

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Valcl Fifer, T., 2015. Globinska filtracija na sistemih za obdelavo odpadnih voda. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Panjan, J.): 89 str.

Datum arhiviranja: 01-12-2015

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Valcl Fifer, T., 2015. Globinska filtracija na sistemih za obdelavo odpadnih voda. M.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Panjan, J.): 89 pp.

Archiving Date: 01-12-2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

**MAGISTRSKI PROGRAM
UNIVERZITETNI
PODIPLOMSKI ŠTUDIJ
VARSTVO OKOLJ**

Kandidatka:

TANJA VALCL FIFER

**GLOBINSKA FILTRACIJA NA SISTEMIH ZA
OBDELAVO ODPADNIH VODA**

Magistrsko delo št.: 248

**CLOTH FILTRATION ON THE WASTE WATER
SYSTEMS**

Graduation – Master Thesis No.: 248

Mentor:

izr. prof. dr. Jože Panjan

Ljubljana, 10. 11. 2015

STRAN ZA POPRAVKE

<u>STRAN Z NAPAKO</u>	<u>VRSTICA Z NAPAKO</u>	<u>NAMESTO</u>	<u>NAJ BO</u>

IZJAVE

Podpisana Tanja Valcl Fifer izjavljam, da sem avtorica magistrskega dela z naslovom:

»Filtracija s tkanino na sistemih za obdelavo odpadnih voda«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 2015

Tanja Valcl Fifer

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	628.179.2(043.2)
Avtor:	Tanja Valcl Fifer, univ. dipl. inž. str.
Mentor:	izr. prof. dr. Jože Panjan, univ. dipl. inž. grad.
Naslov:	Filtracija s tkanino na sistemih za obdelavo odpadnih voda
Tip dokumenta:	Magistrsko delo
Obseg in oprema:	89 str., 21 pregl., 50 sl., 27 en., 3 pril.
Ključne besede:	globinska filtracija, filtracija 3D, filtracija 2D, odpadne vode, suspendirane snovi, KPK

Izвлеček

Magistrsko delo temelji na izvedenih meritvah vsebnosti suspendiranih snovi, kemijske potrebe po kisiku (KPK) in pretokov na testirani napravi za globinsko filtracijo s tkanino »Mini filter 1« na CČN Domžale - Kamnik. Meritve so se izvajale v času od 3. 7. 2012 – 20. 9. 2012 enkrat dnevno od ponedeljka do petka na sami testirani filtrirni napravi. Izvajale so se meritve pretokov in odčitavanje višin nivojev vode v komorah filtrirne naprave ter odčitavanje vsebnosti celokupnih suspendiranih snovi (TSS) na kontinuirani meritvi na iztoku iz naknadnega usedalnika. Meritve parametrov TSS in KPK so se izvajale v laboratoriju.

Po 17. 8. 2012 se je preizkušanje testirane filtracijske naprave nadgradilo z vključitvijo simulacije povečane obremenitve s TSS na dotoku v napravo. Od tega dne se je obremenitev s TSS na dotoku v testirano napravo »Mini filter 1« postopoma povečevala. Namen simulacije je bil, da se doseže točka obremenitve s TSS, pri kateri bo filtrirna naprava s tkanino »Mini filter 1« neprestano v postopku čiščenja oz. odstranjevanja zajetih trdnih delcev iz filtrirne tkanine. Ta točka se v času preizkusov ni dosegla. Dosežen pa je bil minimalen čas med spiranji, ki je bil pod dvema minutama. Naprava je torej bila ponovno pripravljena za postopek čiščenja, v času krajšem od 2 minut. Postopek čiščenja tkanine pri tem ni vplival na filtracijski proces dotočne vode.

Magistrsko delo vključuje tudi teoretične osnove filtracije in primerjavo različnih vrst tehnologij filtracije, tako površinskih (2D) kot globinskih (3D) opravljenih na podlagi meritev števila delcev, ki vstopajo in zapuščajo filter, ter njihove velikosti. V zadnjem delu naloga vključuje primer vključitve globinske filtracije na projektu nadgradnje CČN Ljubljana, kjer so prikazane variante nadgradnje CČN Ljubljana in postopek dimenzioniranja globinske filtracije s tkanino pri različnih projektnih podatkih pretoka na nivoju idejnega projekta.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 628.179.2(043.2)
Author: Tanja Valcl Fifer, univ. dipl. str.
Supervisor: assoc. prof. dr. Jože Panjan, Ph.D.
Title: Cloth filtration on waste water system
Document type: M. Sc. Thesis
Notes: 89 p., 21 tab., 50 fig., 27 eq., 3 ann.
Key words: cloth filtration, filtration, 3D filtration, 2D filtration, waste water, suspended solids

Abstract:

The master's thesis is based on the executed measurements of suspended solid contents, COD contents and flows on the tested depth-cloth filtration device Mini filter 1 on WWTP Domžale-Kamnik. The measurements were carried out in the period from 03.07.2012 – 20.9.2012 once a day from Monday till Friday on the tested filtration device and namely flow measurements and reading of heights in the filtration device chambers and reading of suspended solid contents (TSS) on the continuous measurement on the outflow from the secondary clarifier. Measuring of parameters TSS and COD was carried out in the laboratory.

After 17th of August 2012, the testing of tested filtration device was upgraded by including the simulation of increased load with TSS on the inflow into the device. From that day on, the load with TSS on the inflow into the tested device Mini filter 1 was gradually increased. The purpose of simulation was to reach the load point with TSS where the cloth filtration device Mini filter 1 will be constantly in the procedure of cleaning or removing the captured solid particles from the filtration cloth. This point wasn't reached. Yet a minimum time during rinsing under 2 minutes was achieved. Meaning, that the device was once again in the state of cleaning less than 2 minutes. The cleaning procedure didn't affect the filtration process of inflow water.

ZAHVALA

Želim se zahvaliti mojemu prvemu mentorju, žal že preminulemu prof. dr. Borisu Kompare, ki me je navdušil za podiplomski študij ter me v času najinega sodelovanja vseskozi spodbujal in vodil na tej poti.

Iskrena zahvala gre mojemu sedanjemu mentorju izr. prof. dr. Jožetu Panjanu, ki je prevzel mentorstvo ter mi nudil podporo pri zaključevanju magistrskega dela s svojimi strokovnimi komentarji in predlogi.

Zahvaljujem se dr. Marjeti Stražar in dr. Meti Levstek iz CČN Domžale - Kamnik, ki sta mi omogočili celotno izvedbo testiranja, vključno s povezavo na njihov sistem čiščenja odpadnih voda in izvajanje vseh potrebnih meritev. Zahvaliti bi se želela celotnemu osebju v CČN Domžale – Kamnik, ker so mi priskočili na pomoč v primeru tehničnih težav pri izvajanju testiranja filtrirne naprave.

Posebna zahvala tudi mojemu očetu in preminuli materi, ki sta mi finančno omogočila podiplomski študij.

Zahvaliti se želim tudi moji družini, ki mi je nudila podporo in pomagala v času študija ter priprave magistrskega dela.

KAZALO VSEBINE

IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
KAZALO VSEBINE	VI
KAZALO SLIK	VIII
INDEX OF FIGURES	IX
KAZALO PREGLEDNIC	XI
INDEX OF TABLES	XII
OKRAJŠAVE	XIII
SLOVAR MANJ ZNANIH BESED IN TUJK	XIV
RAZLAGA MATEMATIČNIH VELIČIN	XV
1 UVOD	1
2 OSNOVE FILTRACIJE – PREGLED LITERATURE	2
2.1 Pregled pojmov iz literature	2
2.2 Uporaba filtracije	2
2.3 Sestava suspendiranih snovi v iztoku čistilnih naprav	3
2.4 Vpliv suspendiranih snovi na upoštevanje mejnih vrednosti	3
2.5 Vpliv suspendiranih snovi na vodotoke	4
2.6 Teoretične osnove filtracije	6
2.6.1 Splošno o filtraciji	6
2.6.2 Filtracijski mehanizem	9
2.6.2.1 Transport delcev	9
2.6.2.2 Vezava delcev	11
2.6.2.3 Odcepitev delcev	11
2.6.2.4 Adsorpcija	11
2.6.3 Matematični opis filtracijskega procesa	14
2.6.4 Vrste pretoka	16
2.6.5 Pregled kinetike biofilma	16
2.6.5.1 Nastanek in zgradba biofilma	16
2.6.5.2 Mehanizmi prenosa snovi	17
2.6.5.3 Difuzija	18
2.6.5.4 Kinetika presnove substrata	21
2.6.5.5 Nitrifikacija	22
2.6.5.6 Denitrifikacija	23
2.7 Filtracija predhodno očiščenih odpadnih voda	24
2.7.1 Področja uporabe filtrov za filtracijo predhodno biološko očiščenih odpadnih voda	24
2.7.2 Pregled postopkov in razmejitev filtracijskih sistemov	25
3 OPIS FILTRACIJSKIH POSTOPKOV	27
3.1 Peščeni filtri	27
3.1.1 Počasni peščeni filtri	28
3.1.2 Hitri peščeni gravitacijski filtri	31
3.1.2.1 Rezultati testiranja odprtega peščenega filtra	34
3.1.3 Tlačni peščeni filtri	36
3.1.3.1 Rezultati testiranja tlačnega peščenega filtra	37
3.2 Mikrosita	38
3.2.1 Uporaba	38
3.2.2 Princip delovanja	39
3.2.3 Dimenzioniranje mikrosit	42
3.2.3.1 Rezultati testiranja mikrosit	43
3.3 Filter globinske filtracije s tkanino (vlakna)	44

3.3.1	Princip delovanja globinske filtracije s tkanino	46
3.3.2	Dimenzioniranje globinskih filtrov s tkanino	48
3.3.2.1	Rezultati testiranja globinske filtracije s tkanino.....	49
3.4	Povzetek rezultatov testiranj za različne procese filtracije	50
3.5	Vrste filtracijskih tkanin	54
4	EKSPERIMENTALNI DEL - IZVAJANJE TESTIRANJA GLOBINSKE FILTRACIJE S TKANINO NA CČN DOMŽALE – KAMNIK.....	56
4.1	Opis naprave	56
4.2	Analizne metode.....	58
4.2.1	Določanje kemijske potrebe po kisiku (KPK)	58
4.2.2	Določanje vsebnosti neraztopljenih snovi (TSS) po ISO 11923	61
4.3	Opis postopka testiranja testne naprave »Mini filter 1«	63
4.4	Izračuni	67
4.5	Povzetek rezultatov testiranja.....	68
4.6	Primer optimizacije nadgradnje III. faze CČN Ljubljana z globinsko filtracijo s tkanino	70
4.6.1	Dimenzioniranje nadgradnje CČN Ljubljana	70
4.6.2	Koncepti nadgradnje	72
4.6.3	Nadgradnja CČN Ljubljana s primarno sedimentacijo (VARIANTA 1).....	72
4.6.3.1	Opis procesa	72
4.6.4	Nadgradnja CČN Ljubljana brez primarne sedimentacije (VARIANTA 2)..	73
4.6.4.1	Opis procesa	73
4.6.5	Predlog izbora variante	74
4.6.6	Iztok iz naknadnih usedalnikov	74
4.6.7	Povzetki rezultatov projektantskih izračunov	75
4.6.8	Povzetki izračunov biološke stopnje	76
4.6.9	Izračun globinske filtracije	76
4.6.10	Obratovalni stroški globinske filtracije s tkanino na CČN Ljubljana	77
5	REZULTATI Z DISKUSIJO	79
5.1	ZAKLJUČEK.....	80
5.2	SUMMARY	82
VIRI.....		84
PRILOGE.....		89
PRILOGA A: Tehnični podatki filtrirne enote »Mini filter 1«		
PRILOGA B: Preglednica meritev KPK, TSS in pretokov na testirani filtrirni napravi		
PRILOGA C: Grafi meritev		

KAZALO SLIK

Slika 1:	Princip površinske filtracije	6
Slika 2:	Princip globinske filtracije	7
Slika 3:	Primerjava površinske in globinske filtracije	7
Slika 4:	Postopki filtracij	8
Slika 5:	Transportni mehanizem na principu gibanja vode	10
Slika 6:	Transportni mehanizem na principu gibanja delcev	10
Slika 7:	Prikaz zadrževanja delcev na aktivnem oglju z adsorpcijo	12
Slika 8:	Prikaz sposobnosti zadrževanja tenzidov na materialih iz prehodne tabele	14
Slika 9:	Shematski prikaz biofilma	18
Slika 10:	Prenos substrata v notranjost biofilma	19
Slika 11:	Opazovanje elementa v idealiziranem biofilmu	20
Slika 12:	Shematski prikaz transporta substrata in produkta skozi biofilm	21
Slika 13:	Monodova kinetika - Odvisnost specifične hitrosti prirasti biomase od koncentracije substrata	21
Slika 14:	Shema počasnega peščenega filtra	28
Slika 15:	Fotografija počasnega peščenega filtra s šobnim dnom za čiščenje filtra	32
Slika 16:	Razpored hidrostatičnih tlakov v filtru v različnih globinah filtra	33
Slika 17:	Število delcev na osnovi velikosti, ki vstopajo in zapuščajo odprti peščeni filter ...	35
Slika 18:	Odstotek odstranjevanja delcev skozi filter	36
Slika 19:	Hitri tlačni peščeni filter	36
Slika 20:	Število delcev na osnovi velikosti, ki vstopajo in zapuščajo tlačni peščeni filter	37
Slika 21:	Odstotek odstranjevanja delcev skozi filter	38
Slika 22:	Ločevanje delcev pri filtraciji z mikrositi	39
Slika 23:	Funkcijski prerez skozi mikrosito – izvedba z diski	40
Slika 24:	Bobnasta izvedba mikrosita	41
Slika 25:	Funkcijski prerez skozi mikrosito – bobnasta izvedba	41
Slika 26:	Mikrosita v diskasti izvedbi	42
Slika 27:	Število delcev na osnovi velikosti, ki vstopajo in zapuščajo mikrosito	44
Slika 28:	Odstotek odstranjevanja delcev skozi mikrosito	44
Slika 29:	Filtracija in proces čiščenja tkanine pri globinski filtraciji s tkanino	45
Slika 30:	Struktura mreže filtra iz tkanine	46
Slika 31:	Diskasti filter s tkanino	47
Slika 32:	Prikaz čiščenja filtrne tkanine	47
Slika 33:	Diagram za dimenzioniranje globinske filtracije s tkanino	48
Slika 34:	Število delcev na osnovi velikosti, ki vstopajo in zapuščajo globinsko filtracijo s tkanino	49
Slika 35:	Odstotek odstranjevanja delcev skozi globinsko filtracijo s tkanino	50
Slika 36:	Odstotek odstranjevanja delcev za vse preučene različne filtrirne sisteme	51
Slika 37:	Stopnja odstranjevanja suspendiranih delcev na osnovi velikosti delcev	51
Slika 38:	Mikroporozni sloj na PES filcu 500 g/m ²	55
Slika 39:	PTFE membrana na PES filcu 500 g/m ²	55
Slika 40:	Vlakna filtracije s tkanino	55
Slika 41:	Shematski prikaz filtrirne enote	57
Slika 42:	Slika filtrirne naprave	58
Slika 43:	Shema delovanja testirane filtrirne naprave »Mini filter 1«	64
Slika 44:	Simulacija povečanega TSS za dotok na testirano filtrirno enoto	65
Slika 45:	Shema delovanja testirane filtrirne naprave »Mini filter 1«	65
Slika 46:	Vizualna kontrola učinka filtracije	69
Slika 47:	Vizualna kontrola učinka filtracije (detali)	70
Slika 48:	Filtri s tkanino na CČN Oldenburg (Q _{max} = 5.800 m ³ /h)	78
Slika 49:	Komore za globinsko filtracijo s tkanino na CČN Kranj	78
Slika 50:	Vgrajeni moduli za globinsko filtracijo s tkanino na CČN Kranj	78

INDEX OF FIGURES

Figure 1:	Principle of surface filtration	6
Figure 2:	Principle of depth filtration	7
Figure 3:	Comparison of surface and depth filtration	7
Figure 4:	Processes of filtrations (Uni-flo, 2014)	8
Figure 5:	Transportation mechanism on the water movement principle	10
Figure 6:	Transportation mechanism on the particle movement principle	10
Figure 7:	Display of particle retention on activated carbon with adsorption	12
Figure 8:	Display of the retention ability of surfactants on the materials from the previous table	14
Figure 9:	Schematically depiction of biofilm	18
Figure 10:	Substrate transfer into the interior of biofilm	19
Figure 11:	Observation of an element in the idealized biofilm	20
Figure 12:	Schematically depiction of transfer of substrate and the product through the biofilm	21
Figure 13:	MONOD kinetics - Dependence of specific speed of biomass growth from the substrate concentration	21
Figure 14:	Slow sand filter scheme	28
Figure 15:	Picture of slow sand filter with nozzle bottom for filter cleaning	32
Figure 16:	Layout of hydrostatical pressures in the filter in different filter depths	33
Figure 17:	Number of particles on size basis, entering and exiting from the open rapid sand filter	35
Figure 18:	Percentage of particle removal through the open rapid filter	36
Figure 19:	Rapid pressure sand filter	36
Figure 20:	Number of particles on size basis entering and exiting from the rapid pressure sand filter	37
Figure 21:	Percentage of particle removal through the rapid pressure sand filter	38
Figure 22:	Particle separation at filtration with micro sieves	39
Figure 23:	Functional cross section through the micro sieve – execution with discs	40
Figure 24:	Drum execution of micro sieve	41
Figure 25:	Functional cross section through micro sieve – drum execution	41
Figure 26:	Micro sieves in disc execution	42
Figure 27:	Number of particles on size basis entering and exiting from the micro sieve	44
Figure 28:	Percentage of particle removal through the micro sieve	44
Figure 29:	Filtration and process of depth cloth filtration	45
Figure 30:	Cloth filter mesh structure	46
Figure 31:	Cloth disc filter	47
Figure 32:	Cloth filtration cleaning	47
Figure 33:	Chart for dimensioning of depth cloth filtration	48
Figure 34:	Number of particles on size basis entering and exiting from the depth cloth filtration	49
Figure 35:	Percentage of particle removal through the depth cloth filtration	50
Figure 36:	Percentage of particle removal for all studied various filtration processes	51
Figure 37:	Suspended solids removal percentage on the basis of particle size	51
Figure 38:	Microporous layer on the PES fleece 500 g/m ²	55
Figure 39:	PTFE membrane on the PES fleece 500 g/m ²	55
Figure 40:	Filtration fiber with for cloth filtration (3D effect of filtration)	55
Figure 41:	Schematical depiction of filtration unit	57
Figure 42:	Photo of tested filtration device	58
Figure 43:	Scheme of operation of tested filtration device »Mini filter 1«	64
Figure 44:	Simulation of increased TSS for the inflow to the tested filtration unit	65
Figure 45:	Scheme of operation of tested filtration device »Mini filter 1«	65
Figure 46:	Visual control of filtration effect	69

Figure 47: Visual control of filtration effect (details).....	70
Figure 48: Cloth filters on WWTP Oldenburg (Qmax= 5.800 m ³ /h)	78
Figure 49: Chamber for cloth filtration on WWTP Kranj (95.000 PE)	78
Figure 50: Built-in modules for cloth filtration on WWTP Kranj.....	78

