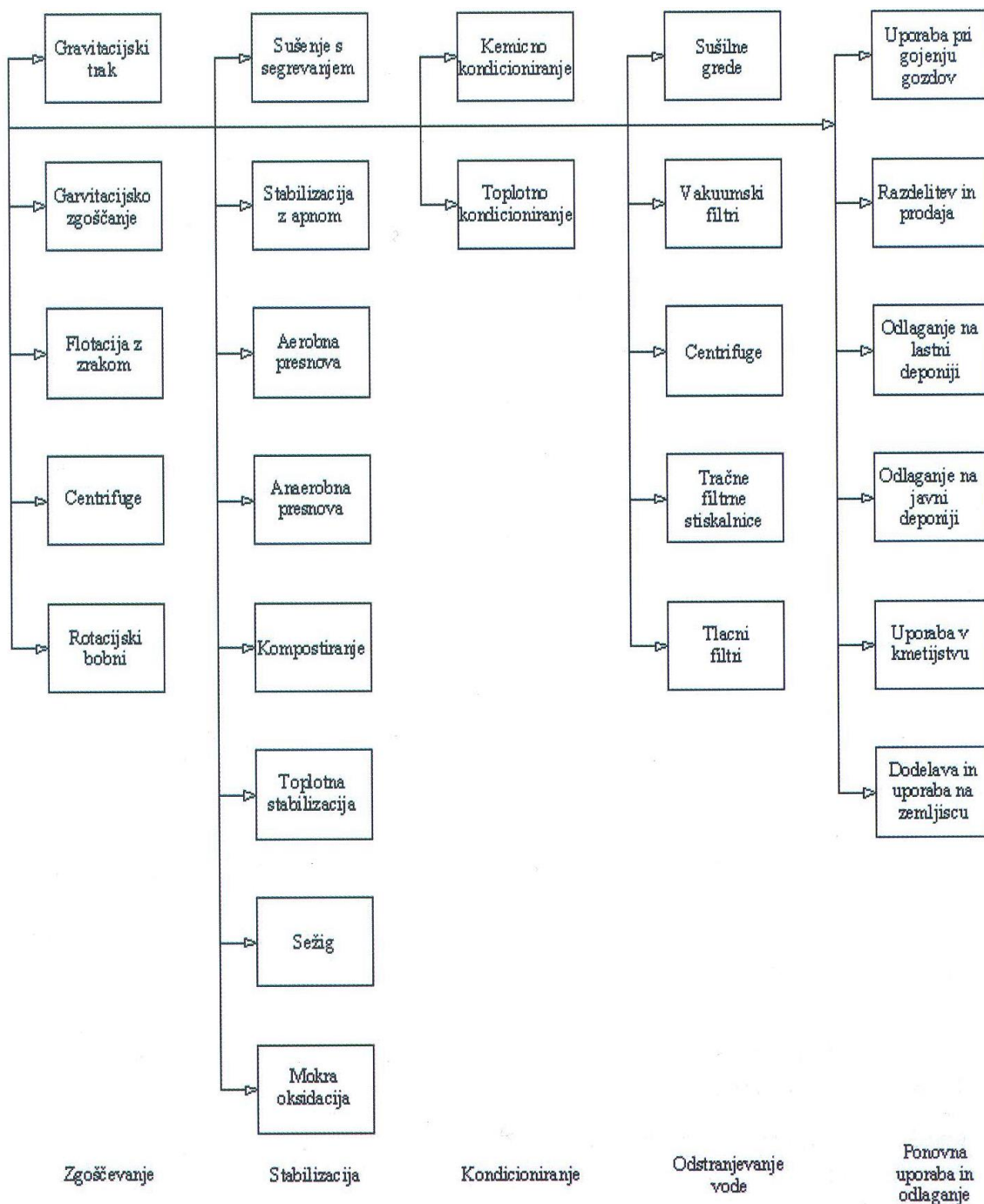
- kondicioniranje
- zgoščevanje in odstiranje vode,
- stabilizacija,
- alkalna stabilizacija,
- kompostiranje,
- sežig.

#### 9.7.14.1 Kondicioniranje blata

Kondicioniranje blata je proces za izboljšanje kakovosti blata. Blatu moramo odstraniti čim več vode in ga zgostiti. To dosežemo z mehansko, kemijsko ali termično obdelavo. Cilja kondicioniranja blata sta zgoščanje blata in sproščanje vezane vode.



Na sliki 53 so prikazani postopki obdelave in uporabe blata, ki nastaja pri čiščenju odpadnih vod.



Slika 53: Postopki za predelavo in uporabo blata

Vir: Roš in Zupančič, 2010, 208

### 9.7.14.2 Zgoščevanje blata in odstranjevanje vode

Pred presnovo blata, odstranjevanjem vode ali stiskanjem, kjer pripravljamo blato za končno dispozicijo, se blato običajno zgošča. Zgoščevanje blata se izvaja zato, da se odstrani del vode in s tem zmanjša volumen blata.

Poznamo več metod oz. naprav za zgoščevanje blata na bioloških čistilnih napravah:

- gravitacijske zgoščevalnike,
- gravitacijske tračne zgoščevalnike,
- flotacijske zgoščevalnike,
- centrifuge.

Pri zgoščevanju blata lahko uporabimo eno od naštetih naprav ali kombinacije le-teh.

### 9.7.14.3 Flotacijsko zgoščevanje z zrakom

Naslednjo metodo za zgoščevanje blata imenujemo **flotacija z zrakom**. To je metoda, kjer se majhni zračni mehurčki primejo na delce blata. Ti mehurčki povzročajo flotacijo (izplavljanje) na površino, kjer jih odstranjujemo z napravami za posnemavanje zgoščenega blata. Del iztoka iz flotatorja porabimo, da mu pri povišanem tlaku dodajamo zrak. S tem dobimo prenasličeno raztopino. Ta raztopina se meša z blatom, ki vteka v sistem (v flotator). Ko se tok pri povišanem tlaku vrne na atmosferski tlak, se tvori veliko zelo finih mehurčkov. Ti mehurčki flotirajo suspendirane snovi na vrh reaktorja, kjer jih posnamemo. Težje snovi se usedajo na dno reaktorja, kjer se jih odstranjuje s strgali. Flotacijsko zgoščevanje z raztopljenim zrakom deluje bolje, če so suspendirane snovi lahke in imajo večjo težnjo flotiranja kot usedanja. To je tudi razlog, da flotacijo uporabljamo za zgoščevanje odpadnega aktivnega, ne pa primarnega blata, ki vsebuje nekatere specifično težje komponente.

### 9.7.14.4 Gravitacijski tračni zgoščevalnik

Naslednji zelo razširjen zgoščevalnik, ki se uporablja na bioloških čistilnih napravah, je gravitacijski tračni zgoščevalnik. Taki zgoščevalniki so načrtovani za zgoščevanje aktivnega blata, ki vsebuje 0,5 do 1,5 % suhe snovi. Gravitacijski tračni zgoščevalnik loči vodo od suspendiranih snovi z uporabo gravitacijske drenaže (sušenja) vzdolž poroznega horizontalnega traku. Pri gravitacijskih tračnih zgoščevalnikih navadno uporabljajo kemijsko kondicioniranje za ločitev proste vode od suspendiranih snovi. Za kemijsko kondicioniranje uporabljajo polimere. Za dobro flokulacijo dodajajo običajno 0,1 do 0,25 vol. % polimera. Raztopino polimera lahko mešajo s suspendiranimi snovmi v cevi, ob sistemu za mešanje ali pa v reaktorju za kondicioniranje pri zgoščevalniku. Mešanje v cevi izvajajo na točki, kjer ima mešanica polimer – blato zadrževalni čas od 30 do 60 sekund, preden doseže zgoščevalnik. Kondicionirano blato vstopa na eni strani zgoščevalnika v korito, iz katerega se blato enakomerno porazdeli vzdolž celega traku.

### 9.7.14.5 Stabilizacija blata

Skoraj vsi procesi na čistilnih napravah se končajo s proizvodnjo blata. Na večini čistilnih naprav se blato naprej zgošča in nato prenese v stabilizacijski proces kot nadaljnja obdelava blata. Stabilizirane snovi ali "biosnovi" se nato pošljejo na končno odlaganje (ali uporabo).

Cilji stabilizacije blata so uničenje patogenih organizmov, odstranjevanje vonja, stabilizacija organskih snovi in koncentriranje trdnih snovi. Za stabilizacijo blata uporabljamo anaerobno in aerobno presnovo.

### 9.7.15 Osnovni parametri za vodenje gnilišča

Osnovni parametri za vodenje aerobne presnove so:

- vzdrževanje primerne koncentracije raztopljenega kisika,
- kontrola vrednosti pH,
- vzdrževanje primerne mešanja,
- kontrola temperature,
- vzdrževanje primerne starosti blata.

V aerobnem reaktorju moramo vzdrževati koncentracijo raztopljenega kisika med 1 in 3 mg/L. To navadno dosežemo s površinskimi ali podpovršinskimi prezračevalniki.

Aerobni reaktorji morajo biti dobro premešani, da mikroorganizmi ohranijo dober stik z raztopljenim kisikom in organsko snovjo v blatu.

V aerobnih reaktorjih moramo vzdrževati vrednost pH med 6,2 in 7,0. Minimalna temperatura mora biti 13 °C.

Starost blata se med letom spreminja zaradi temperaturnih nihanj. Pri temperaturi 20 °C mora biti starost blata okoli 40 dni, pri 15 °C pa okoli 60 dni. Pri taki starosti blata zmanjšamo število patogenov in dosežemo 38 % zmanjšanje hlapnih suspendiranih snovi.