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Deleži mejnih vrednosti, ki jih lahko povzročijo TSS iz iztoka naknadnega usedanja	4
Preglednica 2: Vsebnost suspendiranih snovi in nekateri kemični parametri na primeru različnih vodotokov	5
Preglednica 3: Adsorpcijske karakteristične vrednosti za posamezne vrste materialov	14
Preglednica 4: Difuzijski koeficienti snovi oz. skupin snovi	19
Preglednica 5: Pregled postopkov za površinsko filtracijo, vključujoč filter s tkanino in mikrosito	25
Preglednica 6: Pregled postopkov za volumsko filtracijo	26
Preglednica 7: Rezultati delovanja hitrega odprtega peščenega filtra.	35
Preglednica 8: Rezultati delovanja tlačnega peščenega filtra.	37
Preglednica 9: Mikrosita, vgrajena za naknadno čiščenje biološko obdelane komunalne odpadne vode v Nemčiji	39
Preglednica 10: Rezultati delovanja mikrosit.....	43
Preglednica 11: Rezultati delovanja globinske filtracije s tkanino	49
Preglednica 12: Rezultati znižanja obarvanosti, motnosti in transmisije pri različnih filtrnih sistemih	52
Preglednica 13: Zmanjšanje suspendiranih delcev, jajčec glist in fekalnih koliformov za različne filtracijske procese	53
Preglednica 14: Napotki pri konzerviranju ter delu z vzorci.....	59
Preglednica 15: Primerjava med ISO 6060: 1989 in določitev KPK po modifikaciji ISO standarda za Dr. Lange epruvete	61
Preglednica 16: Seznam merilnih mest pri delovanju testirane filtrne enote »Mini filter 1« ..	64
Preglednica 17: Princip izračuna simuliranega TSS na dotoku v testirano filtrirno enoto	66
Preglednica 18: Seznam merilnih mest pri delovanju testirane filtrne enote »Mini filter 1« ..	66
Preglednica 19: Vrednotenje vhodnih podatkov	71
Preglednica 20: Povzetek obremenitev sedanjega stanja, dodatnih obremenitev in predlog za nadgradnjo.....	72
Preglednica 21: Učinkovitost primarne sedimentacije.....	73

INDEX OF TABLES

Table 1: The shares of the limit values, which can be caused by TSS from the secondary clarifier	4
Table 2: Suspended matter contents and some chemical parameters on the example of various watercourses.....	5
Table 3: Adsorption characteristic values for individual types of materials.....	14
Table 4: Diffusion coefficients of substance or the groups of substances	19
Table 5: Review of the process for surface filtration including the cloth filtration and micro sieves.....	25
Table 6: Review of processes for volume filtration	26
Table 7: Results of operation for rapid open sand filter	35
Table 8: Results of operation for close pressure sand filter.....	37
Table 9: Micro sieves installed after secondary clarifier of biologically treated municipal waste water in Germany	39
Table 10: Results of operation of micro sieves	43
Table 11: Results of operation of micro sieves	49
Table 12: Results of reducing the colour, turbidity and transmission at different filtration processes	52
Table 13: Reduction of suspended solids, helminth eggs and faecal coliforms for different filtration processes.....	53
Table 14: Preservation and handling of water samples	59
Table 15: The comparison between ISO 6060: 1989 and the determination of COD by a modification of ISO standard with Dr. Lange test tube	61
Table 16: List of measuring locations at operation of tested filtration unit »Mini filter 1«.....	64
Table 17: Principle of calculation of simulated TSS on the inflow into the tested filtration unit.....	66
Table 18: List of measuring location at operation of tested filtration unit »Mini filter 1«	66
Table 19: Input data evaluation	71
Table 20: Summary of current state loads, additional loads and proposal for the upgrade for WWTP Ljubljana.....	72
Table 21: The effectiveness of primary sedimentation	73

OKRAJŠAVE

OKRAJŠAVA	OPIS	ENOTE
2D-filtracija	Površinska filtracija	
3D-filtracija	Globinska filtracija	
AOX	Adsorbiljivi organski halogeni	mg/L
BPK ₅	Biološka potreba po kisiku	mg/L
CČN	Centralna čistilna naprava	
EPS	Ekstracelularne polimerne snovi	
fKPK	Topen KPK	mg/L
KPK	Kemična potreba po kisiku	mg/L
MBR	Membranski biološki reaktor	
MLSS	Suha snov v suspendiranem blatu	mg/L
N	Dušik	mg/L
NH ₄ ⁺	Amonij	mg/L
NO ₂ ⁻	Nitrit	mg/L
NO ₃ ⁻	Nitrat	mg/L
O ₂	Kisik	mg/L
oSS	Organska suha snov	mg/L
P	Fosfor	mg/L
PA	Poliamidi	
PCB	Poliklorirani bifenili	mg/L
PE	Populacijski ekvivalent	
PES	polisulfon	
pKPK	Neraztopljeni KPK	mg/L
PP	Polipropilen	
PTFE	Politetrafluoretilen	
RFG	Obremenitev površine s suspendiranimi snovmi / trdnimi delci	g/m ² h
SS	Suspendirane snovi	mg/L
TSS	Skupne suspendirane snovi / trdni delci	mg/L
SVI	Volumski indeks blata	mL/g
UV- dezinfekcija	Ultravijolična dezinfekcija	
UFC	Celice, ki tvorijo kolonijo	

SLOVAR MANJ ZNANIH BESED IN TUJK

IZRAZ	RAZLAGA
Adsorpcija	Vezava molekul iz okolja na površino trdne snovi
Adhezija	Težnja neenakih delcev ali površin, da se oklepajo drug drugega.
Advekcija	Dovajanje, horizontalni dotok (Veliki splošni leksikon, 2006)
Anoksični pogoji	Stanje brez prisotnosti raztopljenega kisika, prisotni pa morajo biti nitriti.
Biofilm	Združba mikroorganizmov in ostalih snovi, ki je pritrjena na nosilec.
Denitrifikacija	Kemijska reakcija, pri kateri se v nitratu (NO_3^-) vezan dušik pretvori v prosti dušik (N_2).
Difuzija	Spontano razširjanje snovi zaradi prostorske nehomogenosti odgovarjajočih fizikalnih količin
Disperzija	Zmes razpršene trdne, tekoče ali plinaste snovi in druge snovi
Evtrofija	Proces večanja količine biomase v vodi pri povečani koncentraciji anorganskih hranil
Flokulacija	Koagulirani delci (kosmi) se absorbirajo na dolgo verigo organskega polimera.
Flokule	Koagulirani delci (kosmi)
Koloidi	Snov, dispergirana v drugi snovi
Konvekcija	Gibanje molekul v tekočini
Nitrifikacija	Biološka oksidacija amonijaka (NH_3) s kisikom v dušikovo kislino ali nitrate (NO_3^-)
Protozoen	Praživali
Reverzna osmoza	Postopek filtracija na osnovi osmotskih tlakov
Substrat	Hranilna osnova (gojišče) za mikroorganizme
Suspenzija	Zmes tekočine in v njej netopne trdne snovi
Terciarna obdelava	Odstranjevanje ogljikovih spojin in fosforja ali tudi naknadna obdelava vode s filtracijo

RAZLAGA MATEMATIČNIH VELIČIN

OZNAKA	ENOTA	OPIS
A	m ²	Filtrirna površina
a,b	/	Konstante
BA	g/(m ² h)	Površinska obremenitev s suspendiranimi snovmi
<u>C</u>	g/m ³	Koncentracija
<u>C</u> ₀	g/m ³	Začetna koncentracija nesnage
C _s	mg/L	Koncentracija substrata
D	m ² /d	Koeficient difuzije substrata
DB _{R,DN(T)}	kg NO ₃ -N/(m ³ d)	Kapaciteta denitrifikacije v odvisnosti od temperature
DB _{R,DN(20)}	kg NO ₃ -N/(m ³ d)	Kapaciteta denitrifikacije pri 20 °C
DB _{R,N(20)}	kg NO ₃ -N/(m ³ d)	Kapaciteta nitrifikacije pri 20 °C
DB _{R,N(T)}	kg NH ₄ -N/(m ³ d)	Kapaciteta nitrifikacije v odvisnosti od temperature
D _f /D _w	/	Zmanjšanje difuzijskega koeficienta čiste vode v primerjavi z biofilmom
d _k	mm	Premer zrna
d _s	mm	Premer trdnega delca
h, h ₀	m	Sprememba izgube tlaka in izguba tlaka pri prostem filtrirnem materialu
l	/	Poroznost filtra
k _T	1,38 10 ⁻²³ JK ⁻¹	Boltzmannova konstanta
K _s	mg/L	Konstanta nasičenja za substrat
k _x	g substrat/(m ³ d)	Reakcijska hitrost na enoto biomase
L	mm	Debelina biofilma
N	g substrat/(m ² d)	Pretok snovi v biofilmu
n	d ₆₀ /d ₁₀	Koeficient enakomernosti
Q	m ³ /h	Dotok na filtrirno napravo
Q _č	[L/h]	Pretok odpadne vode čiščenja
Q _{ob}	[L/h]	Pretok odvečnega blata
Q _t	m ³ /h	Dnevni konični sušni pretok
Q _m	m ³ /h	Deževni pretok
Q _d	m ³ /h	Povprečni sušni pretok
q _{Vol}	L/(m ³ h)	Specifična volumska obremenitev
r _{vf}	kg/(m ³ dan)	Reakcijska hitrost na volumensko enoto biofilma
S _b	g substrat/m ³	Koncentracija substrata v obdajajoči tekočini
S _f	g substrat/m ³	Koncentracija substrata v biofilmu
S _s	g substrat/m ³	Koncentracija na površini biofilma
SS _{AT}	mg/L	Koncentracija suspendiranih snovi v biološki stopnji čiščenja
SS _{FC, e}	mg/L	Koncentracija suspendiranih snovi v iztoku iz naknadnega usedalnika
T	°C	Temperatura
t _č	s	Čas čiščenja
t _d	s	Čas za dotoka

OZNAKA	ENOTA	OPIS
t_{ob}	s	Čas dotoka odvečnega blata
V	mL	Volumen vzorca
$V_{\check{c}}$	L	Volumen zajete odpadne vode po čiščenju tkanine
V_d	L	Volumen dotoka
V_{ob}	L	Volumen zajetega odvečnega blata
Vol_{FC}	m ³	Potrebna prostornina naknadnih usedalnikov
v_F	m/s	Filtracijska hitrost
v_k	m/s	Popravek hitrosti filtracije
X_f	g bakterij/m ³	Koncentracija bakterij v biofilmu
z	mm	Globina filtra
λ	1/m	Konstanta filtra
\bar{O}	/	Obremenitev filtra
μ_{max}	1/d	Maksimalna specifična hitrost rasti mikroorganizmov
μ	1/d	Specifična hitrost rasti mikroorganizmov
ρ	mg/L	Koncentracija neraztopljenih snovi

1 UVOD

Zaradi zahtev po kakovosti pri čiščenju odpadnih voda se iztočne vrednosti parametrov vedno bolj nižajo. Posebno izpostavljene so vsebnosti suspendiranih snovi, BPK_5 , KPK, fosforja in amonija. Za doseg teh zahtev pri čiščenju odpadnih voda je ena od možnosti filtracija iztoka biološko očiščene odpadne vode, ki ob usklajenem načrtovanju in izvedbi učinkovito zadovoljuje poostrene zahteve za kakovost iztoka. Poleg doseganja nižjih vnosov onesnažil v vodotoke je dandanes vedno bolj v ospredju tudi ponovna uporaba ustrezno obdelane prečiščene komunalne odpadne vode iz čistilnih naprav, ki je lahko eden od ciljev trajnostnega razvoja.

Večina podjetij, organizacij in javnih služb opredeljuje prečiščeno odpadno vodo iz čistilne naprave kot nov vir vode za nadzorovano ponovno uporabo. Pri tem je bistvenega pomena, da v sistem čiščenja odpadnih voda vključene tehnologije na centralnih čistilnih napravah (CČN) omogočajo čiščenje odpadne vode do te mere, da je primerna za namen, za katerega se bo uporabila.

Ponovna uporaba očiščene komunalne odpadne vode pomeni, da se lahko pokriva potreba po vodi tam, kjer ni potrebna ista kakovost, kot jo mora imeti pitna voda. Na območju Sredozemlja je ponovna uporaba očiščene vode poudarjena kot uresničljiva alternativa z dobro prihodnostjo zaradi mnogovrstnih koristi, ki jih prinaša, in sicer:

- porast razpoložljivih skupnih vodnih virov in
- zmanjšanje izpustne, torej odpadne vode v okolje.

V obstoječih naprednih čistilnih napravah, posebno na območjih kopalnih voda in vodovarstvenih območij, je v končno stopnjo obdelave vključen filtracijski sistem (pogosto skupaj s fizikalno-kemično obdelavo) v kombinaciji z dezinfekcijo z ultravijoličnim sevanjem (UV). Da bi dosegli optimalno delovanje končne obdelave, je potrebno povečati učinkovitost filtracijskega sistema, pri čemer je filtrirni medij ovira, ki omogoča, da tekočina prehaja, vendar se večino suspendiranih delcev zadrži v filtrnem mediju. Filtrna ovira je lahko mreža, tkanina, papir ali sintetična membrana.

Glavne razlike posameznih vrst filtracij se odražajo v velikosti izločenih delcev, obratovalnem tlaku, višini investicije, višini obratovalnih stroškov ter prilagodljivosti samega sistema filtracije glede na spremembe kakovosti tekočine, ki se filtrira.

2 OSNOVE FILTRACIJE – PREGLED LITERATURE

2.1 Pregled pojmov iz literature

Po mehanski in biološki obdelavi komunalnih odpadnih voda so v iztoku še vedno prisotna onesnažila v obliki suspendiranih in raztopljenih snovi, ki lahko vplivajo na vodotoke kot hranilne, motilne snovi ali strupene snovi. Razlikujemo med neraztopljenimi in partikularnimi trdnimi snovmi (Rosenwinkel, 1997).

Biološko nerazgradljivi KPK – v partikularni ali raztopljeni obliki – zajema biološko težko razgradljive ali sploh nerazgradljive organske spojine. Te ne posegajo ali zelo počasi posegajo v ravnovesje kisika vodotokov in lahko vodijo do kaljenja, spremembe okusa in vonja, kakor tudi do obarvanja.

Organske mikro nečistoče v iztoku iz čistilnih naprav se nahajajo zaradi uporabe klora in drugih halogeniranih spojin pri onesnaževalcih (kopališča, živilska industrija, itd.), ki se zaznajo npr. kot AOX (adsorbirajoče organske halogenske spojine) in so škodljive za zdravje. Obravnavajo se kot podskupina kemične potrebe po kisiku.

Dušikove spojine (DS) lahko pri prekoračitvi razmerja hranilnih snovi (po Liebigovem zakonu minimuma, kjer je $N : P = 7 : 1$), posebej v stoječih ali počasno pretočnih vodotokih, vodijo do evtrofikacije.

Amonij skozi nitrifikacijo obremenjuje ravnovesje kisika v vodotoku.

Amonijak in nitrit delujeta v odvisnosti od koncentracije, pH vrednosti, temperature itd. Škodljivo vplivata na vodne organizme.

Nitrat lahko skozi obrežno filtracijo vpliva na kakovost podtalnice oz. pitne vode.

Fosfor povzroča v počasnih pretočnih ali stoječih vodotokih pospešeno rast vodnih rastlin in alg (evtrofija). 1 g fosforja (P) v vodotoku lahko povzroči sekundarno obremenitev s 150 g BPK_5 v vodotoku.

Trdni delci/suspendirane snovi (TSS) v obliki usedlin in primesi vplivajo na življenjsko združbo v vodotokih.

2.2 Uporaba filtracije

Filtracija se po svetu uporablja na področju čiščenja odpadnih voda na več načinov. »Groba filtracija« se uporablja v fazi predhodnega čiščenja. To so različni kontinuirni mrežasti filtri, ki odstranjujejo iz odpadne vode grobe delce. Navadno so polžaste izvedbe. Filtracija se lahko uporablja tudi kot »terciarna« obdelava biološko očiščenih odpadnih voda. Pri tem bi posebej izpostavila uporabo membranskih filter modulov pri čistilnih napravah z MBR tehnologijo. V teh čistilnih napravah so navadno membranski filter moduli potopljeni neposredno v biološki reaktor, zato ne obstaja posebna, ločena stopnja »terciarnega« čiščenja. »Terciarno«

čiščenje vršijo membrane, ki so potopljene v biološki reaktor na katerem se vrši »sekundarno« čiščenje. Definicija »terciarno« čiščenje ni popolnoma enoznačno določena in je uporabljena v različnih kontekstih ter tako v slovenskem prostoru pomeni postopek čiščenja odpadne vode, s katerim se dosega eliminacija dušika in fosforja oz. na področju Nemčije in Avstrije kot dodatna obdelava že biološko prečiščene odpadne vode z vključitvijo odstranjevanja suspendiranih snovi oz. poliranje iztoka. Magistrsko delo obravnava slednje.

2.3 Sestava suspendiranih snovi v iztoku čistilnih naprav

Pri suspendiranih delcih v iztoku sekundarnega usedanja gre za strukturirane ostanke flokul, koloidov ali fino razpršenih delcev obogatenega blata, kakor tudi za živeče in mrtve mikroorganizme (70 % glede na vsebnost suhe snovi). Anorganski del znaša 30 % in sestoji predvsem iz hidroksidov silicija, aluminija in železa. Raziskave Bollerja (Boller, 1988) kažejo, da povzročajo delci velikosti 10 – 100 μm ca. 80 % mase delcev v iztoku čistilnih naprav. Ostanke flokul aktivnega blata ležijo v območju velikosti med 10 in 30 μm . Večji delci blata so lahko premera tudi do 300 μm . Gostota znaša ca. 1,01 do 1,02 g/l.

Na splošno lahko rečemo, da trdni delci iz iztokov sekundarnega usedanja komunalnih čistilnih naprav v odvisnosti biološke faze (postopek, obremenitev itd.), kakor tudi sestave surove odpadne vode, izkazujejo naslednje deleže skupnih parametrov oz. hranilnih snovi (Rosenwinkel, 1997):

- 0,8 – 1,6 g KPK/g vsebnosti TSS,
- 0,3 – 1,0 g BPK₅/g vsebnosti TSS,
- 0,015 – 0,5 gTP/g vsebnosti TSS (višja vrednost velja za simultano obarjanje in bio-P),
- cca. 10 g N/g vsebnosti TSS.

Glede na kemično sestavo so omembe vredni še:

- delež AOX, ki znaša cca. 200 mg AOX/kg vsebnosti SS in
- nekatere težke kovine:
 - 5 mg Cd/kg vsebnosti TSS,
 - 500 mg Cu/kg vsebnosti TSS,
 - 100 mg Cr/kg vsebnost TSS,
 - 200 mg Pb/kg vsebnost TSS.

Za higiensko sestavo iztočne vode so morebitni patogeni klici v aktivnem blatu posebnega pomena. V biološko očiščenih odpadnih vodah znaša število koliformnih klic ca. $10^4/\text{mL}$.

2.4 Vpliv suspendiranih snovi na upoštevanje mejnih vrednosti

Za mejne vrednosti v okviru predpisov upravljanja z odpadnimi vodami, ki veljajo v Sloveniji na osnovi direktive EU, so izračunani deleži ostankov onesnaženja, ki jih proizvedejo suspendirane snovi.

Preglednica 1: Deleži mejnih vrednosti, ki jih lahko povzročijo TSS iz iztoka naknadnega usedanja (Rosenwinkel, 1997).

Table 1: The shares of the limit values, which can be caused by TSS from the secondary clarifier (Rosenwinkel, 1997).

Parameter	Iz TSS na iztoku iz NU ⁽¹⁾	Zmogljivost čistilne naprave, izražena v PE							
		< 2000		≥ 2.000 < 10.000		≥ 10.000 < 100.000		≥ 100.000	
	mg/L	Mejna vrednost (mg/L)	Delež iz TSS (%)	Mejna vrednost (mg/L)	Delež iz TSS (%)	Mejna vrednost (mg/L)	Delež iz TSS (%)	Mejna vrednost (mg/L)	Delež iz TSS (%)
KPK	16 – 32	150	11 – 21	125	13-26	110	15-29	100	16-32
BPK ₅	6 – 20	30	20 – 67	25	24-80	20	30-100	20	30-100
TN	cca. 2	-	-	18 ⁽²⁾	11	15	13	10 ⁽²⁾	20
TP	0,3 – 1,0	-	-	3	10-33	2	15-50	2	15-50

⁽¹⁾ Iztok - naknadno usedanje ca. 20 mg vsebnost TSS/L (pri dimenzioniranju po ATV 131) (ATV-DVWK, 2000).

⁽²⁾ TN anorgansko, nanj ne vpliva neposredno TSS.

– Ni podatka

Kot vsebnost ostanka suspendiranih delcev je bilo predpostavljeno 20 mg TSS/l, ki bi bili prisotni v iztoku sekundarnega usedalnika, dimenzioniranega v skladu z A 131 (ATV-DVWK, 2000). Povečano izločanje suspendiranih delcev nastopi, ko se iz sekundarnega usedanja izteka več kot 50 mg TSS/l. Ta povečan izpust flokul lahko povzročijo številni vzroki, kot so višje hidravlične obremenitve, neustrezne globine reaktorjev ali slabo sedimentiranje aktivnega blata. Pogosto se dogaja, da sekundarni usedalniki ne zmorejo v zadostni meri zagotoviti zadržanja suspendiranih snovi, kar se pokaže posebno v času intenzivnih padavin, ko lahko količine suspendiranih snovi dosežejo tudi trikratnik koncentracij, ki so običajno prisotne v suhih vremenskih pogojih. Zaradi povečanega preliva suspendiranih snovi iz sekundarnega usedalnika se povečajo koncentracije KPK, BPK₅ in fosforja v iztoku iz čistilne naprave (Panjan, 1997).

Posebej za parametra BPK₅ in skupni fosfor je značilno, da lahko povzročita presežek dovoljenih mejnih vrednosti. Zato je za doseganje višje kakovosti iztoka pomembno zadržati čim višji delež suspendiranih snovi.

2.5 Vpliv suspendiranih snovi na vodotoke

Za ponazoritev velikosti vsebnosti suspendiranih delcev, kakor tudi izbranih kemičnih parametrov v tekočih vodah, so bile v Nemčiji (Rosenwinkel, 1997) izvedene primerjalne meritve v obliki naključnih poizkusov, katerih vrednosti se nahajajo v Preglednici 2. Iz Preglednice 2 je razvidno, da se vsebnosti suspendiranih snovi nahajajo v spodnjem območju koncentracije iztokov iz bazenov sekundarnega usedanja. Pričakujemo lahko, da primese v vodotokih s spiranjem mineralnih snovi, npr. pri deževnem vremenu, izkazujejo višji anorganski delež kot suspendirane snovi, ki iztekajo iz sekundarnega usedanja. Merilne vrednosti teh vodotokov v ravninskem delu so izkazovale pretežen del organske suhe snovi (oSS), in sicer med 60-80 %.

Preglednica 2: Vsebnost suspendiranih snovi in nekateri kemični parametri na primeru različnih vodotokov (Rosenwinkel, 1997).

Table 2: Suspended matter contents and some chemical parameters on the example of various watercourses (Rosenwinkel, 1997).

Vodotok/ reka	Q	TSS	oSS	KPK	BPK ₅	TP	Kvalitetni razred
	m ³ /s	mg/L	%	mg/L	mg/L	mg/L	-
Johannisgraben pred CČN	0,078	11,5	57	32	2,2	1,22	II
Johannisgraben za CČN	0,155	5	60	26	2	1,13	II
Leine	37,7	7,5	67	11,9	4,5	1,3	II – III
Wakenitz	5,3	10,9	66	26,2	7,1	0,132	II
Elbe - Laba (Oortkaten)	193 - 1.290	37,6	41	Ni podatka	Ni podatka	Ni podatka	III
Elbe - Laba (Hamburg)	1,13	10 - 100	35	Ni podatka	Ni podatka	Ni podatka	III

Pozitiven vpliv filtracije se kaže na primeru CČN Johannisgraben. Pri tem pretočno slabem usedalnem delu reke se pretok skozi dovod čistilne naprave podvoji. Nizka vsebnost suspendiranih delcev v iztoku filtracije vodi v tem primeru k znižanju vsebnosti suspendiranih snovi v vodotoku, in sicer po iztoku iz čistilne naprave v vodotok. Zaradi visoke pretočne hitrosti v ostalih vodotokih ni pričakovati neposrednega usedanja suspendiranih snovi iz iztoka čistilnih naprav.

V primeru povečanega dotoka suspendiranih snovi iz sekundarnega usedalnika se povečajo koncentracije KPK, BPK₅ in fosforja v iztoku iz čistilne naprave. Posebno težavo pri tem predstavljajo povišane koncentracije hranil v vodotoku, ki sprejema očiščeno vodo iz čistilne naprave. Povišane koncentracije fosforja in nitritov vodijo k nezaželeni evtrofikaciji vodnega telesa, saj večja količina hranilnih snovi omogoči hitro razmnoževanje alg, natančneje modrozelenih cepljivk (Štirn, 2010), ki prerastejo površino vodnega telesa. Ta množica alg tudi množično odmira in ob bakterijski razgradnji odmrlega organskega materiala se intenzivno porablja kisik. To povzroči ponoči znižanje koncentracije kisika v vodotoku pod 4mg/L, kar postane nezadostno za preživetje drugih organizmov (žuželk, rib ipd.). Njihovo odmiranje še pospeši evtrofikacijo. Prav tako v skladu z ATV- delovno skupino 2.1.2 (1991) vplivajo suspendirane snovi na življenjsko skupnost v vodotokih, ker delujejo kot neposreden parameter škodljivih snovi zaradi zgoščanja substratov in tudi kot nosilec škodljivih snovi, kot so npr. težke kovine in PCB (poliklorirani bifenili), ki so preko hranilne verige škodljivi. Pri sunkovitem dovajanju suspendiranih snovi se lahko pojavijo škodljivi vplivi predvsem pri ribah, zlasti v času drstenja, in pri filtrirajočih organizmih. Usedline lahko zapolnijo hiporheične medprostore, in tako uničijo pomemben življenjski prostor. Te procese je potrebno v največji meri preprečiti.

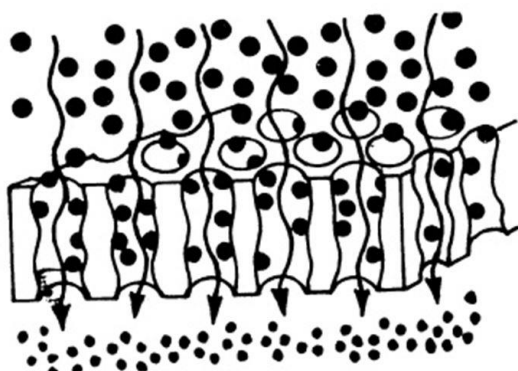
2.6 Teoretične osnove filtracije

2.6.1 Splošno o filtraciji

Filtracija je že zelo dobro raziskan proces, ki se po navadi uporablja pri obdelavi pitne vode. Je proces, ki se uporablja za mehansko čiščenje voda in je definiran kot ločevanje mešanice delcev iz tekočine tako, da vsa tekočina prehaja skozi pore (Kompore, 2006). Filtrirni medij je ovira, ki omogoča, da tekočina prehaja, vendar se zadrži večina suspendiranih delcev. Filtrni medij je lahko pesek, sito, tkanina, papir ali sintetična membrana. Tekočina, ki teče skozi filtrirni medij, se imenuje filtrat.

V primeru filtracije vode je izbira ustreznega procesa filtracije odvisna od količine prisotnih delcev, velikosti delcev, od ostalih parametrov vode, kakor tudi od namena, za katerega se bo uporabljala filtrirana voda - filtrat. V procesu filtracije je pomembno, da ločimo med:

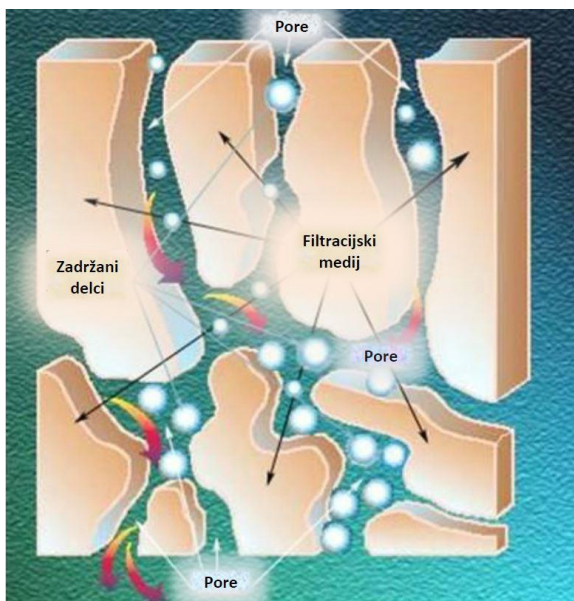
- površinsko filtracijo, pri kateri so pore filtrirnega sloja (na splošno zelo majhne) bistveno manjše od premera delcev, ki jih je potrebno odstraniti iz tekočine. V tem primeru, kot je prikazano na Sliki 1, se delci zadržijo s sejanjem neposredno na površini filtrirnega medija - sita. Ta površinska sejalna filtracija je zelo občutljiva na prehajanje delcev skozi prednostne poti. Še več, povzroči lahko preboj delcev, če pride do razpoke filtrirnega medija;
- globinsko filtracijo, pri kateri je filtrirni sloj bolj gost, kot so majhne pore, ki so enake ali celo večje od premera delcev, ki jih je potrebno zadržati. V tem primeru so poleg neposrednega sejanja na delu še drugi mehanizmi filtracije, kot sta inercialni udar in difuzijsko prestrezanje. Najbolj poznan tehnološki mehanizem globinske filtracije pri katerem se zadržijo finejši delci kot je velikost por pa je adsorpcija. Zaradi vseh teh pojavov se trdni delci ujamejo v pore filtrirnega medija. Takšni filtri lahko zadržijo delce, ki so veliko manjši od por filtrirnega medija, kot je prikazano na Sliki 2.



Slika 1: Princip površinske filtracije (TI NFPA, 2010)

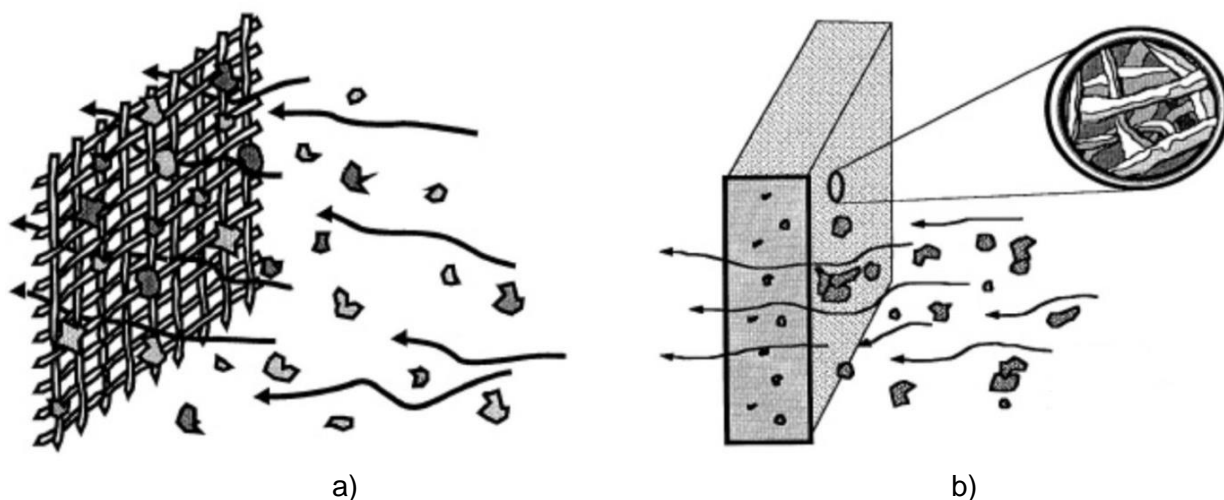
Figure 1: Principle of surface filtration (TI NFPA, 2010)

Pri uporabi filtrirnih elementov polimernih ali keramičnih membran se delci zadržijo na površini membrane. Zato se membranska filtracija razume kot površinska filtracija glede na zgornjo razvrstitev.



Slika 2: Princip globinske filtracije (Andreu, 2009)
Figure 2: Principle of depth filtration (Andreu, 2009)

Najbolj značilen primer globinske filtracije so peščeni filtri. Primerjava površinske in globinske filtracije je prikazana na Sliki 3a in 3b.



Slika 3: Primerjava površinske in globinske filtracije (TI NFPA, 2010)

- a) površinska filtracija
- b) globinska filtracija

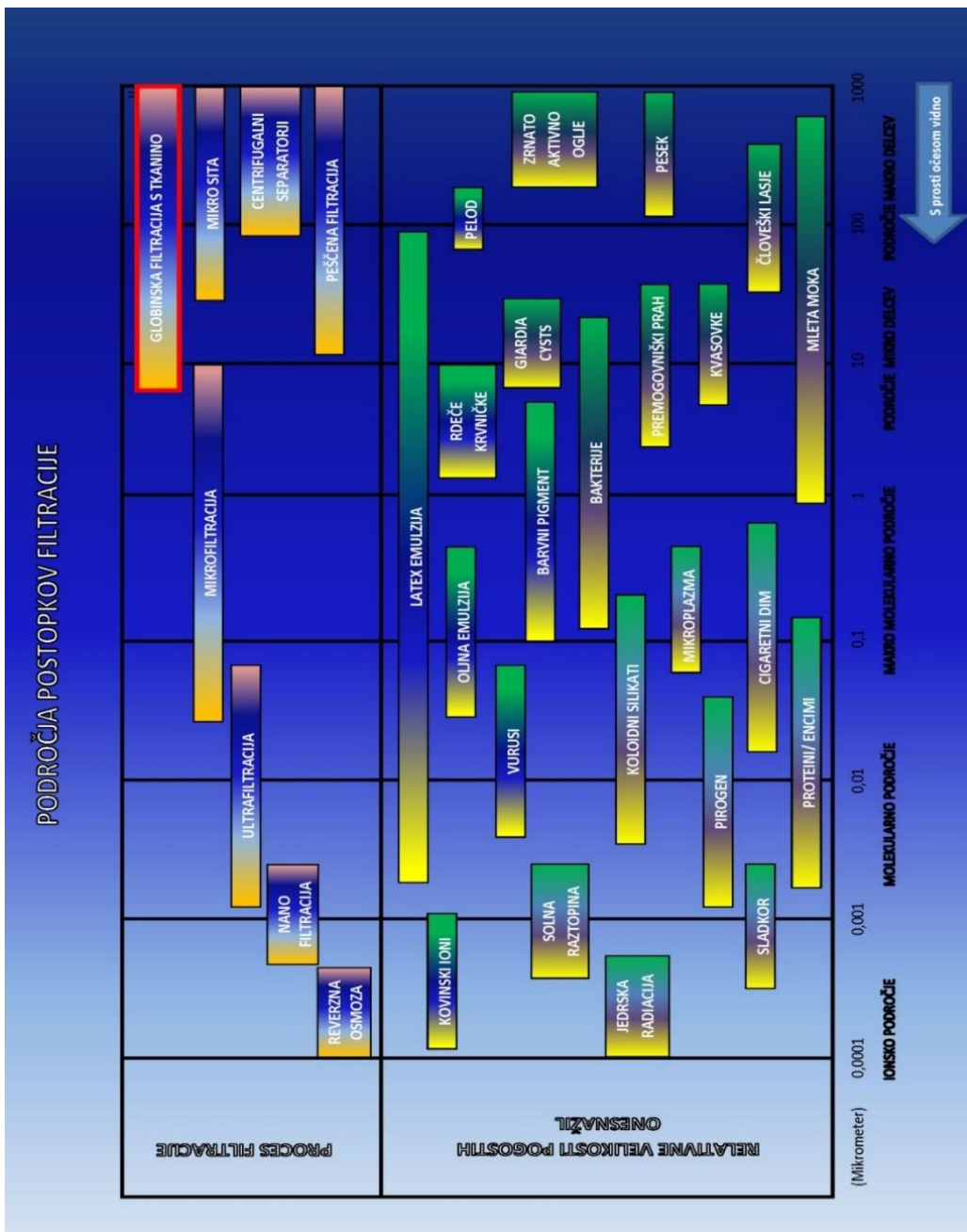
Figure 3: Comparison of surface and depth filtration (TI NFPA, 2010)

- a) Surface filtration
- b) Depth filtration

Kot je bilo že omenjeno, je filtracijska tehnika že dalj časa poznana tehnologija s področja priprave pitne vode. Prvi večslojni filtri, v obliki vrstno vključenih filtrirnih bazenov z različnimi filtrirnimi materiali, so bili postavljeni že leta 1804 in 1848 na Škotskem. Večslojni filtri v današnjem načinu izvedbe so začeli obratovati leta 1960 v Hanfordu (ZDA) in v Evropi leta 1967 v Sipplingenu (kremen/aktivno oglje) za filtracijo rečne vode.

Za čiščenje odpadnih voda so v Angliji v uporabi že več kot 30 let pretežno pretočni odprti hitri filtri kot tretja - »terciarna« faza čiščenja (Wikipedija, 2013). Prvi nemški filter za odpadne vode je pričel obratovati konec leta 1977 v Darmsheimu (10.000 PE). Od takrat je razvoj tehnologije filtracije odpadnih voda bistveno napredoval. Z dodatnimi možnostmi flokulacijske filtracije (npr. za odstranjevanje fosforja) in biološko bolj intenziviranega delovanja za (ostanek) nitrifikacije in (ostanek) denitrifikacije so se lahko možnosti uporabe filtracije bistveno razširile.

Postopki filtracije so razdeljeni glede na velikost izločenih delcev in področja uporabe, kot je prikazano na Sliki 4.



Slika 4: Postopki filtracij (Uni-flo, 2014)

Figure 4: Processes of filtrations (Uni-flo, 2014)

V filtraciji se uporabljajo tudi filtracije s pornimi membranami, ki delujejo na podoben način kot sito, medtem ko se pri nanofiltraciji in reverzni osmozi uporabljajo razprševalne membrane, ki delujejo ionsko selektivno. Z nanofiltracijo se lahko zadržujejo dvo- in večvalentni ioni. Reverzna osmoza ločuje iz vode vse vsebovane snovi.

2.6.2 Filtracijski mehanizem

Sejanje je fizikalni postopek, pri katerem se zadržijo delci, ki so večji, kot so odprtine sita. Pri filtraciji s pomočjo kemično-fizikalnih mehanizmov se zadržijo tudi delci, ki so manjši od filtracijskih por. V skladu z DIN 4046 (DIN 4046, 1983) je s filtracijo razume odstranjevanje snovi iz tekočih suspenzij pri prehodu skozi zrnate ali porozne materiale. Razlikujemo med ločilno filtracijo, pri kateri se pridobi trdna snov, in čistilno filtracijo, pri kateri je cilj čim bolj čisti filtrat.

Filtracijski efekt v bistvu temelji na sledečih postopkih:

- transport, ki je odvisen od hidravličnih in fizikalnih dejavnikov,
- vezava, ki je kemično-fizikalni proces (delno tudi biološki).

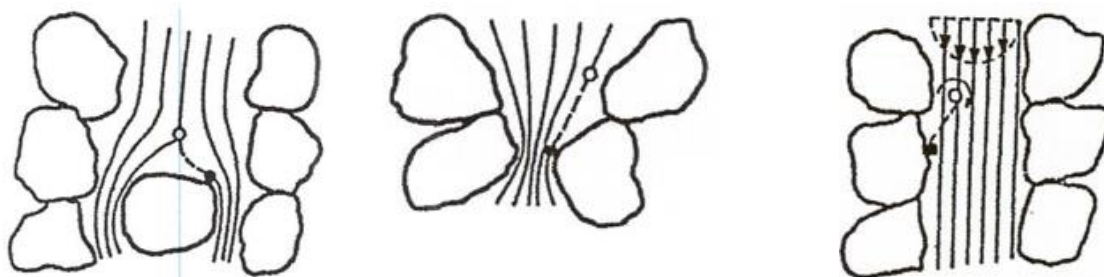
Tretja komponenta je odcepitev, ki jo povzroči strižna sila. Ker vsi trije mehanizmi delujejo hkrati, je izračun filtracijskega toka zelo zahteven (Sontheimer, 1971). Pri opazovanju hidravličnih procesov v filtru pogosto izhajamo iz tega, da je tok laminaren. Pri modernih filtrih z grobimi zrni in visokimi filtrirnimi hitrostmi je lahko tok v enem delu por še laminaren, v drugem pa že turbulenten. Kvantitativno to spoznanje le malo vpliva na delovanje filtra, dokler se filtracijska hitrost nahaja v običajnih območjih (v_f). Stanje toka (laminaren ali turbulenten) pa ima po eni strani vpliv na izgubo tlaka v filtru, kateri je pri turbulenci proporcionalen kvadratu, pri laminarnem toku pa neposredno hitrosti toda, po drugi strani pa ima vpliv na pogostost kontakta med delci in filtrirnim zrnom, ki je pri turbulenci večji, kar lahko vodi do izboljšane vezave.