### 9.7.16 Kompostiranje

Kompostiranje je biološka stabilizacija/razgradnja organskih odpadkov, največkrat rastlinskega izvora s pomočjo mešane mikrobne združbe v ogretem, aerobnem okolju. Z njim pridobimo higieniziran, humificiran stabilni produkt prstenege, temnega, drobljivega izgleda in otipa, ki je uporaben kot gnojilo. Postopek je uporaben za recikliranje gospodinjskih, vrtnih in organskega dela komunalnih trdnih odpadkov pa tudi kot postopek obdelave odpadnega blata iz bioloških čistilnih naprav. Za kompostiranje odpadnega blata iz bioloških čistilnih naprav največkrat uporabljamo kopo, kjer se pretvorijo organske snovi v stabilno snov humus, ki se uporablja kot dodatek zemlji. Pri kompostiranju mikroorganizmi proizvajajo toploto (55 do 65 °C) s tem, da moramo vzdrževati določeno raven kisika za aerobno presnovo (obračanje mase). Pri kompostiranju, ki je kontroliran proces (do 65 °C), uspešno odstranjujemo patogene organizme.

#### 9.7.16.1 Prednosti kompostiranja

Kompostiranje ima v primerjavi z drugimi metodami stabilizacije organskega odpadnega materiala (kar je poglavitni cilj te obdelave) vrsto prednosti, ki ga kvalificirajo kot posebno

uporabnega za obdelavo trdnih in delno tekočih odpadkov v kmetijski proizvodnji in v živilstvu:

- končna masa komposta je za več kot polovico manjša (25 do 75 %) od izhodiščnega materiala, kar zmanjšuje stroške transporta pri odlaganju na površine;
- pri temperaturah, ki dosežejo v kupu materiala 60 °C in več, je zagotovljeno učinkovito uničenje večine patogenih mikroorganizmov, parazitov in semen plevela;
- stabilen kompost sorazmerno hitro vzpostavi ravnotežje s prstjo, medtem ko sveži odpadki lahko povzročijo krajša ali daljša obdobja porušenega ravnotežja v tleh;
- kompostni kup je prosto stoječ, medtem ko potrebujemo za odpadne vode ali za gnojevko rezervoarje za skladiščenje;
- za kompostiranje je mogoče mešati različne odpadke, tako blato kot živalske, rastlinske, in s tem tudi prilagajati sestavino medija optimalnim zahtevam mikrobne združbe.

### 9.7.16.2 Kaj vpliva na kompostiranje?

Na učinkovitost kompostiranja vpliva:

- homogenost organskega odpadka;
- hitrost mikrobne poselitve;
- velikost delcev;
- kvaliteta hranil (razmerje C/N );
- vlaga;
- prezračevnost;
- uporaba mešanja;
- pH vrednost;
- velikost kope.

## 9.8 MEMBRANSKA FILTRACIJA

Membranska filtracija kot poseben podsklop fizikalnega čiščenja je postopek, kjer uporabljamo za filtriranje posebne membrane. Glede na velikost por ločujemo naslednje postopke membranske filtracije:

- mikrofiltracija,
- ultrafiltracija,
- nanofiltracija,
- reverzna osmoza.

Membrane se razlikujejo v strukturi in funkcionalnosti, ki vplivata tudi na način transporta snovi. Majhna sprememba enega od parametrov pri izdelavi membrane lahko povzroči spremembo vrhnjega sloja in s tem vpliva na obnašanje membrane med procesom. Značilnosti

membrane so pomembne zaradi povezave strukturnih lastnosti, kot so velikost por, porazdelitev por, prosti volumen in kristaliničnost, s separacijskimi lastnostmi membrane.

### 9.8.1 Mikrofiltracija

Mikrofiltracija je membranski proces, ki je najbolj podoben konvencionalni filtraciji. Velikost por pri MF-membranah znaša 10–0,05 mikro metrov ( $\mu\text{m}$ ), zaradi česar je proces uporaben za zadrževanje emulzij in suspenzij.

Eno najobsežnejših področij uporabe mikrofiltracije predstavljajo sterilizacija in prečiščenje vseh vrst pijač ter farmacevtska industrija. Mikrofiltracija se lahko izvaja pri vseh temperaturah. Uporabna je tudi za odstranjevanje delcev pri proizvodnji popolnoma čiste vode v polprevodni industriji. Novi področji uporabe predstavljata biotehnologija in biomedicinska tehnologija.

### 9.8.2 Ultrafiltracija

Ultrafiltracija je membranski proces, ki je glede na naravo med nanofiltracijo in mikrofiltracijo. Velikost por UF-membran znaša od 0,05 mikro metrov ( $\mu\text{m}$ ) (na strani MF) pa do 1 nm (na strani NF). UF se uporablja za odstranjevanje makromolekul in koloidnih delcev iz raztopin, pri čemer predstavljajo spodnjo mejo raztopljeni delci z molekulsko maso nekaj tisoč Dalton. Za UF in MF se uporabljajo porozne membrane.

UF lahko uporabljamo v različne namene, vključno v primerih, kjer ločujemo visoko molekularne komponente od nizko molekularnih snovi. Uporabljajo se v prehrabeni in mlečni industriji, farmaciji, tekstilni industriji, kemični industriji, metalurgiji, industriji papirja in usnjarski industriji. V prehrabeni in mlečni industriji se mnogokrat uporablja za koncentriranje mleka in pri izdelavi sira, obnavljanju proteinov sirotke, obnavljanju krompirjevega škroba in proteinov, pri koncentriranju jajčnih proizvodov in pri čiščenju sadnih sokov ter alkoholnih pijač.

# 10 OBJEKTI NA KANALIZACIJSKIH SISTEMIH IN KOMUNALNIH ČISTILNIH NAPRAVAH PRIMER IZ PRAKSE

## 10.1 CENTRALNA ČISTILNA NAPRAVA LJUBLJANA

Centralna čistilna naprava Ljubljana (v nadaljevanju CČNL) je organizacijska enota Sektorja Kanalizacija Javnega podjetja Vodovod-Kanalizacija d.o.o. Podjetje v skladu z odloki občin (Mestna občina Ljubljana, Brezovica – naselji Brezovica in Rakitna, Dobrova – Polhov Gradec, Dol pri Ljubljani, Horjul, Medvode in Škofljica) opravlja javno službo odvajanja in čiščenja komunalne in padavinske odpadne vode.

Izvajalec (JP VO-KA) mora opravljati javno službo skladno s programom za obvladovanje kakovosti poslovanja, ki izpolnjuje splošna merila za vodenje sistema kakovosti, predpisanega po standardu SIST ISO 9001, ki vsebuje tudi program oskrbe odvajanja in čiščenja komunalne in padavinske odpadne vode (v nadaljnjem besedilu: Program), ki ga izdela izvajalec vsako leto do konca junija za naslednje poslovno leto, skladno s pravilnikom, ki ureja odvajanje in čiščenje komunalne in padavinske odpadne vode. Program pregleda in uskladi organ mestne uprave, pristojen za gospodarske javne službe.

Komunalna ali skupna čistilna naprava z zmogljivostjo čiščenja več kot 100.000 PE, komor sodi tudi Centralna čistilna naprava Ljubljana zmogljivosti 360.000 PE, mora biti opremljena za prevzem in obdelavo blata iz komunalnih čistilnih naprav, malih komunalnih čistilnih naprav (MKČN) in obstoječih greznic ter za prevzem in obdelavo komunalne odpadne vode iz nepretočnih greznic.

## 10.2 PODATKI O IZVORU ODPADNIH VODA

Mesto Ljubljana ima brez okolice 280 tisoč prebivalcev, razprostira se na površini cca 60 km<sup>2</sup>. Kanalski sistem so začeli graditi po sprejetju urbanističnega načrta leta 1899. Že takrat predvideni koncept zbiralnikov ob reki Ljubljanici se je obdržal do danes. Nato so predvideli lokacijo čistilne naprave na Kodeljevem, pozneje na Fužinah, zaradi razvoja mesta pa so se končno odločili za lokacijo v Zalogu, pred sotočjem Ljubljanice in Save (slika 56).

Površina kanaliziranega območja Ljubljane znaša okoli 55 km<sup>2</sup>. Na javno kanalizacijo je priključenih 20 tisoč objektov, kar je približno dve tretjini na javni vodovod priključenih objektov. Odplake iz preostalih objektov se stekajo v individualne greznice. Odpadne vode dela oddaljenih naselij se iztekajo v lokalne čistilne naprave.

Kanalski sistem mesta je pretežno mešanega tipa. Odplake, ki se obdelujejo na CČNL, so odpadne vode iz centralnega kanalizacijskega omrežja, ki gravitira na CČNL, in vključujejo tudi nekatere industrijske odpadne vode. Podatki o povprečnih količinah in karakteristikah odpadnih voda so naslednji (tabela 3):

Tabela 3: Podatki o povprečnih količinah in karakteristikah odpadnih voda

Povprečni dnevni dotok	70.000 do 103.500 m <sup>3</sup> /d
Maksimalna letna količina komunalne odpadne vode	38.000.000 m <sup>3</sup>
Maksimalna dnevna količina komunalne odpadne vode	157.000 m <sup>3</sup> /d
Največji 6-urni povprečni pretok na iztoku iz čistilne naprave	1.820 l/s
Delež industrijske odpadne vode	11 %
Povprečna projektirana obremenitev	21.500 kg BPK <sub>5</sub> /dan
	44.100 kg KPK/dan
	3.300 kg N/dan

### 10.3 MEHANSKO ČIŠČENJE ODPADNE VODE

#### 10.3.1 Lovilec kamenja (Objekt 1)

V lovilcu kamenja se odstranijo večji odpadki (slika 54). Izvedena je poglobitev na dotočnem kanalu, kjer se nabirajo večji kosi odpadkov. Z grabilcem se občasno odstranjujejo v zabojnik (slika 55).