2.6.2.1 Transport delcev

Transportni mehanizmi se lahko razlikujejo, kot sledi na Slikah 5 in 6 (Dohmann, 1975)

a. Glede na princip gibanja vode (Slika 5):

- Zajem z razcepom,
- Zajem z zoženjem,
- Translacija (vzporedni premik) skozi strižno polje toka.



Zajem z razcepom

Zajem z zoženjem

Translacija skozi strižno polje toka

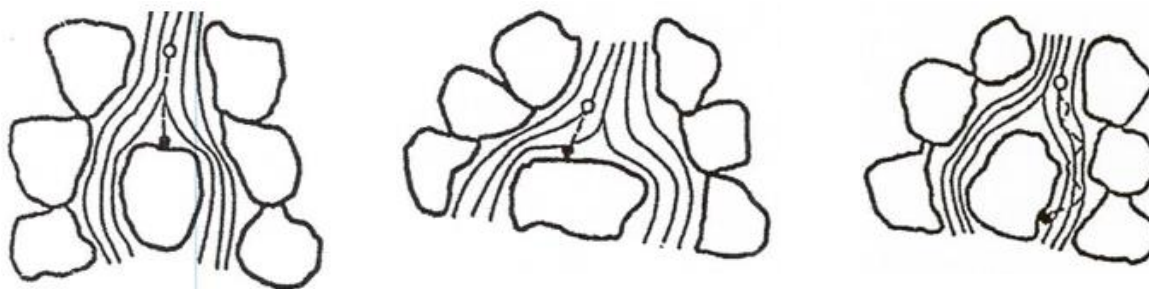
Slika 5: Transportni mehanizem na principu gibanja vode (Dohmann, 1975)

Figure 5: Transportation mechanism on the water movement principle (Dohmann, 1975)

S tokovnimi procesi se snovi vodijo do filtrirnega zrna. K temu se prišteva zajem z razcepom, pri katerem se z razcepom kanalov por tokovna vlakna razcepijo ali se zaradi zoženja por tokovna vlakna med dvema filtrirnima zrnoma povežejo, tako da delci prispejo v bližino filtrirnega zrna. Translacija se pojasni s hidrodinamičnim efektom. V profilu laminarnega toka se zaradi parabolične razdelitve hitrosti proizvede rotacijsko gibanje delcev.

b. Glede na princip gibanja delcev (Slika 6):

- Usedanje,
- Pospeševanje oz. disperzija,
- Difuzija – Brownovo (molekularno) gibanje.



Usedanje

Pospeševanje oz. disperzija

Difuzija

Slika 6: Transportni mehanizem na principu gibanja delcev (Dohmann, 1975)

Figure 6: Transportation mechanism on the particle movement principle (Dohmann, 1975)

Nadaljnji procesi transporta se odvijajo z lastno gibljivostjo delcev. Ustrezno - glede na razlike v gostoti delcev v pretakajoči se vodi - prejmejo navzdol usmerjen pospešek, in tako pride do usedanja. Ta efekt je pomemben pri večjih razlikah v gostoti oz. velikostih delcev. Na kosmiče aktivnega blata bi to npr. vplivalo šele pri velikosti delcev $> 100 \mu\text{m}$. Delčki premera $< 1 \mu\text{m}$ se transportirajo z Brownovim (molekularnim) gibanjem na površino filtrirnega zrna (Rosenwinkel, 1997). Ker ta mehanizem ne deluje vezano na smer, je potrebno delce privedi v bližino filtrirnega zrna s pomočjo drugih transportnih procesov. Nadaljnji transportni proces temelji na disperziji, ki ima na podlagi viskoznosti vode manjši pomen.

Pojav zajetja in usedanja imata za delce $\geq 3 \mu\text{m}$ bistven vpliv, medtem ko je difuzija odločilna za nalaganje delcev $< 1 \mu\text{m}$ (Rolke, 1971). Učinkovitost filtracije zrnatega filtra je potemtakem za delce $1 - 3 \mu\text{m}$ najnižja. Raziskave Bollerja (Boller, 1988) so pokazale, da se

v očiščeni odpadni vodi nahaja nad 80 % suspendirane mase s trdnimi delci v velikost med 1 μm in 100 μm . Ostanki kosmičev obogatenega blata ležijo v območju velikosti med 10 μm in 30 μm , tako da imajo mehanizmi zajetja in usedanja za konvencionalno filtracijo odpadnih voda največji učinek.

2.6.2.2 Vezava delcev

Vezavo delcev ločimo po čistem učinku sita oz. membrane, ki pri globinskih filtrih nima velikega pomena (Rosenwinkel, 1997).

Učinek »sejanja« se izvaja, kot sledi:

- Delci so večji od premera velikosti por, kar pri sodobnih globinskih filtrih ni več v navadi,
- Koncentracija delcev je tako velika, da se delci pri izstopanju skozi poro medsebojno režejo (učinek silosa),
- Majhni delci se ujamejo v vmesne prostore med filtrirnimi zrni, brez da bi se naložili na zrno. Ta mehanizem nima večjega pomena.

2.6.2.3 Odcepitev delcev

Po vezavi lahko preidejo delci glede na trdnost in vezavo zaradi strižnih sil, ki jih izvaja tok, ponovno v suspenzijo. Vežejo se bodisi globlje v filtrirno posteljo ali se v bolj neugodnem primeru raznesejo, tako da se zaradi tega poslabša kakovost filtrata (t.i. preboj).

2.6.2.4 Adsorpcija

Adsorpcijo (Slika 7) omogočajo naslednje fizikalne privlačne sile med delci in aktivno površino (Drev, 2004)

- Disperzijske sile (D – sile ali Van der Waalove sile)
- Sile med dipoli (O – sile)
- Indukcijske sile (I – sile)
- Vodikove vezi (H – sile)
- Kapilarne kondenzacija

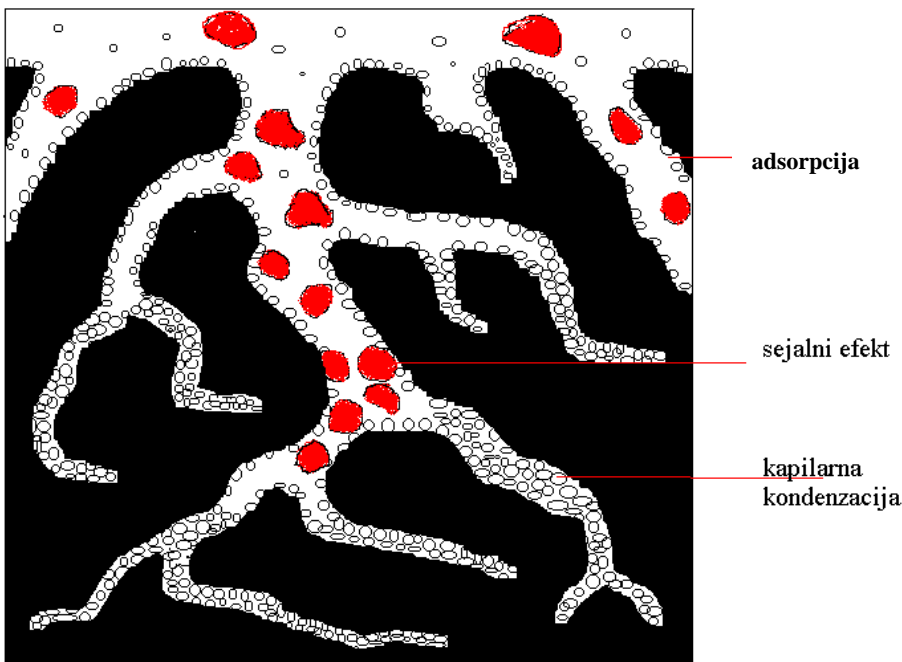
Disperzijske sile (D – sile), ki jih pogosto imenujemo Van der Waals – ove sile, so neusmerjene in delujejo na kratke razdalje (Seyfried, 1991). Te sile niso odvisne od temperature.

Sile, ki delujejo med dipoli (O – sile) so usmerjene. Pojavljajo se poleg D sil v primerih, ko imajo molekule polarne atomske skupine. Delujejo na večje razdalje in so močno odvisne od temperature. Zaradi toplotnega gibanja se dipoli dezorientirajo, kar povzroči slabljenje privlačnih sil.

Indukcijske sile (I – sile) se pojavljajo pri deformaciji elektronskega oblaka z električnim poljem atomske skupine, posebno zaradi delovanja dipola. Os inducirane dipola je gibljiva, zato niso temperaturno odvisne.

Vodikove vezi (H – sile) so močno usmerjene privlačne sile med molekulami. Pojavijo se poleg disperzijskih in dipolnih sil, kadar imajo molekule atomske skupine z rahlo vezanim aktivnim vodikom. Vodikova vez nastane, kadar pride H atom med dva močno elektro negativna atoma kot na primer: $-O-H \quad \dots\dots O-$

Te privlačne sile se lahko kažejo navzven kot pozitivni ali negativni elektro – kinetični potencial (zeta potencial) ali v drugi obliki. O zeta potencialu govorimo predvsem pri filtraciji vina in piva. Površinsko aktivni material ima pozitivni elektro – kinetični potencial. Molekule, ki jih adsorbiramo (bakterije, itd.) imajo negativni elektro – kinetični potencial. Adsorbirana plast je praviloma enomolekularna, zato zahtevamo od adsorbenta izredno veliko aktivno površino. Pri aktivnem oglju mora biti vsaj $1000 \text{ m}^2/\text{g}$ aktivne površine. Podobne zahteve veljajo tudi za druge površinsko aktivne materiale (diatomejska zemlja, azmest, itd.).



Slika 7: Prikaz zadrževanja delcev na aktivnem oglju z adsorpcijo (Drev, 2004)

Figure 7: Display of particle retention on activated carbon with adsorption (Drev, 2004)

Adsorpcijski potencial je odvisen od vrste filtrnega medija in od snovi, ki se filtrira

$$E = k \cdot V_s \left[\left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right)_s - \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right)_l \right]_e \quad (1)$$

Kjer pomenijo:

- E adsorpcijski potencial [J]
- K konstanta [J]
- V_s molekularni volumen onesnaževala [cm^3]
- n refrakcijski indeks [J]

$$t = \frac{N_0}{C_0 V} \left[X - \frac{V}{k \cdot N_0} \ln \left(\frac{C}{C_0} - 1 \right) \right] \quad (2)$$

Tu pomenijo:

- t čas pretoka [min]
- N_0 adsorpcijska kapaciteta [/]
- C_0 koncentracija p onesnaževala na dotoku [g/L]
- C koncentracija p onesnaževala na iztoku [g/L]
- X debelina sloja [mm]
- V linearno pretočno razmerje [/]
- K adsorpcijska konstanta [/]

S pomočjo Kelvinove enačbe se lahko določi mikro – porozno strukturo:

$$D_p = \frac{4 \cdot \sigma \cdot V \cdot \cos \theta}{RT \cdot \ln \frac{P}{P_0}} \quad (3)$$

Tu pomenijo:

- D_p premer por [mm]
- σ površinska napetost adsorbirane vode [J/m²]
- V molarni volumen adsorbirane vode [cm³]
- θ kot med ogljem in vodo [rad]
- R plinska konstanta [J/(mol K)]
- T absolutna temperatura [° K]
- P tlak vodne pare [bar]
- P_0 tlak zasičene vodne pare [bar]

Različni substrati imajo različne sposobnosti vezanja nečistoč. Po Freundlichu se lahko izračuna količina adsorbirane substance po sledeči formuli:

$$A = A_0 \cdot C^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

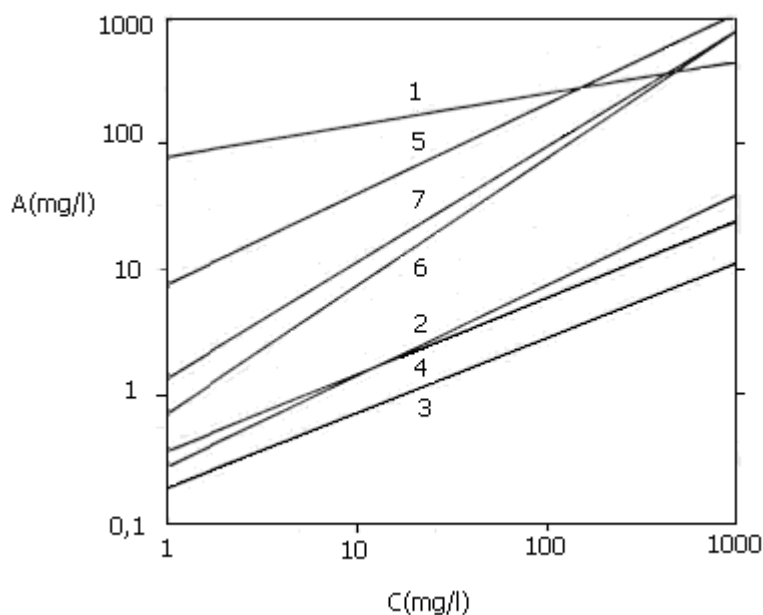
Tu pomenijo:

- A adsorbirana količina substance [mg/g]
- A_0 , $1/n$ karakteristične vrednosti za posamezne materiale [mg/g]
- C ravnotežna koncentracija [mg/L]

Preglednica 3: Adsorpcijske karakteristične vrednosti za posamezne vrste materialov (Drev, 2004)

Table 3: Adsorption characteristic values for individual types of materials (Drev, 2004)

Zap. št.	Adsorbent	pH	C [mg/L]	A [/]	1/n
1	aktivno oglje	7,0	10	78,60	0,27
2	diatomejska zemlja	7,0	10	0,33	0,62
3	glina	7,0	10	0,18	0,61
4	aluminijev hidroksid	7,0	10	0,27	0,73
5	<i>Bacillus subtilis</i>	7,0	25	8,92	0,68
6	bakterijska združba iz ČN	7,0	25	0,89	0,96
7	<i>E. coli</i>	7,0	25	1,28	0,80



Slika 8: Prikaz sposobnosti zadrževanja tenzidov na materialih iz predhodne tabele (Drev, 2004)

Figure 8: Display of the retention ability of surfactants on the materials from the previous table (Drev, 2004)

2.6.3 Matematični opis filtracijskega procesa

Filtracijski proces se opiše s spreminjanjem koncentracije suspendiranih delcev oz. s spremembo vezave v filter ali s praktičnim opazovanjem naraščajoče izgube tlaka. Za matematično modeliranje filtracijskega postopka služi sistem treh povezanih diferencialnih enačb (Hahn, 1971), kot sledi v nadaljevanju.

Masna bilanca - tukaj so izenačeni delci v dotoku v filter in delci, ki se vežejo in so trdni v filtru, pri čemer se predvideva, da noben delec ne zapusti filtra. Tako se vsi delci opredelijo kot zmožni za filtracijo.

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} + \frac{v_f \partial C}{\partial z} = 0 \quad (5)$$

- σ obremenitev filtra [/]
- V_f filtrirna hitrost [m/s]
- C koncentracija snovi, ki se filtrira [g/m³]

- z debelina filtrnega medija [m]
- t čas [s]

Predpostavke:

Difuzija ni pomembna.

Poroznost filtra je nespremenjena.

Glavna količina delca je vezana.

Kinetična enačba s koeficientom za pojmovanje verjetnosti vezave:

$$\frac{\partial C}{\partial z} = -\lambda C \quad (6)$$

- λ konstanta filtra [1/m]
- C koncentracija snovi, ki se filtrira [g/m³]
- z debelina filtrnega medija [m]

Predpostavke:

- Delci ne reagirajo drug z drugim.
- Začasno vezani delci zaradi vezave oz. cepljenja niso upoštevani.
- Verjetnost vezave neodvisno od koncentracije snovi, ki se filtrira.
- Ni spontanega rezanja.
- Veljavnost poenostavljene masne bilance.

Vsi filtracijski modeli slonijo na isti masni bilanci snovi in kinetični energiji. Bistvena razlika je v opisu verjetnosti vezave. Pomemben dejavnik je filtrirna konstanta, ki je odvisna od naslednjih spremenljivk:

$$\lambda = \text{Funkcija} (d_k^{-1} \text{ do } d_k^{-3}; d_s^0 \text{ do } d_s^2; v_f^{0,3} \text{ do } v_f^{-1,56}; II^{0,5} \text{ do } II^{-2}) \quad (7)$$

- λ filtrirna konstanta [1/m]
- d_k premer zrna (velikost odprtina) [mm]
- d_s premer trdnega delca [mm]
- v_f filtrirna hitrost [m/s]
- II poroznost filtra [/]

Za opis filtrirne konstante λ so postavljeni trije empirični modeli z različnim številom parametrov. Model z enim parametrom (Rosenwinkel, 1997) izkazuje upadanje verjetnosti vezave z naraščajočo obremenitvijo filtra. Model z dvema parametroma izkazuje isto odvisnost, pri čemer dve konstanti služita za prilagajanje. Ives (Ives, 1961) je postavil model s tremi parametri, pri čemer nastopita dve fazi spremembe verjetnosti vezave:

- začetni porast delovanja filtra in
- kvadraten upad delovanja filtra v odvisnosti od obremenitve.

Izguba tlaka - pri tem se vzpostavi odnos med obremenitvijo filtra in iz tega izhajajoče izgube tlaka:

$$\frac{\partial h}{\partial h_0} = \frac{1}{(1+a\epsilon)^b} \quad (8)$$

- ϵ obremenitev filtra [/]
- h, h_0 sprememba izgube tlaka in izguba tlaka pri prostem filtrirnem materialu [m]
- a, b konstante, ki se lahko prilagajajo

Z opisanimi filtrirnimi modeli se lahko pri poznani sestavi vode, ki jo je potrebno obdelati, ponazori potek koncentracij snovi v iztoku iz filtra.

2.6.4 Vrste pretoka

Pri ocenjevanju kapacitete filtra je poznavanje vrste pretoka pomembno. Po Dohmannu (Dohmann, 1975) se lahko podajo naslednje vrste pretokov.

- Pri *kratkostičnem pretoku* gre odpadna voda skozi izraziti kanal v iztok. Večji del filtrne postelje pri tem ni pretočen.
- Pri *laminarnem pretoku* tekočina enakomerno prodira čez filtrno posteljo. Idealna mešanica celotnega toka tekočine se takoj porazdeli čez celotno filtrno kapaciteto.

Tako kot kratkostični pretok pogojuje tudi pretok s stagnacijskimi conami slabo delovanje filtra. Tukaj pride do neenakomernega pretoka filtrne postelje, ki ga povzroči npr. zračna inkluzija v filtrnem materialu. V nadaljevanju lahko omenimo še mešanje – *turbulentni tok* v več celicah in pretok z difuzijo, ki delujeta samo na mikroobmočju. Poskusni rezultati (Dohmann, 1975) so pokazali, da vrsta pretoka leži med laminarnim pretokom in idealnim mešanjem. Visoke filtrirne hitrosti povzročajo prej laminarni pretok, medtem ko lahko s povečanjem konfiguracije filtra in pri nižji filtrirni hitrosti izhajamo iz turbulence.

2.6.5 Pregled kinetike biofilma

Da bi lažje sledili procesom v biološko intenziviranih filtrih, bomo v nadaljevanju podali pregled zgradbe biološkega rastja, mehanizmov prenosa snovi in najbolj pomembnih biokemičnih reakcij.

2.6.5.1 Nastanek in zgradba biofilma

Nastanek biofilma sledi v več korakih. Najprej v indukcijski fazi nastane prvi tanek filmski sloj iz bakterij, mikroorganizmov *Fungus hypha* in protozojev (praživali) na nosilnem materialu. Na to se potem v fazi akumulacije vežejo bakterije in trdni delci odpadne vode do trdote platoja, kjer se tvori konstantna debelina biofilma kot ravnotežje med rastjo bakterij in spiranja s tokom odpadne vode oz. drsenjem biofilma, pogojenim s težnostjo (Flemming, 1991)

V nadaljevanju bomo izhajali iz tega kvazistacionarnega stanja polnega razvoja biofilma. V osnovi je biofilm sestavljen iz treh faz, in sicer s komponentami (Panjan & Drev, 2009) kot sledi.

Tekoča faza:

Glavni delež biofilma sestoji iz vode (med 70 in 95 % vlažne teže), poleg tega so pomembne tudi v vodi topne snovi.

Matrika, ki tvori gel:

- organska masa sestoji pretežno iz ekstracelularnih polimernih snovi (EPS) - ca. 70-98 % organske suhe snovi,
- nadaljnji oblikovalci gela (glina, hidroksidi itd.).

Trdna faza:

- mikroorganizmi (5-25 % organske suhe snovi)
- odloženi partikularni material (npr. huminske snovi, glina, drugi minerali)
- substrati kot sorbirani ioni in nepolarne snovi

Pri biofilmih v reaktorjih odpadne vode se lahko dosežejo vsebnosti suhih snovi ca. 50 g/L. Debelina se lahko močno spreminja glede na specifične robne pogoje, pri čemer pri velikih strižnih silah znašajo samo nekaj μm , medtem ko so lahko pri hidravlično nižjih zahtevah debeli tudi nekaj centimetrov. Za zmanjšanje substrata je potrebna aerobna debelina biofilma, ki omogoča difuzijo kisika po celi globini in znaša 50-100 μm (ATV, 1985).

2.6.5.2 Mehanizmi prenosa snovi

V zadnjih 10-15-ih letih so bila na področju raziskovanja biofilmov s pomočjo teoretičnih in eksperimentalnih del dosežena bistvena nova spoznanja. Praktične raziskave so bile izvedene v večji meri na laboratorijskih reaktorjih ob natančno definiranih in ves čas kontroliranih pogojih. Prenos teh mikrobioloških osnovnih raziskav v inženirsko in tehnično prakso se zdi možen samo z omejitvami in pod določenimi predpostavkami.

Presnovni procesi v biofilmu so bistveno odvisni od transporta (advekcija, konvekcija, difuzija) udeleženih snovi (substrat, O_2 , $\text{NO}_3\text{-N}$, itd.) in kinetike pretvorbe substratov. (Harremoes, 1986) je izdelal model biofilma, ki obravnava transport in presnovo snovi kot dvodimenzionalni sistem, pri čemer so pomembni difuzijski procesi. Najnovejša spoznanja upoštevajo tudi konvekcijski transport, pri čemer biofilm ni več postavljen v »toge« sloje, temveč je bolj ali manj obravnavan kot »krznu« podobna tvorba, ki jo obravnavamo kot reaktor.

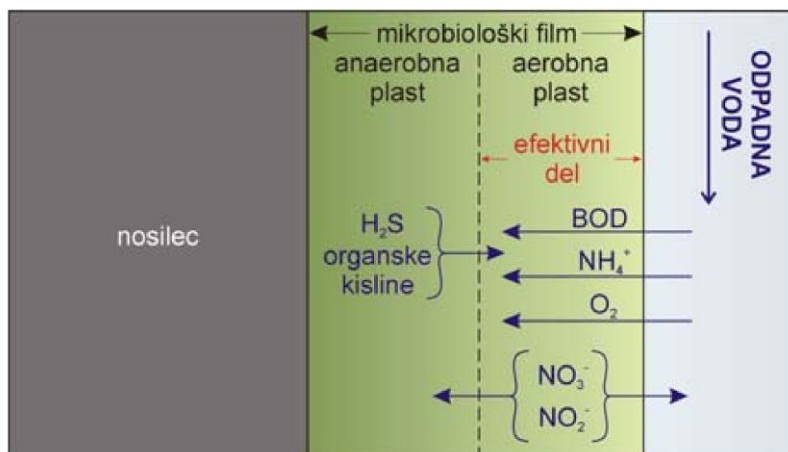
Ker mora biti predvsem pri trdnih biofilmih dvodimenzionalen način opazovanja v veliki meri točen, bodo v nadaljevanju na kratko opisani določujoči dejavniki reaktorja biofilma (Harremoes, 1986).

- a. Procesno-hidravlična razmerja reaktorja: gre za razmerja, ki so odločujoča za pretok in mešanje v reaktorju. Ta razmerja določajo vdiranje v biomaso.

- b. Presnova substrata biomase: v reaktorju biofilma se določi s skupnim delovanjem difuzije substrata iz tekoče faze, bakterijske presnovne kinetike in molekularne difuzije substrata v biofilm.
- c. Rast biomase: je posledica součinkovanja treh dejavnikov, in sicer presnavljanja substrata, rastne kinetike in procesno-hidravličnih razmerij, ki lahko pripeljejo tudi do odnašanja biomase. Rast biomase ima poleg tega velik pomen za hidravliko celotnega procesa, katera izhaja ravno iz tega dela.

Poznavanje kinetike biofilma je potrebno za polempirično (s povezovanjem hidravličnih in reakcijsko-kinetičnih oblog) ali mehanistično (z lokalnim opisom substratne bilance v kombinaciji z oblogami difuzije) modeliranje iztokov v biofilmu.

Na samem začetku rasti mikrobiološkega filma preko nosilca imamo sicer samo aerobno plast biofilma, ker je kisik povsod na razpolago. Vendar se pri metabolizmu substrata tvorijo novi mikroorganizmi, ki se nalagajo na prejšnje organizme. Nove celice začnejo tako prekrivati prvo plast, katera se kasneje spet prekrije z novimi celicami. S tem se biofilm razrašča, postaja debelejši, posledično kisik ne more več difundirati do spodnjih plasti in tako dobimo ob nosilcu anaerobni del biofilma. Splošna reakcija v takšnem biofilmu, ki je sestavljen iz aerobne in anaerobne plasti filma, je prikazana na Sliki 9.

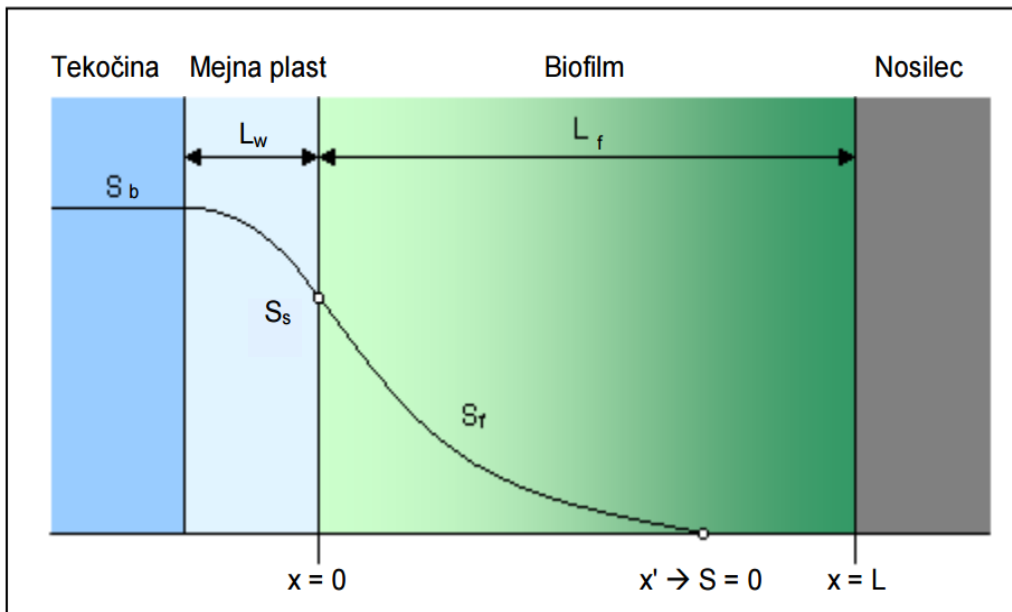


Slika 9: Shematski prikaz biofilma (Anžič, 2002)

Figure 9: Schematically depiction of biofilm (Anžič, 2002)

2.6.5.3 Difuzija

Raztopljena hranila (substrat) se iz odpadne vode v biofilm transportirajo z difuzijo. Hitrost difuzije substrata in kisika je linearno odvisna od koncentracijskih gradientov snovi. Tukaj so dejavniki, kot so debelina biofilma, obnovev mejnih površin in koncentracija snovi v mimo tekoči odpadni vodi zelo pomembni. Prenos snovi (substrata) v notranjost biofilma poteka v dveh fazah (Slika 10).



Slika 10: Prenos substrata v notranjost biofilma (Škerjanec, 2008)

Figure 10: Substrate transfer into the interior of biofilm (Škerjanec, 2008)

V prvi fazi prehajajo iz obdajajoče tekočine v zunanjo plast biofilma preko mejne plasti vode, v drugi pa se prenašajo skozi sam biofilm (Slika 10). Ker mikroorganizmi znotraj biofilma substrat porabljajo, je njegova koncentracija na površini biofilma (S_s) manjša kot v obdajajoči tekočini (S_b). Zato predpostavljamo, da prenos snovi med obdajajočo tekočino in površino biofilma poteka zgolj z difuzijo. Difuzijo substrata skozi biofilm lahko opišemo s Fickovim zakonom:

$$N = D \frac{dS_f}{dx} \tag{9}$$

- N pretok snovi v biofilm [g substrat/(m².d)]
- S_f koncentracija substrata v biofilmu [g substrat/m³]
- D koeficient difuzije substrata [m²/d]

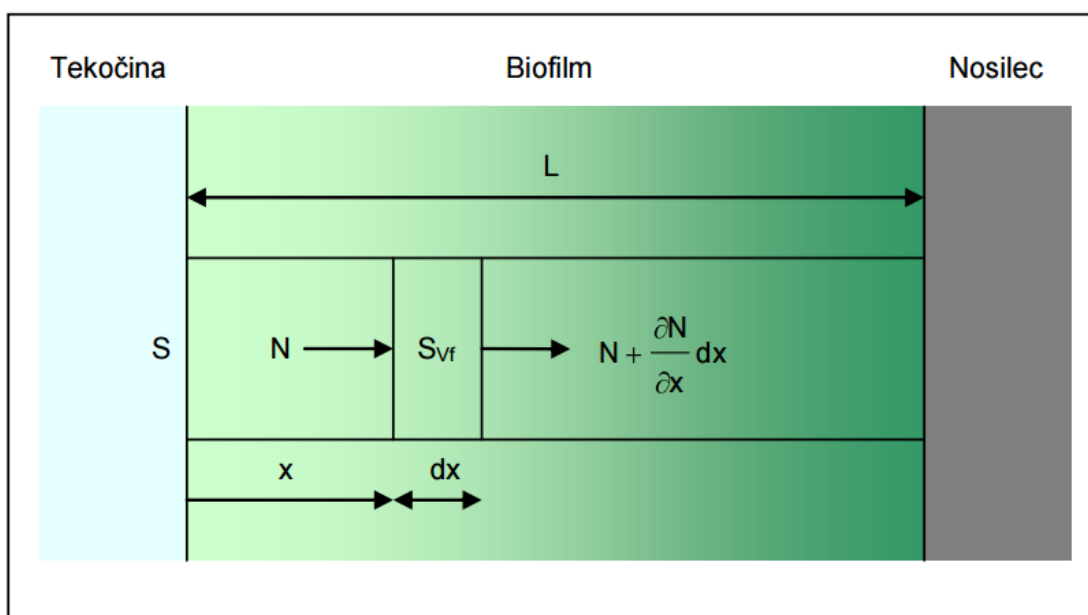
Nekateri pomembni difuzijski koeficienti za čiščenje odpadnih voda so prikazani v Preglednici 4. Razmerje D_f/D_w podaja zmanjšanje difuzijskega koeficienta čiste vode v primerjavi z biofilmom.

Preglednica 4: Difuzijski koeficienti snovi oz. skupin snovi (Flemming, 1991)

Table 4: Diffusion coefficients of substance or the groups of substances (Flemming, 1991)

	D	D_f/D_w
Snov	$10^{-4}(\text{m}^2/\text{d})$	(/)
Nespecificiran KPK	0,83	Ni podatka
Metanol	1,3	Ni podatka
Amonij	1,49	0,8
Nitrat	1,4	0,9
Kisik	1,5	0,7

Znotraj samega biofilma se poleg difuzije substrata odvijajo še biokemijski procesi pretvorbe snovi, pri katerih sodelujejo mikroorganizmi s svojim metabolizmom.



Slika 11: Opazovanje elementa v idealiziranem biofilmu (Škerjanec, 2008)

Figure 11: Observation of an element in the idealized biofilm (Škerjanec, 2008)

Za nek infinitezimalno majhen odsek idealiziranega biofilma (Slika 11) velja v stacionarnih pogojih naslednja bilančna enačba:

$v_{\text{hod}} = \text{izhod} + \text{reakcija}$

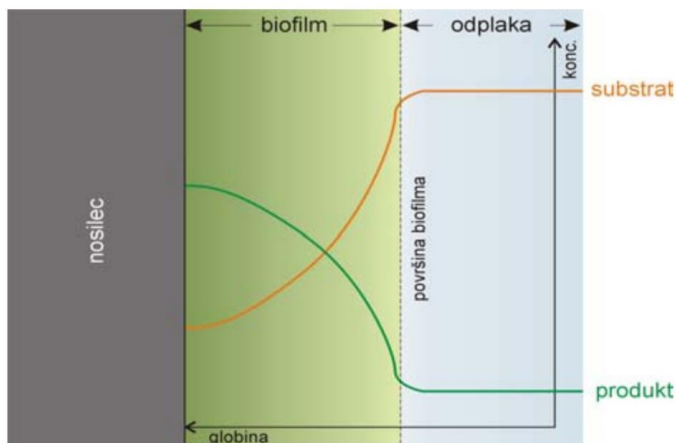
$$N = N + \frac{\partial N}{\partial x} dx + r_{\text{vf}} dx \quad (10)$$

- S koncentracija snovi zunaj biofilma [mg/L]
- D difuzijski koeficient [m^2/d]
- L debelina biofilma [mm]
- S_{vf} koncentracija raztopljenih snovi v biofilmu [mg/L]
- N pretok snovi skozi prečni prerez [$\text{g}/(\text{m}^2\text{dan})$]
- r_{vf} reakcijska hitrost na volumensko enoto biofilma [$\text{kg}/(\text{m}^3\text{dan})$]

Na začetku obraščanja sestavljajo biomaso predvsem bakterije, sledijo praživali, nato alge, po nekaj dneh pa še mnogoceličarji, in tako se formira celoten ekosistem v biofilmu. Višji kot je položaj mikroorganizma v ekosistemu in manjša kot je njegova hitrost rasti, kasneje se pojavi njegova rast. Hitrost rasti mikroorganizmov pa se zmanjšuje z debeljenjem biofilma.

Razgradnjo substrata tako lahko opredelimo s štirimi stopnjami (Slika 12);

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



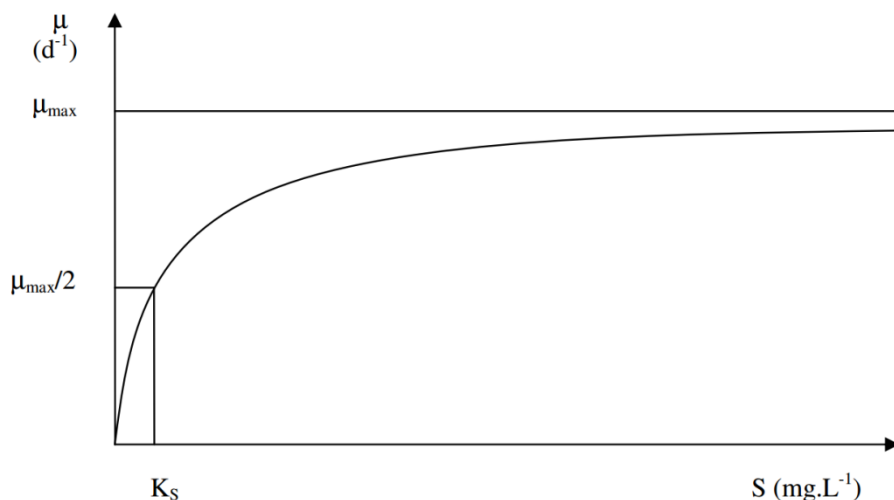
Slika 12: Shematski prikaz transporta substrata in produkta skozi biofilm (Anžič, 2002)

Figure 12: Schematically depiction of transfer of substrate and the product through the biofilm (Anžič, 2002)

2.6.5.4 Kinetika presnove substrata

Reakcije, ki potekajo v biofilmu, se lahko prikažejo s pomočjo Monodove kinetike oz. Michaelis-Mentenovega odnosa (Rosenwinkel, 1997). Medtem ko Michaelis-Menten opisuje hitrost presnove substrata v odvisnosti od koncentracije substrata, povezuje Monod stopnjo rasti (μ) bakterijske populacije s koncentracijo substrata (Slika 13).

Presnova substrata z bakterijami ustreza pri nizkih koncentracijah substrata reakciji 1. razvrstitve in pri visokih koncentracijah reakciji 0. razvrstitve. Prehod med obema se lahko opiše s pomočjo Monodove kinetike (Slika 13).



Slika 13: Monodova kinetika - Odvisnost specifične hitrosti prirasti biomase od koncentracije substrata (Rosenwinkel, 1997).

Figure 13: MONOD kinetics - Dependence of specific speed of biomass growth from the substrate concentration (Rosenwinkel, 1997).

$$\mu = \mu_{\max} \frac{C_s}{(K_s + C_s)} \quad (11)$$

- μ specifična hitrost rasti mikroorganizmov [1/d]
- μ_{\max} maksimalna specifična hitrost rasti mikroorganizmov [1/d]
- C_s koncentracija substrata [mg/L]
- K_s konstanta nasičenja za substrat [mg/L]

Če se izraz stopnje rasti nadomesti s hitrostjo reakcije biofilma na volumensko enoto, dobimo naslednji matematični izraz za opis reakcijske kinetike:

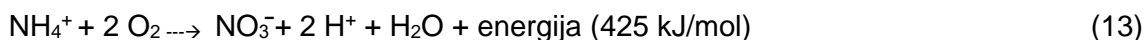
$$r_{vf} = \frac{k_x \cdot X_f \cdot S_f}{(S_f + K_s)} \quad (12)$$

- r_{vf} reakcijska hitrost na volumensko enoto biofilma [g substrat/(m³d)]
- k_x reakcijska hitrost na enoto biomase [g substrat/(m³d)]
- X_f koncentracija bakterij v biofilmu [g bakterij/m³]
- S_f koncentracija substrata v biofilmu [g substrat/m³]
- K_s konstanta nasičenja za substrat [g/m³]

Povezava enačbe za transport snovi v biofilm z reakcijsko kinetiko daje diferencialno enačbo, ki se lahko reši z robnim pogojem znanih koncentracij na površini biofilma, difuzije na površini stene in zanemarjanju hidravličnega upora filtra.

2.6.5.5 Nitrifikacija

Pri uporabi biološko intenziviranih filtrov je nitrifikacija pomemben biološki proces izmenjave snovi. Amonij (NH₄⁺) se z obveznimi aerobnimi avtotrofnimi bakterijami, ki se pojavljajo tako v sesilni kot tudi trdni obliki, oksidira v dveh korakih iz nitrita (NO₂⁻) v nitrat (NO₃⁻). Pri tem služi amonij kot H donator in CO₂ kot vir ogljika. Kot skupno reakcijo dobimo:



Iz tega lahko sklepamo, da se na mol oksidirane NH₄⁺ porabita dva mola kisika (4,6 gO₂/g NH₄⁺). Poleg tega nastaneta 2 mola H⁺ (vodik), ki bodisi vplivata na pH vrednost ali slabita puforni sistem (HCO₃⁻). Pri prevelikem znižanju pH vrednosti lahko pride do oviranja nitrifikacijskih mikroorganizmov. Optimalna pH vrednost je med 7 in 8 za *Nitrobacter* ter med 6 in 7 za *Nitrosomonas*. Poleg tega lahko toksične oz. zavirajoče snovi povzročijo zmanjšanje kapacitete nitrifikacije.