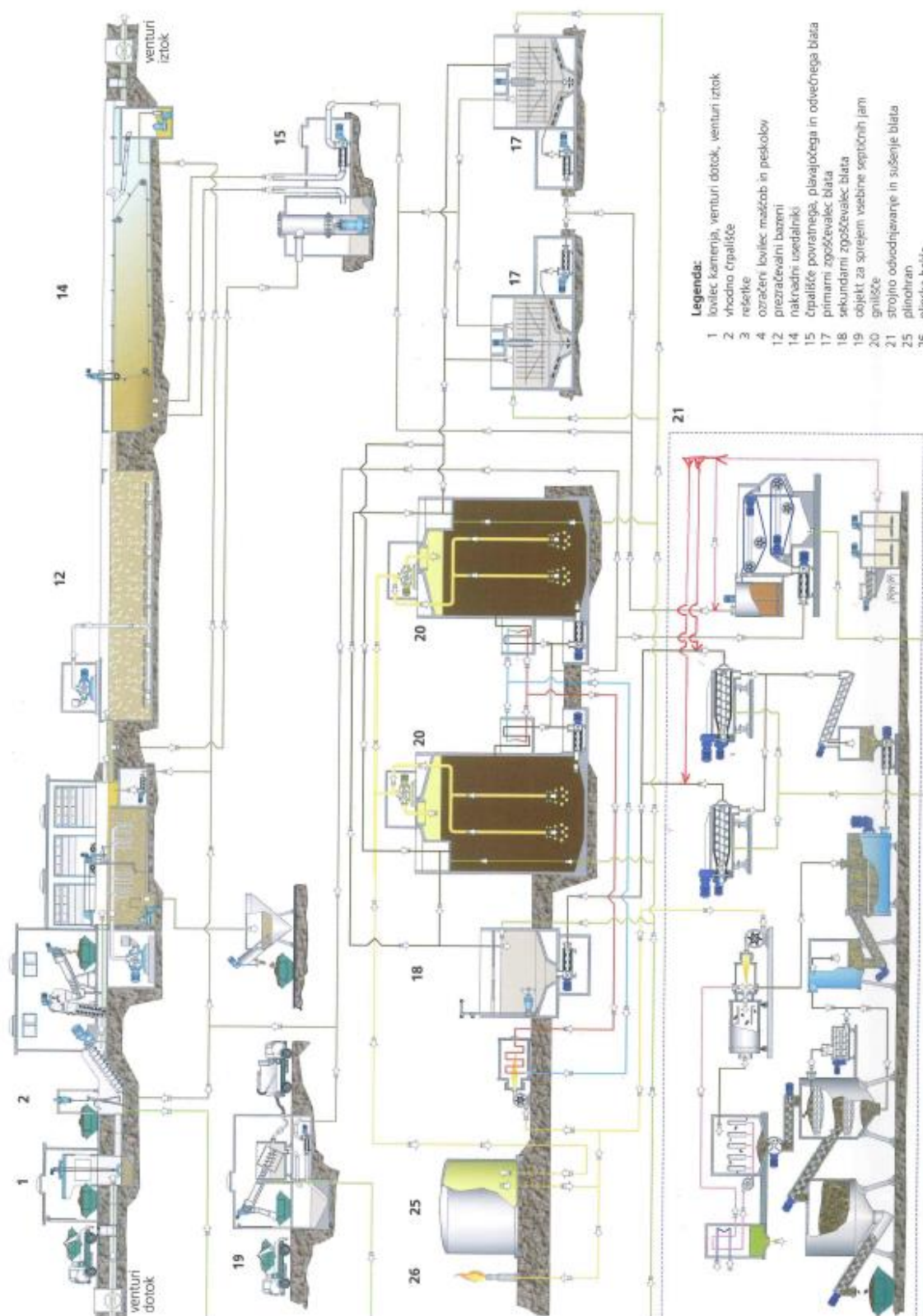


Slika 54: Poglobljena kineta za odstranjevanje mehanskih delcev, ki so težji od vode

Vir: Lasten



Slika 55: Grabilec kamenja v prvem objektu mehanskega čiščenja



Slika 56: Tehnološka shema CČNL



### 10.3.2 Merjenje z Venturijevim kanalom na dotoku

Merjenje z Venturijevim kanalom na dotoku je izvedeno v obstoječem dotočnem cevovodu (slika 57). Potrebna umirjevalna proga z 0,2 % padcem je izvedena kot pravokotno korito širine 1,60 metrov iz betona.



Slika 57: Merilno mesto za trajno merjenje pretoka odpadne vode z venturimetrom  
Vir: Lasten

Na sliki 58 je prikazan zaslon merilnika pretoka (venturimeter).



Slika 58: Zaslon merilnika pretoka (venturimeter)  
Vir: Lasten

Zgoraj opisana izvedba ustreza standardni izvedbi Venturijevega kanala, zato je zagotovljeno točno in zanesljivo merjenje pretoka odpadne vode.

Dotočna odpadna voda se vzorči s pomočjo potopne črpalke, ki črpa odpadno vodo na vzorčevalnik in na napravo za filtracijo odpadne vode. Prefiltrirana odpadna voda se nato vodi na analizator za TOC (KPK) in celotni dušik ter na merjenje  $\text{NH}_4\text{-N}$  in  $\text{PO}_4\text{-P}$ . Namesto

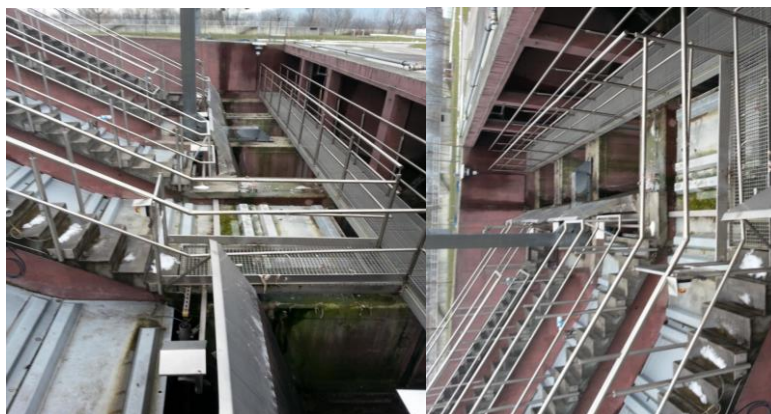
dotoka na CCN se z istimi instrumenti lahko še izmenično izvaja vzorčenje in merjenje odpadne vode na iztoku iz peskolova in ozračnega lovilca maščob. Poleg tega se na dotoku izvajajo še meritve pH vrednosti, elektroprevodnosti in temperature.

Mehansko očiščena odpadna voda se vzorči s pomočjo potopne črpalke, ki črpa očiščeno vodo na avtomatski vzorčevalnik in na on-line merilnike za  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$  in  $\text{PO}_4\text{-P}$ . Poleg tega se izvajajo še in-line meritve pH vrednosti in temperature. Na iztoku se z istim instrumentom kot za dotok izmenično meri tudi koncentracijo TOC (KPK) in celotni dušik.

### 10.3.3 Vhodno črpališče (Objekt 2)

Vhodno črpališče služi dvigovanju grobo očiščene odpadne vode iz nivoja 267.67 m.n.v. na 273.56 m.n.v., ki je nivo objekta 03 (rešetke). Skozi objekte, ki so locirani za rešetkami, teče odpadna voda gravitacijsko.

Odpadna voda se črpa s pomočjo polžnih črpalk kapacitete po 1000 l/s. Na voljo so štiri črpalke, istočasno lahko delujeta samo dve polžni črpalke. Regulacija posamezne črpalke poteka samostojno. To pomeni, da se črpalna količina regulira glede na arhimedov princip na podlagi nivoja v dotočnem kanalu (slika 59).



Slika 59: Vhodno črpališče-grobe grablje  
Vir: Lasten

Na sliki 60 so prikazani odpadki, ki so odstranjeni na mehanski stopnji čiščenja – grobe grablje.



Slika 60: Odpadki, odstranjeni na mehanski stopnji čiščenja – grobe grablje.  
Vir: Lasten

Pred črpalkami na dotoku je nameščen sistem grobih grabelj. Vsako korito na dotoku črpalk je opremljeno z rešetkami razmika 80 mm. Nad rešetkami je nameščena skupna žerjavna proga z grabilcem, ki izmenjujoče dviga ograbke iz posamezne rešetke. Upravljanje grabilca poteka avtomatsko s pomočjo merilnika nivoja, ki je povezan s sistemom vodenja in/ali časovnega stikala v sistemu vodenja procesa. Upravljanje lahko poteka tudi ročno s prenosno upravljalno enoto. Poleg grobih grabelj je lociran zabojnik, v katerega se z grabilcem odstranjujejo ograbki.

### 10.3.4 Fine grablje (Objekt 3)

V objektu 03 so nameščene 3 fine grablje s pripadajočim skupnim spiralnim transporterjem in stiskalnico ograbkov (61 in 62).



Slika 61: Sistem finih grabelj



Slika 62: Stiskalnica trdnih odpadkov, odstranjenih iz odpadne vode s pomočjo finih grabelj

Vir: Lasten

Odpadna voda, ki priteče iz vhodnega črpališča, se v koritu porazdeli na troje finih grabelj, ki so izvedene kot tako imenovane krožne grablje s filtrirnimi bloki. Razmik odprtine grabelj znaša 6 mm, maksimalno možen hidravlični pretok je 1060 l/s na posamezen sistem grabelj, izračunana količina ograbkov pa znaša 1 m<sup>3</sup>/h na posamezen sistem finih grabelj.

Ograbki, ki se odstranijo z grabelj, se transportirajo s pomočjo spiralnega transporterja, ki je povezan z grabljami, do premične stiskalnice ograbkov, ki odstrani kompaktirane ograbke v zabojnik.

Fine grablje, spiralna transporterja in stiskalnica ograbkov so opremljeni z avtomatsko napravo za pranje.

V objektu 03 sta nameščeni tudi dve puhali (tip Roots), ki proizvajata komprimiran zrak za ozračeni lovilec maščob in peskolov.

Iz objekta 03 se odpadni zrak preko prisilnega prezračevalnega sistema odsesava v objekt 27 (biofilter, slika 63).



Slika 63: Sistem cevi za odstranjevanje mehanskih delcev iz peskolova  
Vir: Lasten

### 10.3.5 Ozračeni lovilce maščob in peskolov (Objekt 4)

Objekt 04 (ozračeni lovilce maščob in peskolov) služi odstranjevanju anorganskih delov (predvsem peska) in maščobe iz surove odpadne vode (slika 64). Predvidenih je šest kombiniranih bazenov, obratovalno enoto predstavljata le dva bazena, kar pomeni, da so v uporabi tri med seboj neodvisna strgala (slika 65). Strgala so opremljena s talnim strgalom za potiskanje peska (proti toku) in posnemalom na gladini za posnemanje maščobe (v smeri toka).



Slika 64: Odpadki, odstranjeni na mehanski stopnji čiščenja – ozračeni lovilce maščob in peskolov.  
Vir: Lasten



Slika 65: Ozračen lovilec maščob in peskolov

Vir: Lasten

Zaradi počasne hitrosti toka v peskolovu prihaja do usedanja anorganskih delov v peskolovu (zaradi višje gostote). Strgalo peskolova odstranjuje usedel pesek proti toku v jašek. Jašek se prazni s pomočjo potopnih črpalk v dva evakuatorja peska (objekt 03). Peskolov je opremljen z ozračevalnim sistemom. S pomočjo ozračevanja v peskolovu prihaja do nastanka valov pod gladino, zato se maščoba veže na zračne mehurčke. Skozi odprtino v razdelilni steni med peskolovom in lovilec maščob prehaja maščoba v lovilec maščobe in se dviga na gladino (flotacija).

Maščoba se s posnemalom posname v smeri toka in s pomočjo odvodne zapornice odvede v prekat za maščobo. V tem zaprtem prekatu za maščobo se v odvisnosti od nivoja maščobe leta prečrpava z ekscentričnimi vijačnimi črpalkami. Vgrajene so štiri črpalke, ki odvajajo maščobo v objekt 47, kjer se skupaj z odvečnim blatom odvede v obdelavo blata.

### 10.3.6 Vezna kineta 1 (objekt 07)

Objekt služi za povezavo med ozračenim lovilec maščob in peskolovom (objekt 04) in razdelilno kineto 1 (objekt 08). Zaradi zagotavljanja čim bolj enakomernega nivoja vode v ozračenem lovilcu maščob in peskolovu (objektu 04) je v kineti nameščen preliv z avtomatsko zapornico (slika 66 in 67).



Slika 66: Kineta za odstranjevanje masti in olj iz odpadne vode



Slika 67: Odpadna voda na iztoku iz objekta za mehansko čiščenje – pred plavajočo oviro, i zadržuje snovi na gladini vode

Vir: Lasten

### 10.4 BIOLOŠKO, SEKUNDARNO ČIŠČENJE VODE

Pred odprtinami, ki vodijo odpadno vodo iz kinete v vse prezračevalne bazene, so vgrajene elektromotorne zapornice. Zapornice nimajo funkcije regulacije dotoka vode v posamezne bazene, ampak se zapirajo le pri vzdrževalnih delih (remont, čiščenje).

#### 10.4.1 Prezračevalni bazeni (objekt 12)

Prezračevalni bazeni so izvedeni kot armiranobetonska konstrukcija (slika 68). Ob straneh bazena so nameščene še kalužne jame za namestitev črpalk za praznjenje bazenov v primeru čiščenja ali zamenjave talnih vpihovalnih elementov. Odpadna voda doteka skozi potopljene odprtine v razdelilni kineti (objekt 11) v vtočni predel prezračevalnega bazena, od tu se preliva skozi prezračevalni bazen in izteka prek ravnega preliiva v iztočno kineto prezračevalnega bazena, od tu pa odpadna voda odteka v objekt 11.



Slika 68: Prezračevalni bazen s suspendirano biomaso (mikroorganizmi)

Vir: Lasten

Talna vpihovala so nameščena na ravnem dnu bazenov. Pritrjena so na dno bazenov in ustrezno nivelirana, da se zagotovi enakomeren dotok skozi vsa talna vpihovala v prezračevalnih bazenih. Komprimiran zrak se dovaja po cevovodu od objekta 22 do prezračevalnih bazenov. Priključek na glavni distribucijski cevovod je eden in se pred prezračevalnim bazenom razdeli na tri veje. Cevovodi (vse veje) za dovod komprimiranega zraka, položeni pod podest osrednje stene bazena, so opremljeni z elektromotornimi loputami in z loputami za občasno izpihovanje zraka. Merilniki pretoka zraka so nameščeni direktno za puhalni v objektu 22. Vsak prezračevalni bazen ima svoj sistem za meritev vsebnosti kisika, ki uravnava dovod komprimiranega zraka.

### **10.4.2 Nameščenih je šest regulacijskih O<sub>2</sub> sond, ki uravnavajo dotok zraka v vse bazene, odvisno od porabe kisika. Vezna kineta 2 (objekt 13)**

Objekt služi za povezavo med razdelilno kineto 2 (objekt 11) in naknadnimi usedalniki (objekt 14). Vezna kineta 2 je dimenzionirana na največji pretok vode v deževnem vremenu. Zaradi zagotavljanja optimalnih hidravličnih parametrov v pogojih obratovanja je kineta razdeljena v dva kanala (kriterij najmanjše hitrosti v kineti).

### **10.4.3 Naknadni usedalniki (objekt 14)**

Naknadni usedalniki služijo ločevanju mešanice blata in vode (slika 69). Naknadni usedalniki (4 enote) so vodoravno pretočni pravokotni bazeni s hkratnim stalnim praznjenjem plavajočega in usedenega blata. Praznjenje usedenega blata poteka v nasprotni smeri toka, plavajočega blata pa v smeri toka.



Slika 69: Naknadni usedalnik – 2. del biološkega čiščenja  
Vir: Lasten

Biološko očiščena odpadna voda prehaja iz prezračevalnega bazena preko dotočnega kanala v naknadne usedalnike (slika 70). Razdelilna kineta pri naknadnih usedalnikih je opremljena s talnimi vpihovali (450 krožnih vpihoval), ki preprečujejo usedanje blata v razdelilni kineti. Za to potrebno puhalo (moč 535 Nm<sup>3</sup>/h) je nameščeno v objektu 15. Za enakomerno polnjenje naknadnih usedalnikov je pri vsakem posameznem bazenu predvidena razdelilna kineta, voda prehaja preko talnih odprtih v naknadne usedalnike. Zaradi talnih odprtih se ustvarjajo

## Odvajanje in čiščenje odpadnih vod

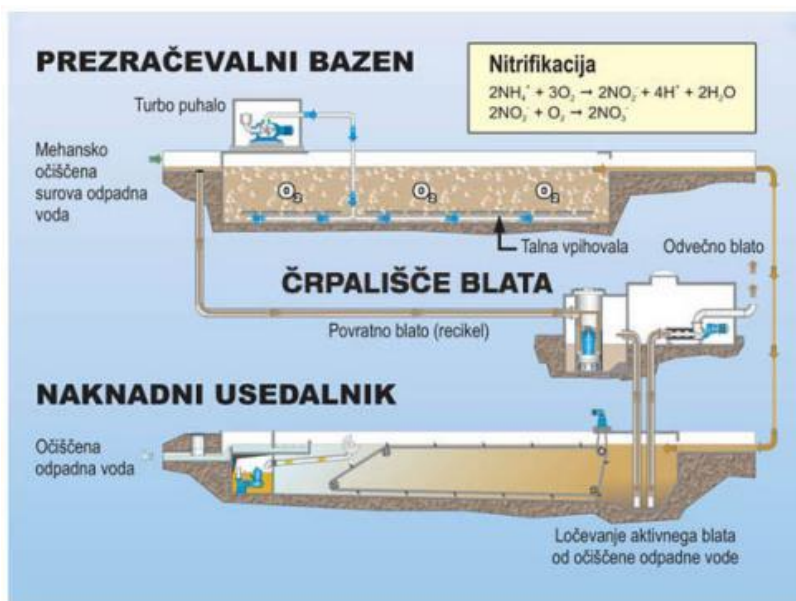
navpični tokovi, ki pospešujejo usedanje blata v poglobljenem lijakastem delu. Zaradi majhne vodoravne pretočne hitrosti v bazenih prihaja do popolnega usedanja blata vzdolž bazena.

Blato na dnu naknadnih usedalnikov vsebuje dvakrat večjo količino suhe mase kot v prezračevalnih bazenih in se zbira v poglobljenem lijakastem delu (slika 71). Od tam prehaja usedlo blato preko dveh odvodnih cevi iz vsakega bazena, t.j. 16 odvodnih cevi, v objekt 15.



Slika 70: Izток prečiščene odpadne vode iz naknadnega usedalnika

Vir: Lasten



Slika 71: Shema biološke stopnje in črpališča

Vir: <http://www.vo-ka.si/o-druzbi/centralna-cistilna-naprava-ljubljana/crpalisce-povratnega-odvecnega-blata> (5. 4. 2015)

V objektu 15 se odvajata odvečno blato in povratno blato. Z ekscentričnimi vijačnimi črpalkami se odvaja odvečno blato, ki se transportira v objekt 17 ali v objekt 21. Povratno blato iz objekta 15 se prečrpava s pomočjo potopnih črpalk v objekt 12.

Na površini naknadnih usedalnikov se lahko nabere plavajoče blato, ki se s posnemali transportira do odvodnega korita na iztočnem delu bazena. Iz korita vodi cevovod plavajočega blata do zunanjega revizijskega jaška ter po kanalizaciji do objekta 15.