Stopnja rasti, in s tem tudi presnova snovi je podvržena temperaturni odvisnosti, ki se zaradi posebnega pomena bolj podrobno obravnava pri dimenzioniranju. Vpliv temperature na nitrifikacijo je opisan na področju odpadnih voda z modificirano Van't Hoff-Arrheniusovo enačbo:

$$DB_{R,N(T)} = DB_{R,N(20)} \cdot \theta^{(T-20)}$$

- $DB_{R,N(T)}$ kapaciteta nitrifikacije v odvisnosti od temperature [kg NH₄-N/(m³.d)]
- $DB_{R,N(20)}$ kapaciteta nitrifikacije pri 20 °C [kg NH₄-N/(m³.d)]
- θ temperaturni koeficient [/]
- k_T Boltzmannova konstanta [1,3806504(24) · 10⁻²³ J/K]
- T temperatura [°C]

Ta enačba velja za običajno temperaturno območje (mezofilne bakterije) med 8 in 30 °C za tehnologije za obdelavo odpadnih voda. V literaturi so v odvisnosti reaktorjev in odpadne vode navedene spodaj prikazani temperaturni koeficienti za nitrifikacijo (Rosenwinkel, 1997).

- $\theta = 1,103$ komunalna odpadna voda / suspendirana biomasa
- $\theta = 1,045$ komunalna odpadna voda / precejalnik
- $\theta = 1,074$ biokarbon / nosilci biomase kot druga stopnja čiščenja, $T < 10$ °C
- $\theta = 1,081$ BIOFOR / nosilci biomase pri terciarni stopnji čiščenja
- $\theta = 1,040$ BIOFOR/nosilci biomase / BPK₅ < 20 mg/L

Primerjava temperaturne občutljivosti posamičnih sistemov kaže, da reaktorji z nosilci v primerjavi s postopkom čiščenja s suspendirano biomaso izkazujejo nižje izgube kapacitet pri nizkih temperaturah. Npr. kapaciteta nitrifikacije se zniža pri upadu temperature za 1 °C pri trdni biomasi za ca. 10 %, medtem ko pri sistemih z nosilci upade samo za 4-7 %. Kroiss (Kroiss, 1994) pojasnjuje ta učinek z višjimi nasičenimi vrednostmi O₂ v tekoči fazi pri nizkih temperaturah, tako da so lahko na podlagi večje difuzije v zimskem času udeleženi tudi globlji sloji biofilma pri presnovi snovi.

2.6.5.6 Denitrifikacija

Pod pojmom denitrifikacija razumemo mikrobiološko redukcijo oksidiranih dušikovih spojin v N₂ v obliki plina. V okviru anoksičnih razmerij se rabi nitrat oz. nitrit od bakterij kot terminalni akceptor vodika in kot reakcijski produkt nastane elementarni dušik (N₂). Kot vmesni produkti se tvorijo nitrit (NO₂⁻), dušikov oksid (NO) in didušikov oksid (N₂O), pri čemer lahko slednji pri nepopolni denitrifikaciji uhaja v obliki plina. Poenostavljena splošna enačba reakcije za redukcijo nitrata do dušika v obliki plina (Mudrack, 1988) se glasi:



Ker se organske vodikove spojine pri denitrifikaciji kot tudi pri dihanju kisika razgradijo v CO₂ in H₂O, opisujemo ta proces tudi kot »dihanje nitrata«. Iz reakcijske enačbe izhaja, da se na 1g denitrificiranega nitratnega dušika pridobi 2,86 g O₂.

Največji vpliv na denitrifikacijo imajo poleg ponudbe substratov in njihove razgradljivosti še vsebnost raztopljenega kisika, temperatura, pH vrednost in strupene snovi. Zaradi pomena pri dimenzioniranju se vpliv temperature nekoliko bolj podrobno opazuje. Tudi za denitrifikacijo se lahko opiše z modificirano Van't Hoff-Arrheniusovo enačbo:

$$DB_{R,DN(T)} = DB_{R,DN(20)} \cdot \theta^{(T-20)} \quad (15)$$

- $DB_{R,DN(T)}$ kapaciteta denitrifikacije v odvisnosti od temperature [kg NO₃-N/(m³.d)]
- $DB_{R,DN(20)}$ kapaciteta denitrifikacije pri 20 °C [kg NO₃-N/(m³.d)]
- θ temperaturni koeficient [/]
- kT Boltzmannova konstanta [$1,3806504(24) \cdot 10^{-23}$ J/K]
- T temperatura [°C]

Ta enačba velja za običajno temperaturno območje (mezofilne bakterije) med 5 in 25 °C za tehnologije za obdelavo odpadnih voda. V literaturi so za različne vire ogljika navedeni naslednji temperaturni koeficienti (Rosenwinkel, 1997) - primeri nekaterih so navedeni spodaj:

- $\theta = 1,072$ komunalna odpadna voda / suspendirana biomasa (aktivno blato)
- $\theta = 1,050$ nosilci biološke mase / metanol
- $\theta = 1,086$ aktivno blato / očetna kislina
- $\theta = 1,040$ nosilci biološke mase / Biostyr / komunalne odpadne vode / metanol
- $\theta = 1,122$ nosilci bio mase / metanol

2.7 Filtracija predhodno očiščenih odpadnih voda

2.7.1 Področja uporabe filtrov za filtracijo predhodno biološko očiščenih odpadnih voda

Naloga filtracije predhodno biološko očiščene odpadne vode je izločitev suspendiranih snovi, ki jih vsebuje biološko očiščena odpadna voda (delci večji $\geq 1 \mu\text{m}$). Danes se filtracija uporablja z različnimi nameni, s filtracijo odpadne vode pa lahko izpolnimo sledeče cilje:

Dodatna eliminacija raztopljenih fosforjevih spojin z dodajanjem kemikalij za obarjanje (flokulacijska filtracija). Vpliva se lahko na naslednje parametre: TSS, P, KPK, BPK₅, org. N, (v kolikor so prisotni v trdnih delcih).

Eliminacija težko razgradljivih snovi z dodajanjem aktivnega oglja v prahu v povezavi s flokulacijsko filtracijo. S tem sledi dodatna odstranitev KPK in AOX.

Dodatni biološki oksidativni ali redukcijski procesi z biomaso na filtracijskem materialu. Pri prezračevanju je možna preostala nitrifikacija ali pri dodajanju vira ogljika je možna preostala denitrifikacija. Vpliva se lahko na naslednje parametre: TSS, NH₄-N ali NO₃-N, KPK, BPK₅, org. N, v kolikor so le-ti prisotni v obliki delcev ter P z dodajanjem sredstva za obarjanje.

Pri nadaljnjem čiščenju odpadnih voda, kot so UV-dezinfekcija, membranski postopki, ionska izmenjava in doziranje aktivnega oglja, lahko filtri služijo tudi kot vmesna stopnja, kar pa se uporablja pretežno pri čiščenju industrijskih odpadnih voda (Panjan, 1997).

V nadaljevanju sledi opis nekaterih postopkov filtriranja za naknadno čiščenje biološko predhodno obdelane komunalne odpadne vode.

2.7.2 Pregled postopkov in razmejitev filtracijskih sistemov

Filtracijske sisteme lahko razdelimo glede na različne kriterije. Razlikujemo jih glede na:

- hitrost filtriranja: počasna filtracija ($v_f < 3,0$ m/h) in hitra filtracija ($v_f = 3,0$ do 50 m/h) (slednje samo pri tlačnih filtrih),
- zgradbo filtrirnega medija: enoslojni ali večslojni filter, filter iz tkanine, sedimentacijski filter, ...,
- smer pretoka: tok navzgor ali tok navzdol,
- izvedba: odprta ali zaprta izvedba (tlačni filter),
- tehniko povratnega spiranja: neprekinjeno ali prekinjeno povratno spiranje, pretočno spiranje,
- princip ločevanja delcev: površinski (2D) ali volumski/globinski (3D) filter,
- biološko delovanje: predzračevani filter, kombinirani filter s filtrnim medijem, suhi filter,
- predobdelavo suspenzije (sredstvo za obarjanje in/ali dodajanje pomožnega sredstva za flokulacijo, doziranje aktivnega oglja itd.): flokulacijska filtracija ali doziranje aktivnega oglja.

Nadaljnji postopki ločevanja suspendiranih delcev od tekočine so membranske tehnologije, ki lahko ločijo tudi delce velikosti $< 1\mu\text{m}$ v območju molekul in ionov, kot so mikrofiltracija, ultrafiltracija, nanofiltracija in reverzna osmoza, toda na področju filtracije biološko prečiščenih odpadnih voda za iztok v vodotoke niso smiselni. Na področju filtracije iztoka se največ uporabljajo postopki peščene filtracije, mikrosit in filtracije s tkanino (*cloth filtration*).

V nadaljevanju je predstavljen pregled in razmejitev omenjenih filtracijskih postopkov (Preglednici 5 in 6).

Preglednica 5: Pregled postopkov za površinsko filtracijo, vključujoč filter s tkanino in mikrosito (Rosenwinkel, 1997).

Table 5: Review of the process for surface filtration including the cloth filtration and micro sieves (Rosenwinkel, 1997).

Režim toka	Izvedba filtrirnega medija	Smer toka	Ciklus izpiranja	Medij izpiranja	Namen odstranjevanja	Opis
Zaježitev	Ena plast filtra	Navzdol	Prekinjen	Voda Zrak	TSS*	Posteljni filter
			Prekinjen	Voda Zrak	TSS, P	Avtomatski gravitacijski filter
			Navidezno neprekinjen	Voda	TSS*, P**	Celični filter ABW filter
			Navidezno neprekinjen	Voda Zrak	TSS*	Filter naknadnega usedalnika
Diferenca zaježitve	Sito Tkanina	Poljubno	Navidezno neprekinjen	Voda	TSS*, P**	Mikrosito Filter iz tkanine

* Velikost delcev >10 do $20\mu\text{m}$.

**V Švici delno uporabljan kot flokulacijski filter, v Nemčiji ni stanje tehnike.

Preglednica 6: Pregled postopkov za volumsko filtracijo (Rosenwinkel, 1997).

Table 6: Review of processes for volume filtration (Rosenwinkel, 1997).

Režim toka	Izvedba filtrirnega medija	Smer toka	Ciklus izpiranja	Medij izpiranja	Učinek eliminacije	Opis
Zajezitev	En sloj filtra	Navzdol	Prekinjen	Voda Zrak	TSS*	Enoslojni filter
		Navzgor	Prekinjen	Voda Zrak	TSS* TSS*, KPK, P	<i>Up stream</i> filter Flokulacijski filter ⁽¹⁾
	Dva sloja filtra	Navzdol	Prekinjen	Voda Zrak	TSS*	Večslojni filter Prostorski filter ⁽²⁾
					TSS*, KPK, P	Flokulacijski filter ⁽²⁾
Pršilni film	Dva sloja filtra	Navzdol	Prekinjen	Voda Zrak	TSS*, KPK, NH ₄ -N	Suhi filter
					TSS*, KPK, P, NH ₄ -N	Suhi filter kot flokulacijski filter
Ostali režimi toka	En sloj filtra	Horizontalen ali navzgor	Neprekinjen	Voda Zrak	TSS*, KPK, P ⁽³⁾	Radialen ali navzgor pretočni filter
		Radialen	Neprekinjen	Voda	TSS*	Bobnasti filter
		Navzdol	Prekinjen	Voda Zrak	TSS*, KPK, P ⁽³⁾	Kombiniran postopek Flotacijski filter

*majhni delci < ≈10μm

(1) biološko intenzivirano delovanje za preostalo nitrifikacijo

(2) biološko intenzivirano delovanje za preostalo denitrifikacijo in preostalo nitrifikacijo je možno

(3) pri ustreznem načinu obratovanja

3 OPIS FILTRACIJSKIH POSTOPKOV

Predstavljeni postopki filtracije v nadaljevanju vključujejo rezultate meritev, ki so bile izvedene na napravah za filtracijo iztoka na več čistilnih napravah na območju Murcie v Španiji (Andreu, 2009). Vsaka analiza je bila narejena iz 10-ih litrov vzorca vode, in sicer na iztoku iz sekundarnega usedalnika, dotoku in iztoku iz filtracijskega sistema. Podani rezultati za vsak sistem filtracije predstavljajo povprečno vrednost, pridobljeno po 10-ih meritvah.

Analize različnih parametrov, ki lahko bistveno vplivajo na učinkovitost dezinfekcije odpadne vode, kot so skupni trdni delci (TSS), obarvanost, motnost in transmisija (APHA, 2005), so bile izvedene v laboratoriju CČN Lorqui, Murcia, Španija. V tem laboratoriju so bili analizirani tudi različni mikrobiološki parametri, kot so E. coli, skupne koliformne bakterije in število jajčec glist (EPA, 1999). Poleg predhodno navedenih parametrov se je nadzorovalo tudi velikost in število suspendiranih delcev na dotoku in iztoku vsakega testiranega sistema filtracije, kar omogoča izračun in predstavitev deleža odstranjevanja delcev na osnovi velikosti.

Preostanki nečistoč, ki se nahajajo v iztoku iz sekundarnega usedanja po biološkem čiščenju in jih povzročajo raztopljene in koloidne snovi ter trdni delci, lahko zaradi svoje sestave vplivajo na kakovost iztoka. Da bi vsebnost preostalih suspendiranih snovi zmanjšali, je možna rešitev, da so čistilne naprave pri poostrenih zahtevah iztoka opremljene s filtracijo. Pri tem so poleg klasičnih prostorskih peščenih filtrov, kot alternativna tehnologija na razpolago tudi površinski filtri, ki imajo manjše izgube tlaka, možnost neprekinjenega obratovanja tudi med čiščenjem filtrne površine in glede na kompaktno izvedbo številne prednosti v primerjavi s konvencionalnimi peščenimi filtrirnimi sistemi. Še posebej je filtracija potrebna pri uporabi prečiščene odpadne vode za potrebe namakanja na sušnih območjih, kajti s predhodno filtracijo se omogoči učinkovitejša dezinfekcija z UV-sevanjem.

Analizirani filtracijski postopki so:

- različne izvedbe peščenih filtrov,
- mikrosita in
- globinski filter s tkanino.

3.1 Peščeni filtri

Peščeni filtri so vrsta filtrov na principu globinske filtracije (3D). Splošno poznamo dve vrsti filtrov (Kompore, 2006):

površinski filtri, kjer se trdni delci zadržijo na prepustni površini in

globinski filtri, kjer so trdni delci ujeti v poroznem volumnu materiala.

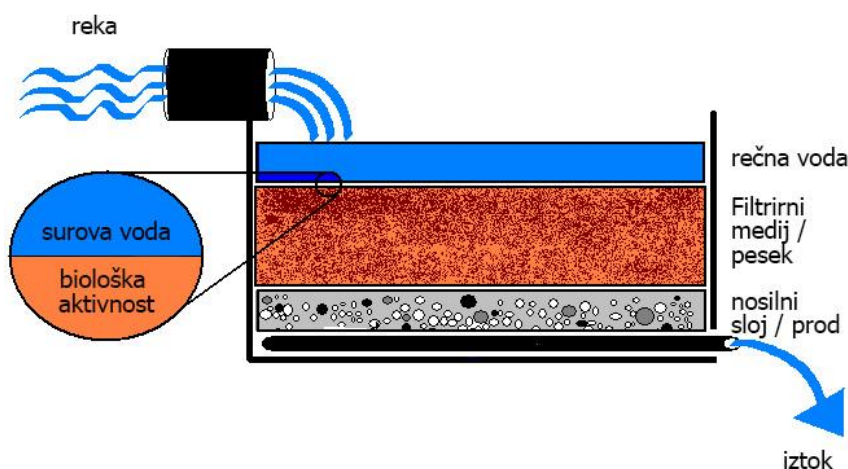
S filtracijo se odstranjene nečistoče akumulirajo v odprtinah med filtrskimi zrnji. S tem se manjša efektivna poroznost filtrskega materiala in naraščajo hidravlični upori v filtrski plasti. S časom ti tako narastejo, da je potrebno čiščenje filtra. Pri isti kakovosti vode in isti onesnaženosti je pogostost pranja filtra odvisna od hitrosti precejanja vode, t.j. od hitrosti filtracije. Ker pa filtri zaradi ekonomičnosti obratujejo večinoma tik pod zgornjo dopustno mejo hitrosti, je hitrost zamašitve filtra sorazmerna le še majhnosti filtracijskih por, t.j.

drobnosti filtrskega materiala. Glede na časovne intervale, v katerih je potrebno čiščenje peščenega filtra, torej predvsem glede na hitrost precejanja, delimo peščene filtre na počasne in hitre.

3.1.1 Počasni peščeni filtri

Osnovna procesa filtracije, ki potekata v počasnih filtrih, sta precejanje in biološka aktivnost. Z omenjenima procesoma izboljšujemo kakovost vode, in sicer tako kemično kot biološko, kajti iz vode odstranimo koloidne delce in tudi delež organskih snovi, ki vplivajo na okus in vonj vode. Tako temelji osnovni princip filtracije pri počasnih filtrih na precejevalnem učinku, adherenci k peščenim zrnom, in na biološko-kemičnih procesih mikroorganizmov.

Običajno uporabljamo počasne filtre pri filtraciji rečnih voda, in sicer naknadno za postopki predhodnega čiščenja (Slika 14). Slaba lastnost počasnih filtrov je, da so potrebne velike površine - in s tem tudi višja investicija za izvedbo projekta. Prednosti pa so razvidne iz velikih rezerv v smislu čistilnega efekta in količin očiščene vode ter iz večje prilagodljivosti hitrim spremembam kakovosti surove vode. Učinek čiščenja je - enako kot pri hitrih filtrih - odvisen od kakovosti surove vode, filtracijske hitrosti in sestave filtracijskega sloja. Zelo pomemben vpliv ima granulacija filtrnega medija. Učinek filtracije je večji pri finejših granulacijah peska oz. filtrnega medija, ki se po navadi uporabljajo za počasne filtre.



Slika 14: Shema počasnega peščenega filtra (Salem, 2014)

Figure 14: Slow sand filter scheme (Salem, 2014)

Zmogljivost filtra določamo glede na količino filtrirane vode. Samo trajanje filtracijskega ciklusa pa je odvisno tudi od filtrne hitrosti. Z nižjo filtracijsko hitrostjo podaljšamo filtrski cikel. Čas filtracije pa je pomemben zaradi nastanka in ohranjanja biofilma na zrnih filtra, ki ga tvorijo usedli koloidni delci in bakterije. S povečanjem filtracijske hitrosti lahko poškodujemo biofilm in s tem zmanjšamo biološko učinkovitost delovanja filtra, kar vodi pri prevelikih filtracijskih hitrostih do hitre zamašitve filtra.

Pri peščenih filtrih je pomembno zagotoviti čim večjo enakomernost filtrskega materiala ($n = \frac{d_{60}}{d_{10}} = 1,7-2,0$) (Kompore, 2006). Filtrski pesek mora biti dobro izpran in brez primesi blata in organskih snovi ter mora biti odporen proti mehanski obrabi (trenje, krušljivost,

raztapljanje itd.). Efektivni premer zrna »J« počasnega ali biološkega filtra znaša od 0,15 do 0,40 mm. Hitrost filtracije je med 0,1-0,4 m/h. Zaradi majhne hitrosti filtracije je čiščenje običajno potrebno šele po nekaj tednih ali mesecih.

Debelina filtra mora zagotavljati zadosten čistilen efekt, da se prepreči prehod nesnage v globino filtra, sicer je onemogočeno čiščenje filtra z odstranjevanjem samo z nečistočami zapolnjene krovne plasti. Glede na izbrano debelino filtrskih zrn in filtrske plasti se določi tudi filtracijska hitrost, ki je odvisna od stopnje in vrste onesnaženosti vode. Filtracijski cikel mora trajati vsaj 1-2 tedna. Filtracijsko hitrost je možno povečati s predhodnim čiščenjem surove vode. Predhodno čiščenje je potrebno za surovo vodo z več kot 10-15 mg/L suspendiranih snovi po usedalnikih, hitrih filtrih ali precejalnikih.

Filtracija se vrši v nerazslojeni plasti finega peska. Zaščitna debelina filtrskega peska mora biti dovolj debela, da je zagotovljena varnost učinka filtracije in potrebna rezerva zaradi ponavljajočega se odstranjevanja onesnaženega peska. Gladina vode nad filtrsko plastjo mora omogočati zadosten tlak za premagovanje hidravličnih uporov, ki s časom filtracije med dvema čiščenjema naraščajo. Poleg tega pa mora biti preprečena tvorba podtlakov, katerih posledica je izločanje raztopljenega zraka, ki v filtrski masi tvori mehurčke in zmanjšuje prepustnost filtra.