V usedalnikih so nameščena verižna strgala za evakuacijo usedenega blata in za posnemanje plavajočega blata. Usedlo blato se evakuira v na začetku naknadnih usedalnikov locirane lijake, od tu pa se po cevovodu odvaja v črpališče povratnega blata (objekt 15).

Očiščena voda izteka iz bazenov skozi potopljene cevne prelivnike in preko ravnega prelivnega roba v iztočno kineto naknadnih usedalnikov in v smeri južnega iztočnega jaška naknadnih usedalnikov (objekt 43).

Pod razdelilnim bazenom naknadnih usedalnikov je nameščena kineta z inštalacijami za odvajanje povratnega in odvečnega blata v objekt 15.

### **10.4.4 Črpališče povratnega, odvečnega in plavajočega blata (objekt 15)**

Objekt združuje tri črpališča: črpališče povratnega, odvečnega in plavajočega blata. Vsa tri črpališča so med seboj ločena in obratujejo popolnoma samostojno.

Objekt 15 služi dvigovanju povratnega blata, odvodu plavajočega blata in vračanju oz. odstranitvi odvečnega blata. Vse tri črpalke so prostorsko ločene in tudi ločeno obratujejo.

Povratno blato se skupaj z odvečnim blatom odstrani iz naknadnega usedalnika (objekt 14) in odvede preko dveh cevovodov DN 1200 v objekt 15.

Odvod odvečnega blata se izvaja od mesta priključka cevi DN 1200 na objekt 15 preko ekscentrične vijajne črpalke s frekvenčno regulacijo. Na razpolago so tri črpalke; odvečno blato se lahko črpa v primarni zgoščevalec (objekt 17) ali neposredno v strojno predzgoščanje odvečnega blata (objekt 21). Strojno zgoščeno blato se pred toplotnim izmenjevalcem primeša recirkulaciji blata v gnilišču kot sveže blato.

V objektu 15 je nameščeno tudi puhalo za prezračevanje dotočnega kanala naknadnega usedalnika.

Objekt je dimenzioniran na največji možni pretok povratnega, odvečnega in plavajočega blata. Merjenje pretoka in temperature prečiščene odpadne vode na iztoku iz CCNL je zakonsko predpisana trajna meritev (obvezna na napravah, večjih od 10.000 PE).

## **10.5 OBDELAVA BLATA**

### **10.5.1 Primarni zgoščevalnik odvečnega blata (objekt 17)**

Število: 2 kosa

D = 16,00 m

H = 9,25 m v sredini

V = 1.850 m<sup>3</sup> x 2 = 3.700 m<sup>3</sup>

Primarni zgoščevalnik blata služi zgoščevanju odvečnega blata (pribl. 0,5 do 1,2 % suhe snovi v odvečnem blatu pri 0,25 do 0,4 % suhe snovi aktivnega blata v prezračevalnem bazenu) iz objekta 15 (Črpališče povratnega, plavajočega in odvečnega blata).

Zgoščeno blato (pribl. 1 do 2 % suhe snovi) se z dodajanjem sredstva za kosmičenje z mehanskim zgoščanjem odvečnega blata zgosti na 5,5 % do 6,5 % suhe snovi in končno kot sveže blato dovede v gnilišče (objekt 20).

Usedlo blato se preko grabljastega mešala transportira v sesalni lijak in odvede na mehansko predzgoščanje odvečnega blata. Grabljasto mešalo ima zelo majhno hitrost in s tem ne ovira postopka usedanja, vendar omogoča razplinjanje in zgoščanje.

Bistra voda se pretoči preko prelivnega žlebu in preko kanalizacijskega sistema spelje na dotok čistilne naprave (objekt 02). Bistrost preliva se kontrolira vizualno.

### 10.5.2 Sekundarni zgoščevalnik blata (objekt 18)

Število: 1 kos

D = 16,00 m

H = 9,25 m v sredini

V = 1.850 m<sup>3</sup>

Sekundarni zgoščevalnik blata služi zgoščanju, shranjevanju in homogenizaciji anaerobno pregnitega blata (digestata) iz gnilišč (objekt 20.1 in 20.2). To blato se dovaja v odvodnjavanje (objekt 21 – Strojno odvodnjavanje in sušenje blata).

V primeru zastoja sušenja in preprečevanja prelivanja digestata iz objekta 18 nazaj v proces čiščenja odpadne vode, se digestat vodi mimo objekta 18 v primarni zgoščevalec (objekt 17.1 in 17.2).

### 10.5.3 Objekt za sprejem tekočih biološko razgradljivih odpadkov (objekt 19)

Objekt služi sprejemu s cisternami dostavljenih tekočih odpadkov. V predelavo se sprejema le nenevarne odpadke. V objektu se na rotomatu vrši mehansko čiščenje tekočih odpadkov za potrebe nadaljnje predelave po postopku R3 v gniliščih.

Grobi delci, definirane velikosti se izločijo skozi rotirajoče cedilo (preostanki obdelave sprejetega odpadka so ostanki iz grabelj in sit 19 08 01) in transportirajo v zabojnik prostornine 4 do 5 m<sup>3</sup>.

Da se preprečijo neprijetne vonjave v okolico, se izločeni trdni kosovni delci (19 08 01) odlagajo v brezkončno PVC vrečo in nato v zabojnik. Ta je nameščen v strojnici objekta 19. Za neoviran dostop kamiona do zabojnika so na vhodu vgrajena elektromotorna rolo vrata. Vsi pokrovi so s protismradno zaporo.

Vsi prostori objekta 19 so opremljeni z ventilatorji za prisilno prezračevanje.

Predhodno očiščena vsebina cisterne se odvaja v hermetično zaprte zbirne septične bazene pod nivojem rotomatov. Ko nivo v zbirnem bazenu doseže najvišji nivo, se avtomatično preklopi na naslednji zbirni bazen.

Stavba za sprejem vsebine septičnih jam obsega poleg strojnice (2), elektroprostora (3) in stopnišča (4) še tri komore (5) za sprejem tekočih biološko razgradljivih odpadkov.

Vsi zbirni bazeni so opremljeni s prezračevanjem in izplakovanjem. Prezračevanje je sestavljeno iz odvodne cevi iz vsakega zbiralnika in iz zbirnega voda, ki se konča izven zgradbe. Nadalje je prezračevanje vodeno preko plinskega filtra (peščeni filter s spiranjem), ki služi čiščenju odpadnega plina in ščiti pred požarom.

Naprava za spiranje bazenov se polni s procesno vodo in se lahko ločeno preko magnetnega ventila uravnava za vsak bazen posebej.

Pri shranjevalnem volumnu 135 m<sup>3</sup> in nastavljeni zmogljivosti črpalke 2,8 l/s traja praznjenje vseh zbirnih septičnih jam približno 14 ur, t.j. od 17 ure do 7 ure. Pri manjšem volumnu se lahko kapacitete črpalke s pomočjo ročnega regulacijskega mehanizma ustrezno zmanjšajo.

Vsebina zbirnih septičnih jam se lahko prečrpa na vhodno črpališče naprave (objekt 02) v mehansko-aerobno biološko čiščenje, če tako presodi tehnolog. Osnova za odločitev je vsebnost suhe snovi tekočega odpadka oz. izkoriščenje možnosti zgoščanja odpadka in vodenja supernatanta (bistri del) na začetek CČNL.

Namen tega je tudi izogibanje nepotrebnemu redčenju vsebine v gniliščih.

### 10.5.3.1 Postopek prevzema tekočih odpadkov

Za sprejem pripeljanih tekočih odpadkov so v objektu 19 nameščena dva med seboj neodvisna sistema za sprejem vsebin septičnih jam; eden od sistemov je v obratovanju in drugi v pripravljenosti (stand-by).

Prevoznik odpadka se prijavi z magnetno kartico, ki jo nosi s seboj na identifikacijskem mestu na zunanji strani objekta 19. V kolikor je prijava vozila uspešna, sistem prižge zeleno luč tistega sistema, ki je pripravljen za sprejem. Ustrezna zapornica na dotoku se avtomatično odpre.

Po priključitvi cevi iz cisterne na ustrezno napravo za sprejem, za katero je bila prižgana zelena luč, se vsebina cisterne s pomočjo kompresorja na vozilu prečrpa v napravo za sprejem vsebine septičnih jam.

Merilna postaja, ki je nameščena na dotoku, preverja dovoljeno pH vrednost in dovoljeno elektroprevodnost pripeljane vsebine cisterne. Dotočna količina se izmeri in v stikališču registrira. V primeru, da bi bile dovoljene vrednosti prekoračene, se postopek praznjenja avtomatično prekine, sprejem pripeljanega tekočega odpadka pa se zavrne.

### 10.5.3.2 Vrsta in količina biološko razgradljivih odpadkov

Glede na svojo kapaciteto je CČNL dolžna izvajati sprejem in predelavo odpadkov iz septičnih jam v okviru izvajanja obvezne javne gospodarske službe – sprejem grezničnih vsebin in blata z malih komunalnih čistilnih naprav.

### 10.5.4 Gnilišča (objekt 20) – postopek obdelave tekočih odpadkov po R3

V gniliščih se vrši biološka obdelava odpadka z namenom anaerobnega stabiliziranja biološko razgradljivih odpadkov in pridobivanja bioplina.

Zgrajeni sta dve gnilišči. Gnilišči sta cilindrične oblike z ravnim dnom in rahlo poševnim stropom. Dimenzije:

Posamezno gnilišče ima 20,00 m notranjega premera in 0,45 m debeline stene. V območju prehoda v talno ploščo je zaradi statičnih razlogov nujna razširitev na 1,20 m.

Višina gnilišč spodnjega roba talne plošče do najvišje točke znaša 26,35 m, višina blata v gnilišču pa znaša 23,55 m. Tako znaša uporabna prostornina na posamezno gnilišče 7.400 m<sup>3</sup>, kar znaša pri dveh gniliščih 14.800 m<sup>3</sup>.

Na sredini talne plošče je izveden jašek, ki je potreben pri popolnem praznjenju gnilišča preko potopne črpalke. Za kasnejša vzdrževalna dela in montažna dela je na steni izvedena servisna odprtina.

#### 10.5.4.1 Obratovanje gnilišč

V tabeli 4 je prikazan izračun potrebne toplote.

Tabela 4: Izračun potrebne toplote

<b>Blato</b>	
Izračun potrebne toplote	
Količina surovega blata s 5,5 % do 6,6 % suhe snovi	450 m <sup>3</sup> /dan
Količina blata iz objekta za sprejem tekočih odpadkov	120 m <sup>3</sup> /dan
Celotna količina blata za segrevanje	570 m <sup>3</sup> /dan
Zahtevana toplotna potreba, vključno z upoštevanjo izgubo pri oddajanju	2 x 1 MWh/h

Nivo blata v gnilišču se nastavi s pomočjo ročne zapornice v območju odvoda blata. Odvod digestata se izvaja preko potopljene cevi, da pri tem ne bi uhajal metan. Kontrola nivoja blata je možna z merilcem nivoja. Nato se s pomočjo te merilne naprave sproži alarm, če nivo blata v gnilišču (npr. zaradi zamašitve odtoka) neželeno narašča. Dodatna funkcija merilca nivoja je posredna zaščita suhega delovanja obtočnih črpalk.

Ventili v odtokih služijo menjavi mest odtokov, da ne bi prihajalo do odlaganj v gnilišču. Cirkulacija blata se vodi preko temperaturnega tipala pred toplotnim izmenjevalnikom, t.j. ko je potrebna temperatura dosežena, se obtočne črpalke izklopijo.

### 10.5.4.2 Dnevna proizvodnja bioplina

Bioplin             $5300 \pm 1300 \text{ m}^3/\text{dan}$   
                       $220 \pm 54 \text{ m}^3/\text{uro}$

Potrebno mešanje blata se izvaja preko sistema mešanja z bioplinom. Bioplin se preko cevi, ki sežejo do tal gnilišča, vpihuje v gnilišče. Vpihovanje je možno preko dveh skupin cevi, ki delujeta skupaj ali izmenično, da dobimo optimalno mešanico. Vpihovanje bioplina za potrebe mešanja blata v gnilišču se izvaja po določenemu časovnem programu. Napajanje cevi je izvedeno kot krožni cevovod, da je zagotovljena enakomerna porazdelitev tlaka.

Cevovoda bioplina za mešanje in vodenje bioplina v plinohran se ločita, ker drugače pri začetnem zagonu kompresorja bioplina za mešanje gnilišč lahko pride do neželenega vsesavanja bioplina iz plinohrana (slika 72).

Bioplin (tako obtočni plin kot presežni plin) je voden preko plinskih filtrov (peščeni filter), ki služijo čiščenju bioplina in zaščiti pred prebojem plamena.



Slika 72: Plinohran za skladiščenje bioplina

Vir: Lasten

### 10.5.4.3 Merilna postaja bioplina

V objektu 22 je nameščena merilna proga za pretok bioplina. Dostop v prostor je samo z zunanje strani.

Bioplin se po zbirnem cevovodu vodi iz kinete peščenih filtrov v zgornjo etažo, kjer je nameščen merilnik pretoka bioplina. Od tu se vodi bioplin po podzemnem delu cevovoda v kineto plinohrama.

### 10.5.4.4 Peščeni filtri pred merilno postajo

Ob zunanjem jugozahodnem delu stavbe je kineta za namestitev peščenih filtrov. Vgrajena sta dva peščena filtra. Vsako gnilišče ima svoj odvodni cevovod za plin. Kineta je prekrita in popolnoma ločena od ostalih notranjih prostorov. Strop kinete ima tri montažne odprtine. Dostop do notranjosti kinete je po stopnicah z zunanje strani.

### 10.5.4.5 Peščeni filtri na izstopu iz gnilišč

Bioplin se pri izstopu iz vsakega posameznega gnilišča očisti na poti skozi peščeni filter.

## 10.5.5 Strojna dehidracija in sušenje blata (objekt 21)

### 10.5.5.1 Splošno

V objektu 21 so nameščeni trije sistemi: sistem za predzgoščanje odvečnega blata (v prihodnosti možen tudi sistem za predzgoščanje primarnega blata), sistem za odvodnjavanje mineraliziranega blata iz gnilišč (digestata) in sistem za sušenje dehidriranega blata.

### 10.5.5.2 Predzgoščanje blata – mehanska obdelava blata

Surovo blato se pod normalnimi pogoji obratovanja prečrpava iz črpališča odvečnega blata (Objekt 15) v objekt 17 oz. direktno na strojno predzgoščanje blata (Objekt 21), kjer se blato strojno zgošča s pomočjo dvojne precejalne mize. Ob normalnem obratovanju objektov obdelave blata, t.p. transport odvečnega blata na dvojno precejalno mizo, se primarna zgoščevalnika lahko uporabljata kot sekundarna zgoščevalnika, t.j. kot zalogovnik iz gnilišč dovedenega digestata (slika 73).



Slika 73: Objekti za obdelavo odvečne biomase iz procesa biološkega čiščenja

Vir: Lasten

Dvojna precejalna miza lahko obratuje 24 ur dnevno, (365 dni v letu), razen v primeru rednega servisiranja opreme ali v primeru motenj.

Na vstopnem cevovodu sta nameščena merilnik pretoka in odvzemna pipa za odvzem vzorcev blata.

Pred zgoščanjem se blato zmeša v stolpnem mešalniku z raztopino polielektrolita. Postaja za pripravo polielektrolita deluje po sistemu 2 komor.

Odvečno blato se preko elektromotornih zasunov dovaja v napravo za zgoščanje, kjer se zgoščeno blato potem črpa po tlačnem cevovodu v gnilišča (Objekt 20) s pomočjo črpalke. Na tlačnem cevovodu je odzemna pipa za vzorce blata. Pretok zgoščenega blata se meri s pomočjo merilnikov pretoka na dotoku v posamezno gnilišče.

Pri vseh črpalkah za črpanje blata in črpalkah za doziranje raztopine polielektrolita gre za vijačne črpalke, ki regulirajo število vrtljajev preko frekvenčnega pretvornika. Tako je možno reguliranje pretokov blata in raztopine polielektrolita.

Sistemi za predzgoščanje, zgoščanje in sušenje blata imajo skupni upravljalni prostor, ki obsega dva ločena prostora: nadzorni prostor, kjer je nameščen procesor sistema, in prostor z električnimi in stikalnimi omarami.

Vse elektromotorne pogone upravlja in nadzira upravljalec objekta 21 v dopoldanski in v popoldanski delovni izmeni preko procesnega računalnika.

### 10.5.5.3 Zgoščanje blata – mehanska in kemijska obdelava blata

Pregnito blato se črpa iz sekundarnega zgoščevalnika (Objekt 18) oziroma, če se primarna zgoščevalnika ne uporabljata za zgoščanje odvečnega blata, tudi iz obeh primarnih zgoščevalnikov (Objekt 17) preko črpalk. Blato se črpa v eno od centrifug za strojno odvodnjavanje blata. Istočasno obratovanje centrifug ni možno (Duty/Standby). V centrifugah se blato dehidrira in preko transportnega sistema polžnih transporterjev transportira v sistem za sušenje blata.

V zgornjem nadstropju (Objekt 21) je nameščena primarna oprema – centrifuge za zgoščanje blata. Polžasti transporter se nahaja neposredno pod centrifugami in meče blato v silos za sveže blato. V pritličju (Objekt 21) pa je instalirana vsa sekundarna oprema: vijačne ekscentrične črpalke za dovod blata v centrifuge, priprava elektrolita s pripadajočimi dozirnimi črpalkami za črpanje polielektrolita v centrifuge.

Pred odvodnjavanjem se blato zmeša s polielektrolitsko raztopino. Polielektrolitska postaja dela po 2-komornem sistemu.

### 10.5.5.4 Toplotna obdelava blata – opis skladiščenja, pakiranja in dajanja trdnega goriva v uporabo

Po zgoščanju v centrifugah pada zgoščeno blato v spiralni transporter, ki transportira blato v sistem za toplotno obdelavo (v nadaljevanju sušenje) blata. Ta proces je predobdelava nenevarnih odpadkov v trdno gorivo po postopku R12 – izmenjava odpadkov za predelavo s katerimkoli postopkom, naštetim pod R1-R11.

Sistem za sušenje blata se sestoji iz naslednjih delnih sistemov:

- ✓ silos za blato s črpalko,
- ✓ mešalec za mešanje blata s suhim granulatom,
- ✓ toplotni generator,
- ✓ sušilni boben,
- ✓ cirkulacijski zračni tokokrog s kondenzatorjem,
- ✓ ločevanje granulata iz sušilnega zraka,
- ✓ agregati za transport granulata in rokovanje z granulatom,
- ✓ zalogovni silos za granulata.

Pri vsebnosti suhe snovi približno 21 % do 24 % se transportira dehidrirano blato iz centrifug s spiralnim transporterjem v silos za sveže blato, ki je opremljen s senzorjem za metan, ki bi eventualno nastajal zaradi anaerobnega gnitja. Senzor je del enotnega sistema protipožarnih in protiekspluzijskih tehničnih ukrepov. Blato transportiramo s pomočjo črpalke za blato v mešalnik. V mešalniku se blato zmeša s suhim povratnim granulatom, ki se sestoji iz delcev, manjših od 4 mm premera tako, da se v mešanici doseže vsebnost vlage pod 35 %. To mešanico potem transportiramo v sušilni boben, ki je direktno ogrevan z zemeljskim plinom ali z bioplinom.