Upori v filtru naraščajo obratno s kvadratom debeline specifičnega zrna. Pri finih filtrskih peskih so zato potrebne manjše debeline, ker se večji del vodnega tlaka uravnovesi z uporom čiste filtrske mase in ostane premalo razpoložljivega tlaka za kritje uporov, ki so posledica zamašitve filtra. Hidravlični upori so najbolj izraziti v tanki krovni plasti. V globljih plasteh, kjer je prisotno biokemično čiščenje, se upori lokalno in s časom mnogo počasneje spreminjajo.

Ko so hidravlični upori v filtru večji od višine vode nad filtrskim slojem, se pojavijo negativni pritiski. Podtlaki povzročajo izločanje N_2 in drugih raztopljenih plinov. Ti s tvorbo mehurčkov, ki silijo navzgor, ogrožajo homogenost krovne plasti.

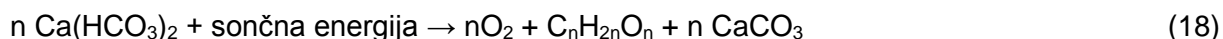
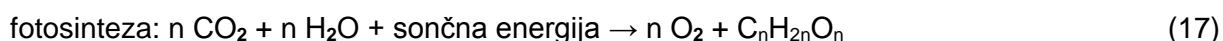
Za izvršitev biokemijskih procesov, katerih rezultat je eliminacija motnosti in zmanjšanje KPK, je potrebna zadostna debelina filtrskega sloja. Običajna debelina sloja je 0,6-0,75 m, če pa se čiščenje izvaja z odstranjevanjem krovne plasti, pa znaša 1-1,25 m.

Na dnu filtra je izdelan drenažni sistem za odvod filtrirane vode in kot podpora konstrukcija filtrske mase, ki mora zagotavljati enakomerno odvajanje filtrirane vode s celotne površine filtra. Prekrit mora biti z ustreznimi plastmi podpornega materiala (upadanje debeline zrn po filtrskem pravilu), da se prepreči izpiranje finih frakcij.

Prekrivanje in zatemnjevanje filtrov je potrebno v hladnih klimah zaradi preprečevanja zamrzovanja in v vročih klimah zaradi preprečevanja razvoja alg ter zaščite bakteriološke kakovosti vode. Preprečevanje razvoja alg podaljša dobo obratovanja filtra do 3-krat. Pri počasnih filtrih se večji del čiščenja izvrši v tanki zgornji plasti, zato je pomembno, da je zgornja plast zavarovana pred možnimi poškodbami v času čiščenja.

Glavni nalogi počasnih filtrov sta zmanjšanje števila bakterij in eliminacija nezaželenih organskih primesi. S stališča higienske presoje je najpomembnejše zmanjšanje števila bakterij, prisotnih v vodi. To je odvisno od temperature in trajanja pretoka skozi počasen filter. Eliminacija nezaželenih primesi je možna, če je na voljo dovolj oksidantov. Najpomembnejši so kisik in nitrati. Kisik, vezan v nitratih, je oksidacijsko sredstvo v anaerobnih pogojih (pravzaprav anoksičnih, t.j. brez raztopljenega kisika), to je potem, ko so zaloge prostega kisika v vodi že izčrpane. Posledica uporabe tako vezanega kisika je izločanje N_2 , ki zapolni pore filtrske mase in poškoduje biološko krovno plast. Najugodnejše je, če je surova voda zasičena z O_2 , sicer je potrebno dodatno prezračevanje.

Alge imajo dvojen vpliv: so vir O_2 , kar pospešuje oksidacijo organskih primesi, na drugi strani pa so odmrle alge dodatna obremenitev, saj so za oksidacijo odmrlih alg potrebne velike količine O_2 , odmrli delci alg pa na filtrski površini tvorijo plasti, ki zmanjšujejo prepustnost (Kompore, 2006). Alge, prisotne v krovni plasti nad filtrom, zaradi asimilacijskih procesov povzročajo porušitev karbonatnega ravnotežja. S porabo v vodi raztopljenega CO_2 v asimilacijskih procesih alg pride do izločanja $CaCO_3$.



↓
Izločanje

Izločeni $CaCO_3$ se odlaga na krovni plasti in pospešuje zamašitev filtra.

Redukcija števila bakterij in organskih snovi (v počasnih filtrih) se izvrši v zgornjih 20 cm filtra. Redukcija motnosti vode znaša do 60 %, redukcija organskih snovi pa do 40 %. Značilnost počasnih filtrov je odprt biološki sistem. Filtrirna voda dovaja v filtrno plast hrano za mikroorganizme, odvaja pa stranske produkte, ki s kopičenjem omejujejo razvoj mikroorganizmov. V primerjavi z biotopom v stoječi vodi ali združbo planktona v tekoči vodi je dobava hrane mikroorganizmom pri enaki kakovosti vode v počasnih filtrih bistveno večja. Čistilni učinek biomase je v tem, da raztopljene organske nečistoče pretvarja v mineralizirane anorganske produkte, ki so za človeka mnogo bolj sprejemljivi.

Enako velja za CO_2 , ki je potreben za asimilacijo alg. Pri intenzivni sončni svetlobi se poleg prostega CO_2 porabijo tudi ioni bikarbonata. To vodi do povečanja pH, ki občasno zavre razvoj alg. Pri stalnem dotoku sveže vode se dovaja tudi nov CO_2 , odteka pa voda z višjim pH. V filtru zaradi "odprtega biološkega sistema", t.j. sprotnega odstranjevanja produktov razkroja, ne pride do zaviralnih vplivov na rast mikroorganizmov. Rast alg preprečujemo s popolno zatemnitvijo filtrskih prostorov.

Pomemben faktor pri razgradnji organskega onesnaženja je količina razpoložljivega kisika. Ker je z dotokom vode zagotovljen stalen dotok kisika, je tudi oksidacijska sposobnost filtrov večja. Intenzivno biološko razgradnjo omogočajo heterotrofni mikroorganizmi. Za razvoj

zadostnih količin mikroorganizmov na novem filtru je potreben določen čas. Večino teh mikroorganizmov so bakterije.

3.1.2 Hitri peščeni gravitacijski filtri

Uporaba odprtih peščenih filtrov (hitri gravitacijski filtri – RFG) za odstranjevanje suspendiranih delcev je običajna praksa. Filtrirni medij je po navadi plast ali mnogokratna plast peska ali drugih mineralov z različnimi velikostmi delcev. Ko voda teče skozi filtrirni medij, se prisotni trdni delci zadržijo v telesu peska ali v alternativnem filtrirnem mediju.

Pri hitrih filtrih sta kakovost filtrirane vode in dolžina intervala med čiščenjem filtra odvisna od kakovosti surove vode, hitrosti filtracije in vrste filtrskih plasti. Pri filtraciji na hitrih filtrih prevladujejo električni in fizikalni procesi pred biološkimi. Hitri filtri nimajo baktericidnega učinka. Hitri gravitacijski peščeni filtri se pogosto uporabljajo pri čiščenju voda, posebno na področju obdelave pitne vode, kot ena izmed stopenj večstopenjskega sistema čiščenja pitne vode.

Prvi gravitacijski peščeni filtri so bili izdelani pod vodstvom Georgea W. Fullerja v Little Fallsu, New Jersey (Wikipedija, 2013). Naprava z omenjeno tehnologijo je pričela obratovati leta 1902 in zavzela pomembno mesto med tehnologijami za obdelavo voda v ZDA, predvsem zaradi manjše potrebe po prostoru, kot jo zahtevajo počasni peščeni filtri. Sistemi hitrih gravitacijskih peščenih filtrov so kompleksni in dragi z vidika obratovalnih stroškov, zato so primerni le za velike sisteme obdelave voda.

Prednosti:

- Visoki pretoki vode, in sicer do 757. 000 m³ vode/100 m² dan,
- Relativno mala potrebna površina razpoložljivega prostora,
- Nizka občutljivost na spremembe v surovi vodi, kot je npr. motnost vode,
- Potrebne manjše količine filtrnega medija (npr. peska).

Slabosti:

- Zaradi velikih por ni mogoče brez kemikalij odstraniti patogenih organizmov, manjših od 20 µm, kot je npr. *Cryptosporidium*,
- Potrebno je izvajati več aktivnosti pri postopkih vzdrževanja kot pri počasnih filtrih, zato tehnologija ni primerna v manj razvitih deželah,
- Neučinkovita tehnologija pri odstranjevanju smradu in okusa iz vode,
- Proizvodnja velikih količin blata, ki ga je potrebno ustrezno deponirati,
- Zahteva nenehno vlaganje v drage kemikalije (flokulante in koagulante), kajti obdelava surove vode s kemikalijami je bistvenega pomena za učinkovito delovanje hitrih gravitacijskih filtrov,
- Usposobljeni upravljavci so prav tako bistvenega pomena za učinkovito delovanje sistema,
- Visoki obratovalni in vzdrževalni stroški.

Pri vseh peščenih filtrih je kakovost filtrirane vode odvisna od kakovosti vode na vstopu, ki se

filtrira, hitrosti filtracije in vrste ter števila filtracijskih plasti. Najvišjo kakovost filtrirane vode dosežemo s finimi peski, katerih lastnost je velika kontaktna površina. Nad filtrskimi sloji se pri filtraciji ustvari plast nesnage, ki zmanjša koeficient prepustnosti. Pri procesu filtracije se z izločenimi delci povečuje koeficient prepustnosti, zmanjšuje se tudi efektivna poroznost, posledica česar je povečanje hidravličnih uporov. Ko hidravlični upori narastejo v meri, da so pretoki znatno omejeni, je potrebno izvesti povratno izpiranje - čiščenje filtra s pomočjo šobnega sistema (Slika 15).



Slika 15: Fotografija počasnega peščenega filtra s šobnim dnom za čiščenje filtra
Figure 15: Picture of slow sand filter with nozzle bottom for filter cleaning

Čas med spiranji je odvisen od naslednjih dejavnikov:

- kakovosti vstopne vode,
- vrste in debeline filtrirnega medija in
- filtrne hitrosti, ki je odvisna od pretoka filtrirane vode in površine filtra.

Čistilni učinek filtracije v hitrih filtrih je odvisen od:

- povprečne in maksimalne dopustne filtrske hitrosti,
- debeline in granulacijske sestave filtrnega medija,
- maksimalnih dopustnih hidravličnih uporov,
- dolžine filtrskega ciklusa,
- potrebne gladine vode nad površino filtra,
- globine penetracije nečistoč v filtrsko maso in
- konstrukcije dna filtra.

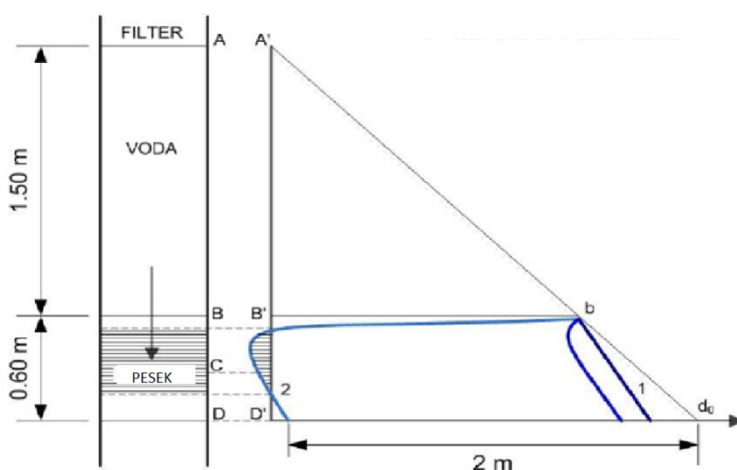
Za pravilen in racionalen postopek filtracije je potrebno poznavanje razmerij med zrnastostjo, debelino filtra in filtracijsko hitrostjo ter kakovostjo očiščene vode in dolžino filtracijskega ciklusa (Kompore, 2006). Povprečna hitrost na hitrih filtrih je 5 m/h, največja projektna filtrirna hitrost je 10 m/h. Bolj grobi filtri imajo manjšo precejalno sposobnost. S polnjenjem por se v zgornjih filtrskih plasteh večja filtracijska hitrost, ki deloma izpira usedlo nesnago v spodnje plasti. Proces čiščenja se tako pomika v vedno globlje plasti. To zahteva večjo debelino filtrskega sloja, v katerem se deponira nesnaga, s tem pa se podaljša filtracijski cikel. Takšne filtre je lažje dobro očistiti, vendar pa je potrebna večja debelina filtra, da se prepreči prodor nesnage v dno filtra in s tem v očiščeno vodo.

Učinka filtracije pri grobozrnatih filtrih ni mogoče povečati s povečevanjem debeline filtrskega sloja, temveč s spremembo zrnatosti filtrnega medija, kar pomeni, da je potrebno grobozrnati sloj zamenjati s finejšim, posledično pa bodo tudi filtracijske hitrosti manjše.

Filtrski medij je lahko pesek, zdrobljen antracit, kremen, steklo, žilindrični ugaski in razni drugi umetni materiali. Najprimernejši material je pesek, ker je najlažje dosegljiv in poceni, procesi filtracije pa dajejo dobre rezultate. V primeru, da peska ni mogoče zadovoljivo izpirati, ga zamenjamo z zdrobljenim antracitom.

Filtrski pesek morajo tvoriti pretežno obla, dobro obstojna zrna, brez primesi ilovice in ostalih organskih nečistoč. Običajno se uporabljajo zrna z efektivnim premerom $d_e=0,6$ mm (Kompare, 2006). Koeficient enakomernosti znaša $n= d_{60}/d_{10} = 1,2 - 1,3$. V tako granuliranem pesku je vpliv manjših zrn na prepustnost filtra zanemarljiv. S procesom filtracije se poroznost spreminja. Nečistoče se odlagajo v porah med peščenimi zrnji, kar povečuje hidravlične upore. Hidrostatični tlaki v filtru z globino filtra naraščajo. S pretokom skozi filter se zmanjšajo na račun hidravličnih izgub, ki v začetku filtracije naraščajo linearno v smeri toka (torej linearno z globino). S filtracijo se nečistoče usedajo v prostorih med zrnji filtra, in sicer najprej v zgornjih plasteh, nato vedno globlje. Zaradi navedenega se hidravlični upori s časom večajo, hidrostatični tlaki v filtrskem materialu pa padajo.

Na Sliki 16 vidimo razpored hidrostatičnih tlakov v filtru v različnih globinah filtra. Točka D v diagramu kaže globino, do katere je dospela v filtru zadržana nečistoča. Točka C kaže mesto najnižjih tlakov. Pri grobozrnatih peskih lahko pričakujemo podtlake v sredini filtra. Pri filtrih s finejšim peskom pa nastopijo podtlaki vedno v spodnjem delu filtra. Pri fino zrnatih peskih lahko nastopijo podtlaki v filtru le, če so hidravlične izgube večje od razpoložljivega vodnega stolpca med vodno gladino nad filtrom in dnom filtra. V grobozrnatih peskih pride do podtlakov, če upori le nekoliko prekoračijo višino krovne plasti vode nad filtrom. Kjer pričakujemo zasičenost ali prenasičenost vode z zrakom, je potrebno zagotoviti dovolj visok vodni sloj.



Slika 16: Razpored hidrostatičnih tlakov v filtru v različnih globinah filtra (FSB, 2013).

Figure 16: Layout of hydrostatical pressures in the filter in different filter depths (FSB, 2013).

- X os tlak, predstavljen kot vodni stolpec [m]
- Y os višine (vodnega in filtrskega sloja) [m]
- 1 krivulja tlaka v čistem pesku
- 2 krivulja tlaka s peskom zamašenosti nad 2 m vodnega stolpca
- BD globina zamašenega peska [m]

– C področje podtlaka

V primeru, da je filtrirna voda zasičena z zrakom, se v območju podtlaka zrak izloča v obliki mehurčkov, ki zapolnijo pore in zmanjšujejo kapaciteto filtra. Dvigajoči se zračni mehurčki rahljajo zgornjo že zgoščeno krovno plast filtra, to pa poslabšuje kakovost očiščene vode. Z ustrezno debelino peščenega filtrskega sloja se prepreči prehitri prehod nečistoč skozi filter. Prehod nečistoč je odvisen od zrnivosti filtrirnega medija, kakovosti filtrirane vode, časa in hitrosti filtracije ter tlaka vode za izenačitev hidravličnih izgub.

Zaradi logaritemskega odnosa med debelino filtrskega sloja in koncentracijo nečistoč filtrirane vode v različnih plasteh filtra, z višanjem debeline filtrskega sloja ne dosežemo enakovrednega izboljšanja kakovosti očiščene vode.

V spodnji enačbi je prikazana omenjena odvisnost:

$$C = C_0 e^{-\lambda z} \quad (19)$$

- C koncentracija [g/m³]
- C₀ začetna koncentracija nečistoč [g/m³]
- λ filtrna konstanta λ [1/m]
- z globina filtra [m]

S predhodnim čiščenjem filtrirane vode dosežemo zmanjšanje globine filtrskega sloja. Zajete nečistoče je možno očistiti le s povratnim tokom izpiranja filtrnega medija. S povratnim izpiranjem dosežemo trenje med zrni filtrnega medija in ekspanzijo filtrnega sloja. Takoj po zaključku povratnega izpiranja so rezultati filtracije nekoliko slabši, ker so prostori med filtrnimi zrni še prazni in ni ustvarjen zgornji sloj usedlih nečistoč. Govorimo o precejalni sposobnosti filtra. S trajanjem filtracije se poveča precejalna sposobnost in kakovost filtrata. V primeru povratnega izpiranja filtra s slabšimi rezultati je potrebno razmisliti o načinu povečanja trenja med zrni s pomočjo mehanskih mešal oz. z dodatnim vpihovanjem zraka. Postopek filtracije lahko optimiziramo v smeri zmanjševanja količine spiralne vode, kar dosežemo z vpihovanjem zraka. S tem zmanjšamo potrebne količine pralne vode glede na količine, ki so potrebne, če se filtri izpirajo samo z vodo. Podatki iz prakse kažejo, da je potrebna količina vode za uspešno povratno izpiranje filtra kar 20 % vse filtrirane vode, toda v primeru vključitve vpihovanja zraka se ta delež zniža na 5%.

Pomemben dejavnik v filtraciji s peščenimi filtri je tudi hitrost filtracije, ki je odvisna od razlike tlakov na dotoku in iztoku iz filtra. S povečanjem tlačne razlike povečujemo tudi hitrost filtracije. Hitrost filtracije lahko pri odprtih filtrih (proti atmosferi) povečamo s povečanjem globine filtra. Omenjeni način je precej drag in zavzema dodaten prostor, zato se v takšnih primerih raje poslužujemo tlačnih filtrov, pri katerih s pomočjo črpalk ustvarjamo dodaten tlak in na ta način omogočimo ustrezno filtracijsko hitrost glede na zahteve procesa. To je drago in nepraktično. Zato si pomagamo z zaprtimi (tlačnimi filtri).

3.1.2.1 Rezultati testiranja odprtega peščenega filtra

Za lažje razumevanje obsega delovanja hitrega odprtega peščenega filtra so rezultati

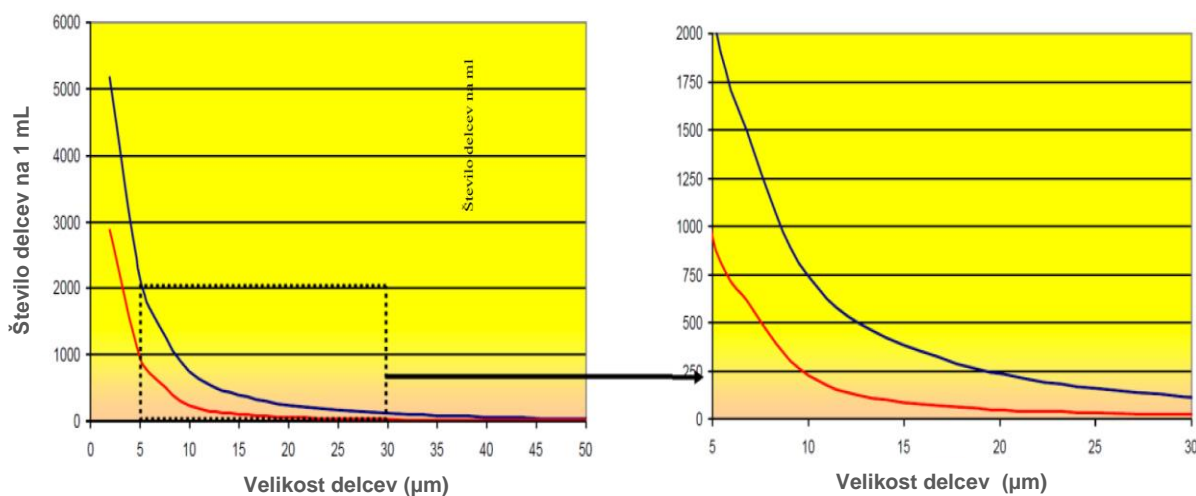
delovanja v primeru testiranja v Španiji prikazani v Preglednici 7.