### 10.5.5.5 Postopek sušenja obsega dva ciklusa.

**Prvi ciklus:** sušenje, ločevanje plinske faze in osušenega blata, kondenziranje izparele vode iz blata in vodenje pretežnega dela izpušnih plinov v peč. Del toka sušilnega obtočnega zraka se odvede in prispe z drugimi tokovi izpušnega zraka v biofilter (Objekt 21).

Iz sušilnega bobna se pelete v izpušnem toku transportirajo v tekstilno filtrsko napravo zaradi ločevanja sušilnega krožnega zraka od osušenega blata. Ločevalna filtrirna naprava je vrečasti filter s tkanino, odporno na daljšo izpostavljenost temperaturam (okrog 120 °C). Filtrirne vreče se očisti s pomočjo komprimiranega zraka in suhi material se odstrani preko polžastega transporterja. Mešanico dimnih plinov na izhodu iz filtrnih vreč obdelamo tako, da preprečujemo neželene emisije v zrak. Njeno toplotno energijo ponovno uporabimo.

**Drugi ciklus:** hlajenje osušenega blata, klasifikacija po granulacijah, transport povratnega osušenega blata in ustrezno granuliranega osušenega blata v silos proizvoda.

V filtru ločene pelete se transportirajo preko polžastega transporterja do celične dozirne naprave. Celična dozirna naprava predstavlja mejo med cirkuliranim zrakom sušilca in atmosfero v granulatni skupini. Potem se granulatni tok ohladi preko zračno prevejanega hladilnega polža od približno 85 °C na manj kot 70 °C. Granulat se potem na vibracijskem situ razdeli na 4 frakcije:

- ✓ grobi material > 15 mm pride v zabojnik za grobi granulata,
- ✓ debeli granulata > 4 mm gre skozi valjni drobilec,



- ✓ frakcija < 2 mm se odstrani kot proizvod,
- ✓ frakcija > 2 mm pride z zdrobljenim materialom v silos za osnovni material.

S povratnim materialom se v polžastem transporterju zmeša prah iz aspiracijskega filtra. Povratni tok se potem transportira preko elevatorja in celične dozirne naprave v silos za osnovni material.

Proizvod se transportira preko polžastega transporterja v hladilne polže. Hladilni polži se hladijo z zračnim tokom in temperatura se zniža pod 55 °C.

### **10.5.6 Higienizacija končnega produkta obdelave biološko razgradljivih odpadkov**

S toplotno obdelavo digestata s pomočjo vročega zraka temperature 480 °C do 510 °C zagotavljamo njegovo higienizacijo. Učinkovitost higienizacije preverjamo s preiskavami o vsebnosti indikatorskega organizma v obdelanem končnem produktu. Po uspešni potrditvi higienizacije izvedemo ponovno kontrolo ob prvi večji spremembi v procesu toplotne obdelave blata.

### **10.5.7 Skladiščenje končnega produkta in njegovo dajanje v promet**

Tok proizvoda se potem spelje v silos proizvoda s prostornino 50 m<sup>3</sup>, kjer se skladišči končni produkt toplotne obdelave stabiliziranega blata.

Med obratovanjem naprave se silos prazni vsakih 24 ur. Čas praznjenja silosa je prilagojen prevzemniku odpadka in prometnemu režimu tovornih vozil in se lahko izvaja v času od 00 do 24 h vsak dan.

Silos za proizvod je opremljen z opremo za nakladanje na tovornjake z zaprtim razsutim tovorom. Med nakladanjem se izvaja odsesavanje zraka tako, da je zagotovljeno brezprašno izvajanje nakladanja.

Mešanico dimnih plinov na izhodu iz filtrnih vreč, ki ima povišano koncentracijo CO<sub>2</sub>, vodimo v spodnji del kondenzatorja, kjer dimne pline ohladimo s pomočjo hladilne vode od 90 °C na 55 °C, pri čemer porabimo okrog 65 m<sup>3</sup>/uro hladilne vode (procesna voda, podtalnica iz lastnega vodnjaka). Za čiščenje kapljičnega separatorja potrebujemo okrog 0,5 m<sup>3</sup> procesne vode na uro. Hladilno vodo in kondenzat vodimo na vhodno črpališče v postopek mehansko – biološkega čiščenja komunalne odpadne vode. Pretežni del cirkulacijskega plinskega medija sušilca je nasičen s paro pri temperaturi okrog 55 °C in se odvaja nazaj na gorilnik. Tako je tokokrog cirkulacije plinskega medija zaključen. Z vračanjem pretežnega dela dimnih plinov na gorilnik termično razgradimo vse hlapne organske snovi – nosilce neprijetnih vonjav. Sušilni izparilni plini se odvajajo skupaj z aspiracijskim zrakom v biofilter (Objekt 27) na čiščenje.

### 10.6 BIOFILTER (OBJEKT 27)

Biofilter služi za čiščenje onesnaženega zraka, ki nastaja v prostoru peskolova (obj. 04), v prostoru zbiranja ograbkov (obj. 03), v dovodni kineti odpadne vode, v prostoru gabelj (obj. 03), v objektu lovilnik gramoza (obj. 01) in v objektu dehidracije in sušenja blata (obj. 21).

### 10.7 UČINEK ČIŠČENJA NAPRAVE

Naprava je bila zgrajena za naslednje učinke čiščenja (tabela 5).

Tabela 5: Učinek čiščenja naprave

Parameter	Izražen kot	Enota	Mejna vrednost
Neraztopljene snovi	-	mg/l	35
Amonijev dušik	N	mg/l	10
BPK <sub>5</sub>	O <sub>2</sub>	mg/l	20
KPK	O <sub>2</sub>	mg/l	100

### 10.8 DODATNE AKTIVNOSTI ZA VAROVANJE OKOLJA (RAVNANJE Z BLATOM IN PREPREČEVANJE EMISIJ V ZRAK)

#### 10.8.1 Ravnanje z blatom

Pri biološkem čiščenju odpadne vode nastaja odvečno blato. Smernice za obdelavo tovrstnega odpadka na nivoju celotnega podjetja so podane v dokumentu Načrt ravnanja z blatom, ki je sestavni del dokumenta Program oskrbe odvajanja in čiščenja komunalne odpadne in padavinske vode in podrobno opisuje postopke in načine ravnanja z blatom, ki nastaja pri čiščenju odpadne vode na CČNL in ostalih ČN v upravljanju JP Vodovod-Kanalizacija ter pri obdelavi sprejetih tekočih odpadkov. Načrt ravnanja z blatom se skupaj s Programom oskrbe odvajanja in čiščenja komunalne odpadne in padavinske vode posreduje strokovnim službam Mestne občine Ljubljana.

#### 10.8.2 Preprečevanje emisij v zrak

Izvori onesnaženega zraka in dimnih plinov na CČNL so:

- ✓ objekti oz. notranji prostori mehanskega čiščenja odpadne vode, kjer so nameščene naprave za obdelavo ograbkov – odstranjenih delcev iz komunalne in padavinske odpadne vode (objekt 01, 03, 04),
- ✓ objekt za sprejem grezničnih gošč in blata MKČN in KČN (objekt 19),
- ✓ objekti oz. notranji prostori in notranjost naprav za obdelavo blata (silos za sveže dehidrirano blato, silos za posušeno blato, objekt 21); silos za sveže blato je pod

rahlilnim podtlakom. Odpadni plini se odvajajo z drugimi tokovi odpadnih plinov do biofiltra (objekt 27),

- ✓ naprava oz. sistem za sušenje anaerobno pregnitega blata (objekt 21),
- ✓ kotlovnica.

Odpadni zrak z nosilci neprijetnih vonjav organskega izvora (amoniak je prisoten v manjši meri) vodimo v biofilter (objekt št. 27) s površino 50 m<sup>2</sup> iz 3 virov onesnaževanja: iz silosa za sveže dehidrirano blato, iz sistema za odpraševanje in iz kondenzatorja (manjši del).

### 10.8.3 Delovanje naprave za čiščenje odpadnih plinov

Odpadni plini se čistijo v biofiltru (objekt 27). Osnova čiščenja so mikrobiološki procesi na ovlaženih nosilcih – lesnih sekancih iglavcev (smreke), lubje in sekanci korenin vodnih dreves. Nosilci in na njih naseljene kolonije mikroorganizmov predstavljajo biomaso za čiščenje onesnaženega zraka.

Onesnažen zrak je preko cevovodov speljan do objekta biofiltra, kjer so v kineti pred vstopom v biofilter zbrani vsi cevovodi, na katerih so nameščene zaporno regulacijske lopute. Cevovodi se ob vstopu v objekt biofiltra združijo v združevalni komori, ki je zaporedno vezana na vlažilno komoro. Vlažilna komora se opremi z registrom finih razpršilnih šob, tako da vbrizgavajo vodo nasproti smeri pretoka zraka, kar omogoča boljše vlaženje zraka. Na izstopu zraka iz vlažilne komore se vgradi odvajalec vodnih kapljic. Na dnu vlažilne komore se prigradi vodni rezervoar, kjer se na sesalni cevovod priključi vodna črpalka, ki dovaja vodo šobam za vlaženje zraka.

Dovod vode v vlažilno komoro je speljan preko vodovodnega omrežja, količina novo dovedene vode se regulira z nivojskim ventilom, ki ob določenem nivoju vode zapre dovodni ventil vode.

Ovlaženi zrak iz vlažilne komore nato potuje v radialni ventilator, kjer dobi zadostno energijo za transport zraka v prostor biofiltra in nato preko plasti biomase v atmosfero.

### 10.8.4 Plinska bakla

Na napravi izgoreva višek bioplina v času, ko ne sušimo pregnitega blata in ne ogrevamo vode v kotlovnica ter je obenem plinohran poln.

Obratovalci so dolžni voditi proces sušenja in priprave tople vode tako, da se na baklo vodi čim manjša količina bioplina.

Redni servis bakle izvaja pooblaščen izvajalec proizvajalca bakle. Servis se izvaja po definiranem terminskem planu (izbrane aktivnosti na vsake tri mesece oz. zamenjave delov in

### 11 LITERATURA

Delovanje biološke čistilne naprave (online). 2007. Dostopno na naslovu: <http://egradiva.minet.si/file.php/10/clanki/delovanje-biološke-cistilne-naprave.pdf> (datum dostopa: 10. 10. 2014).

Kanalizacija in čiščenje odpadne vode (online). 2007. Dostopno na naslovu: [http://www.student-info.net/sis-mapa/skupina\\_doc/fgg/knjiznica\\_datoteke/2582\\_navodila\\_za\\_laboratorijske\\_vaje\\_2007.pdf](http://www.student-info.net/sis-mapa/skupina_doc/fgg/knjiznica_datoteke/2582_navodila_za_laboratorijske_vaje_2007.pdf) (datum dostopa: 10. 4. 2015).

Lobnik A. Navodila za vaje pri predmetu ekologija in okoljevarstvo (online). 2009. Dostopno na naslovu: <http://fs-server.uni-mb.si/si/inst/itkek/lakbp/izpiti/Ekologija%20in%20Okoljevarstvo%20-%20gradivo%20in%20vaje/vaje%2008-09/Navodila%20za%20vaje%2008-09.pdf> (datum dostopa: 10. 4. 2015).

Male čistilne naprave na Koroškem (online). 2014. Dostopno na naslovu: [http://www.vsvo.si/images/pdf/2014110334\\_Male\\_%C4%8Distilne\\_naprave\\_na\\_Koro%C5%A1kem\\_Gerold\\_2014\\_LEK\\_v2.pdf](http://www.vsvo.si/images/pdf/2014110334_Male_%C4%8Distilne_naprave_na_Koro%C5%A1kem_Gerold_2014_LEK_v2.pdf) (datum dostopa: 10. 5. 2015).

MISLEJ, Vesna, BABIČ, Rok, KRAŠOVEC, Marko, MLAKAR, Ernest. Toplotna obdelava anaerobno pregnitega blata – predelava odpadka 19 08 05 v trdno alternativno gorivo = Thermal treatment of anaerobically decomposed sewage sludge – processing of waste 19 08 05 into solid alternative fuel. V: KRAVANJA, Zdravko (ur.), BRODNJAK-VONČINA, Darinka (ur.), BOGATAJ, Miloš (ur.). Slovenski kemijski dnevi 2011, Portorož, 14–16 september 2011. Maribor: FKKT, 2011, str. 1–9.

MISLEJ, Vesna, BORDON, Cirila, GRILC, Viktor, MLAKAR, Ernest. Predelava odpadnega blata BČN v trdno gorivo. V: Vodni dnevi 2013, Portorož, 16.-17. oktober 2013. ROŠ, Milenko (ur.). Zbornik referatov: [simpozij z mednarodno udeležbo]. Ljubljana: Slovensko društvo za zaščito voda, 2013, str. 109–122.

MISLEJ, Vesna, MLAKAR, Ernest. Centralna čistilna naprava Ljubljana. Obvestila, dec. 2009, št. 20, str. 21–23, ilustr.

MLAKAR, Ernest, MISLEJ, Vesna. Centralna čistilna naprava Ljubljana. Obvestila, dec. 2012, št. 23, str. 26–27, ilustr.

Mulji (blato) iz čistilnih naprav za obdelavo odpadne komunalne vode (online). 2008. Dostopno na naslovu: <http://egradiva.minet.si/file.php/10/clanki/mulji-iz-cistilnih-naprav.pdf> (datum dostopa: 2. 2. 2015).

Odvajanje in čiščenje odpadnih voda (online). 2010. Dostopno na naslovu: <http://egradiva.minet.si/course/view.php?id=10> (datum dostopa: 18. 10. 2014).

Okoljska politika: splošna načela in osnovni okvir (online). 2015. Dostopno na naslovu: [http://www.europarl.europa.eu/aboutparliament/sl/displayFtu.html?ftuId=FTU\\_5.4.1.html](http://www.europarl.europa.eu/aboutparliament/sl/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.4.1.html) (datum dostopa: 17. 2. 2015).

Operativni program odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode za obdobje od 2005 do 2017 (online). 2010. Dostopno na naslovu: [http://www.mko.gov.si/fileadmin/mko.gov.si/pageuploads/zakonodaja/varstvo\\_okolja/operativni\\_programi/operativni\\_program\\_komunalne\\_vode.pdf](http://www.mko.gov.si/fileadmin/mko.gov.si/pageuploads/zakonodaja/varstvo_okolja/operativni_programi/operativni_program_komunalne_vode.pdf) (datum dostopa: 2. 2. 2015).

Oskrba z vodo (online). 2009. Dostopno na naslovu: [http://www.mizs.gov.si/fileadmin/mizs.gov.si/pageuploads/podrocje/vs/Gradiva\\_ESS/Impletum/IMPLETUM\\_347VARSTVO\\_Oskrba\\_Zerovnik.pdf](http://www.mizs.gov.si/fileadmin/mizs.gov.si/pageuploads/podrocje/vs/Gradiva_ESS/Impletum/IMPLETUM_347VARSTVO_Oskrba_Zerovnik.pdf) (datum dostopa: 15. 11. 2014).

Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih vod ter o pogojih za njegovo obratovanje, Ur.l. RS št. 54/2011.

Program monitoringa stanja voda za obdobje 2010–2015 (online). 2011. Dostopno na naslovu: [http://www.arso.gov.si/vode/poro%c4%8dila\\_%20in\\_%20publikacije/Program\\_%202010%20-%202015.pdf](http://www.arso.gov.si/vode/poro%c4%8dila_%20in_%20publikacije/Program_%202010%20-%202015.pdf) (datum dostopa: 15. 3. 2014).

Ravnanje s centratom iz obdelave blata na Centralni čistilni napravi v Ljubljani (online). 2013. Dostopno na naslovu: [http://drugg.fgg.uni-lj.si/4187/1/GRM235\\_Vrbancic.pdf](http://drugg.fgg.uni-lj.si/4187/1/GRM235_Vrbancic.pdf) (datum dostopa: 2.6. 2015).

Razvoj in izgradnja informacijskega sistema za izvajanje direktive o čiščenju komunalne odpadne vode (online). 2013. Dostopno na naslovu: [http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/podrocja/voda/analiza\\_stanja\\_UWWTD\\_SIIF.pdf](http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/podrocja/voda/analiza_stanja_UWWTD_SIIF.pdf) (datum dostopa: 15. 12. 2014).

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

Roš M. D. Zupančič, G. Čiščenje odpadnih voda. Velenje, Visoka šola za varstvo okolja, 2010.

SIST EN 14899: 2006 – Karakterizacija odpadkov – Vzorčenje odpadkov – Okvirno navodilo za pripravo in uporabo načrta vzorčenja – Characterization of waste – Sampling of waste materials Framework for the preparation and application of a Sampling Plan.

SIST EN ISO 5667-13:1998 Water quality - Sampling - Part 13: Guidance on sampling of sludges from sewage and water treatment works.

Slokan I. Nizke zgradbe: Temeljenje, vodovod, kanalizacija. Ljubljana. Tehniška založba Slovenije, 2003.

Slokan I. Odvajanje in čiščenje odpadne vode (online). 2013. Dostopno na naslovu: [http://studentski.net/gradivo/vis\\_eru\\_vok\\_ocv\\_sno\\_skripta\\_2013\\_1\\_del\\_01](http://studentski.net/gradivo/vis_eru_vok_ocv_sno_skripta_2013_1_del_01) (datum dostopa: 12. 12. 2014).

ŠTRAMCAR, Alenka, URANJEK ŽEVART, Nataša, MISLEJ, Vesna. Obdelava odvečnega blata. V: 4. problemska konferenca komunalnega gospodarstva, Rogaška Slatina, 25. in 26. september 2014. CERKVENIK, Stanka (ur.), ROJNIK, Enisa (ur.). Zbornik 4. problemske konference komunalnega gospodarstva. Ljubljana: GZS, Zbornica komunalnega gospodarstva, 2014, str. 183–189.

Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo, Ur.l. RS št. 64/2012.

Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav, Ur.l. RS št. 45/07,63/09, 105/2010.

Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz malih komunalnih čistilnih naprav, Uradni list RS št. 30/10.

Uredba o izvajanju Uredbe Evropskega parlamenta in Sveta (ES) št. 166/2006 o Evropskem registru izpustov in prenosov onesnaževal ter spremembi Direktiv Sveta 91/689/EGS in 96/61/ES, Ur.l. RS št. 77/06.

Uredba o obremenjevanju tal z vnašanjem odpadkov, Ur. list RS št. 34/08 in 61/11

Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne in padavinske odpadne vode, Uradnem listu RS št. 88/11.

Uredba o okoljski dajatvi za onesnaževanje okolja zaradi odvajanja odpadnih voda, Uradnem listu RS št. 80/12.

Uredba o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata, Ur.l. RS št. 99/2013.

Uredba o predelavi nenevarnih odpadkov v trdno gorivo, Ur.l. RS št. 57/2008 in 96/14

Varstvo voda in njihovo upravljanje (online). 2015. Dostopno na naslovu: [http://www.europarl.europa.eu/aboutparliament/sl/displayFtu.html?ftuId=FTU\\_5.4.4.html](http://www.europarl.europa.eu/aboutparliament/sl/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.4.4.html) (datum dostopa: 10. 1. 2015).

Zakon o varstvu okolja (ZVO – 1). Ur. list RS, št. 41/04, 2004.