Preglednica 7: Rezultati delovanja hitrega odprtega peščenega filtra (Andreu, 2009).

Table 7: Results of operation for rapid open sand filter (Andreu, 2009).

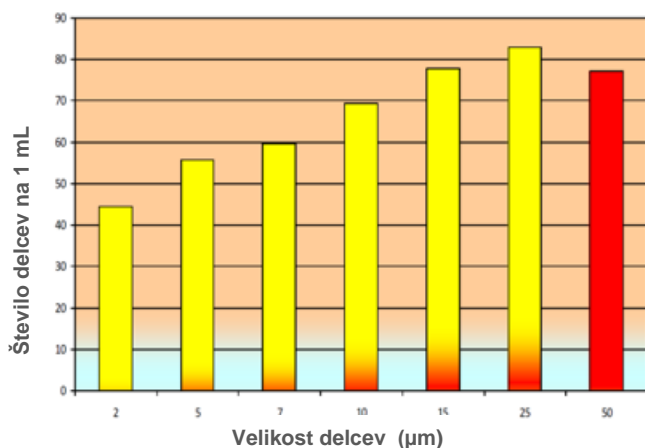
Tip filtra	Enota	Odprti peščeni filter
Količina na uro	m ³ /h	110
Površina filtrirne enote	m ²	22,4
Skupno število filtrov		4
Projektirana hitrost filtriranja	m/h	5,20
Dejanska hitrost filtriranja	m/h	1,23
Projektirana kapaciteta zadrževanja delcev	/	0,3 – 1,2
Dejanska kapaciteta zadrževanja delcev	/	0,3 – 1,0
Koeficient enotnosti peska	/	1,52
Učinkovita velikost peska	mm	1,05

Slika 17 predstavlja število delcev na osnovi velikosti, ki vstopajo in zapuščajo hiter odprti peščeni filter, Slika 18 pa odstotek odstranjevanja delcev skozi filter na osnovi njihove velikosti (Panjan & Drev, 2009). Testiranja so bila izvedena v Španiji. Na desni sliki je povečava detajla (črtasti okvir) na levi sliki.



Slika 17: Število delcev na osnovi velikosti, ki vstopajo in zapuščajo odprti peščeni filter (Andreu, 2009).

Figure 17: Number of particles on size basis, entering and exiting from the open rapid sand filter (Andreu, 2009).



Slika 18: Odstotek odstranjevanja delcev skozi filter

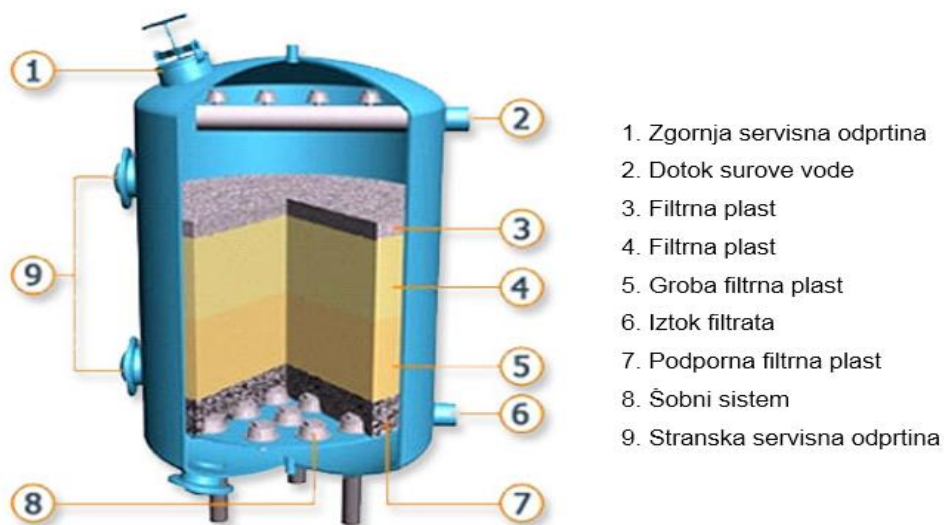
Figure 18: Percentage of particle removal through the open rapid filter

Pri hitrih odprtih peščenih filtrih (RGF) sega odstotek odstranjevanja delcev majhnih velikosti (2µm) do približno 45%. Odstotek odstranjevanja narašča z velikostjo delcev, dokler se vrednosti ne približajo blizu 80 % za delce, ki so večji od 15 µm. Maksimalno odstranjevanje se doseže z delci nad 25 µm.

3.1.3 Tlačni peščeni filtri

Zaprti ali tlačni filtri so podobni odprtim peščenim filtrom s to razliko, da so peščene plasti nameščene v cilindričnih tlačnih posodah na bodisi vertikalni bodisi horizontalni osi (Slika 19). Lahko delujejo z višjimi obremenitvami delcev kot odprti peščeni filtri, tudi trajanje filtrirnih ciklov je potencialno daljše.

Tlačne filtre poznamo v pločevinasti in poliestrski izvedbi. Vsi procesi filtracije v tlačnih filtrih potekajo po istem principu kot pri odprtih, le da v tem primeru neprimerno lažje vplivamo na filtracijske hitrosti.



Slika 19: Hitri tlačni peščeni filter (Raindrops, 2014)

Figure 19: Rapid pressure sand filter (Raindrops, 2014)

3.1.3.1 Rezultati testiranja tlačnega peščenega filtra

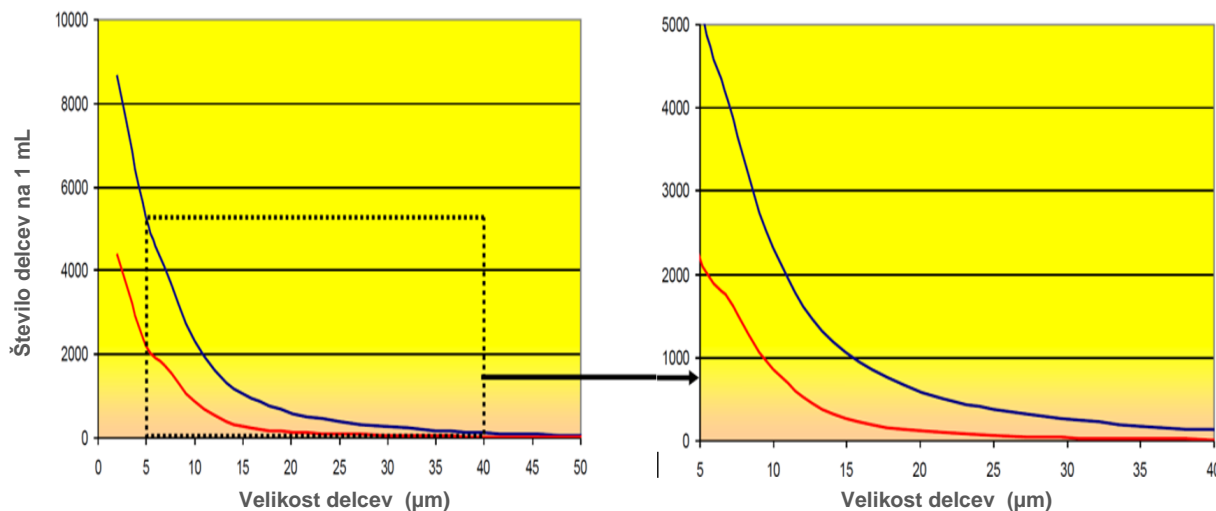
Rezultati delovanja tlačnega peščenega filtra so prikazani v Preglednici 8 (Andreu, 2009).

Preglednica 8: Rezultati delovanja tlačnega peščenega filtra (Andreu, 2009).

Table 8: Results of operation for close pressure sand filter (Andreu, 2009).

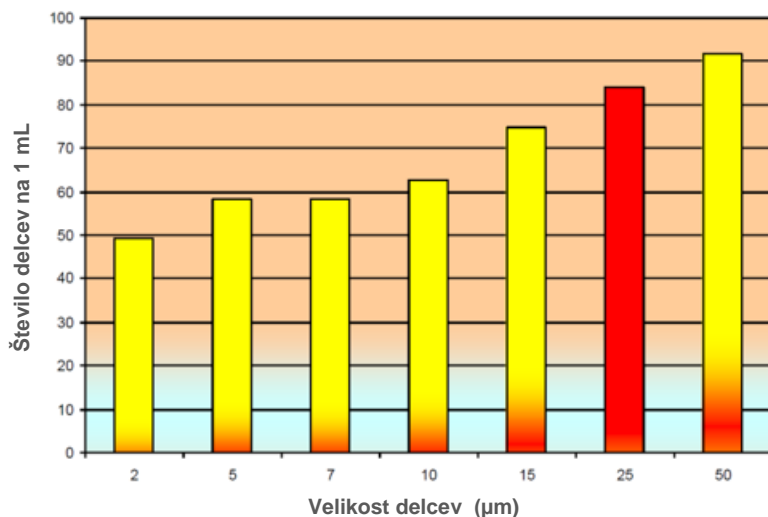
Tip filtra	Enota	Tlačni peščen filter
Količina na uro	m ³ /h	250
Površina filtrirne enote	m ²	16,8
Skupno število filtrov		3
Projektirana hitrost filtriranja	m/h	9,92
Dejanska hitrost filtriranja	m/h	4,96
Projektirana kapaciteta zadrževanja delcev	/	10
Dejanska kapaciteta zadrževanja delcev	/	5
Koeficient enotnosti peska	/	1,63
Učinkovita velikost peska	mm	1,21

Slika 20 predstavlja število delcev na osnovi velikosti, ki vstopajo in zapuščajo tlačni peščen filter, Slika 21 pa odstotek odstranjevanja delcev skozi filter na osnovi njihove velikosti. Na desni sliki je povečava detajla (črtasti okvir) na levi sliki.



Slika 20: Število delcev na osnovi velikosti, ki vstopajo in zapuščajo tlačni peščen filter (Andreu, 2009).

Figure 20: Number of particles on size basis entering and exiting from the rapid pressure sand filter (Andreu, 2009).



Slika 21: Odstotek odstranjevanja delcev skozi filter (Andreu, 2009).

Figure 21: Percentage of particle removal through the rapid pressure sand filter (Andreu, 2009).

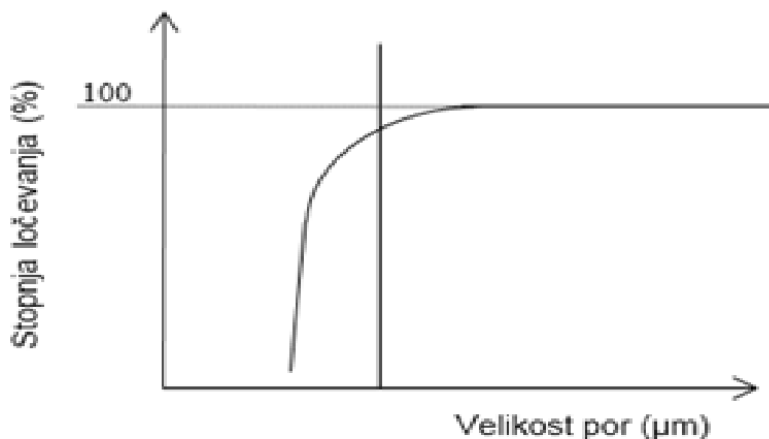
Čeprav imajo tlačni filtri stopnjo filtracije, koeficient enotnosti in velikost peska večjo kot odprti peščeni filtri, je obnašanje odstranjevanja delcev zelo podobno za oba tipa filtra. V obeh sistemih je odstotek odstranjevanja 2 µm delcev okrog 45 – 50 % in le-ta narašča s povečevanjem velikosti delcev z vrednostmi okrog 80 %, ko je velikost delcev večja kot 25 µm. Edina opažena pomembna razlika je, da odstranjevanje 50 µm delcev še naprej narašča do vrednosti 90 % v primeru tlačnih filtrov, medtem ko pri zaprtih filterih pade na vrednosti okrog 75 %.

3.2 Mikrosita

3.2.1 Uporaba

Angleška izraza »micro screening« oz. »micro sieves« ne gre zamenjati z membranskimi procesi filtracije, kajti pri tej vrsti filtracije lahko govorimo o robni stopnji filtracije 10 µm, medtem ko področje mikrofiltracije obravnava filtracijo manjših delcev. Pri mikrositih se konstrukcija mikrosit, kakor tudi delovanje, popolnoma razlikuje od mikromembranske filtracije, čeprav je osnovni princip podoben.

Mikrosita poznamo v izvedbi diskov in bobnov. Mikrosita uporabljajo pretežno pri manjših čistilnih napravah s precejalniki kot biološko fazo na mestu naknadnega usedanja. Uporabljajo se tudi za naknadno čiščenje biološko obdelane komunalne odpadne vode; pri tem dosegajo kakovost izločanja trdilnih delcev v velikosti 40 – 10 µm (Slika 22).



Slika 22: Ločevanje delcev pri filtraciji z mikrositi (Ljunggren, 2006)

Figure 22: Particle separation at filtration with micro sieves (Ljunggren, 2006)

Pri obdelavi komunalne biološko prečiščene odpadne vode se v naknadni stopnji za ločevanje suspendiranih delcev uporabljajo predvsem diskasti in bobnasti filtri. Uporabljajo se tudi pri obdelavi deževnice. Znana je tudi inovativna uporaba mikrosit (Kummer, 1994) med aeracijskimi bazeni in naknadnim usedalnikom z namenom zmanjšanja izplavljanja blata v času deževnih razmer. Prav tako se lahko mikrosita uporabijo pred prečiščenjem vode za nadaljnje membranske postopke. Na področju priprave pitne vode se lahko mikrosita uporabijo kot predčiščenje pred počasnimi ali hitrimi peščenimi filtri. Uporaba mikrosit v Nemčiji je razvidna iz Preglednice 9.

Preglednica 9: Mikrosita, vgrajena za naknadno čiščenje biološko obdelane komunalne odpadne vode v Nemčiji (Rosenwinkel, 1997).

Table 9: Micro sieves installed after secondary clarifier of biologically treated municipal waste water in Germany (Rosenwinkel, 1997).

Število	Relativni delež (1)	Površina filtra		Hitrost filtracije		Projektirana velikost	
		Min. A	Maks. A	Min. v_F	Maks. v_F	Min. PE	Maks. PE
Kos	%	m^2	m^2			PE	PE
4	2	15	403	6,0	14,6	10.000	350.000

Uporaba mikrosit se odraža tudi v znižani stopnji doziranja koagulanta, količini spiralne vode in obremenitvi filtra s trdnimi snovmi, kar se posledično odraža v daljšem času obratovanja filtra med čiščenji.

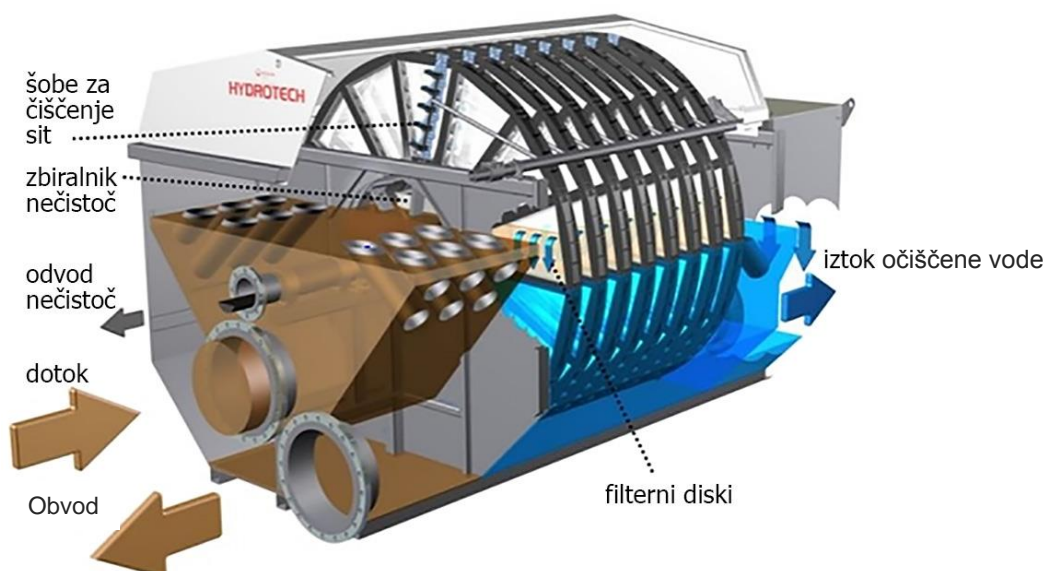
3.2.2 Princip delovanja

Princip delovanja mikrosit temelji na fizičnem zajetju delcev zaradi natančno definiranih por. To je tudi osnovna razlika med površinsko filtracijo in peščenimi filtri ali globinsko filtracijo, ki v določenih stopnjah filtracije omogočajo višjo stopnjo ločevanja delcev.

Kot mikro sejanje se opisuje čisto mehansko sejanje s pomočjo goste monofilne mreže (iz kovine ali umetne snovi) s širinami por sejalne mreže med 10 – 65 μm . Mreže so napete na horizontalno položenih rotirajočih bobnih oz. diskah, ki se vrtijo z obodno hitrostjo do 50

m/min. Diferenca vodne gladine v sejalni komori je po navadi nastavljena tako, da je boben potopljen za ca. 2/3 celotne višine. Delci, ki se nalagajo na notranji strani sita, lahko tvorijo naplavljen filtrski sloj, tako da se lahko zadržijo tudi delci, ki so manjši od širine odprtin zank. Diferenca gladine med surovo in čisto vodo je po navadi od 15 do 20 cm.

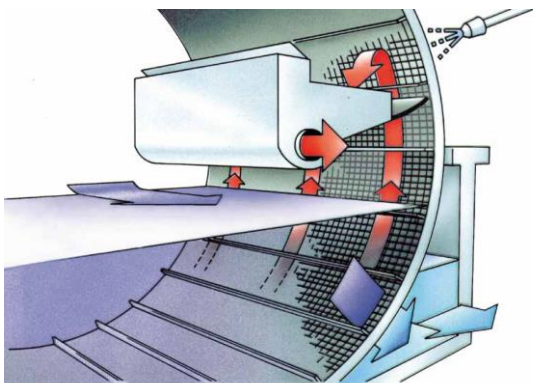
Pri tem tipu filtra priteče odpadna voda z gravitacijo znotraj rotirajočih diskov, kjer so vse zunanje površine prekrte z mrežo, ki ima določeno velikost por ali zaslona. Kot je prikazano na Sliki 23, se filtracija izvaja na način od znotraj navzven, trdne delce pa zadrži mreža na vsakem disku oz. bobnu v potopljenem območju. Zadržanje delcev povzroči blokado zaslonske mreže in povečanje višine vode na vhodu v filter do predhodno določene maksimalne vrednosti. Ko je ta raven dosežena, se filtrna površina izpere oz. čisti s pomočjo serije visokotlačnih šob z brizganjem curka vode iz nasprotne strani na filtrno površino na panel, da se sprostijo zadržani delci, ki se potem odstranijo skozi zbiralnik nečistoč oz. trdih delcev.



Slika 23: Funkcijski prerez skozi mikrosito – izvedba z diski (Veolia-VWS, 2012).

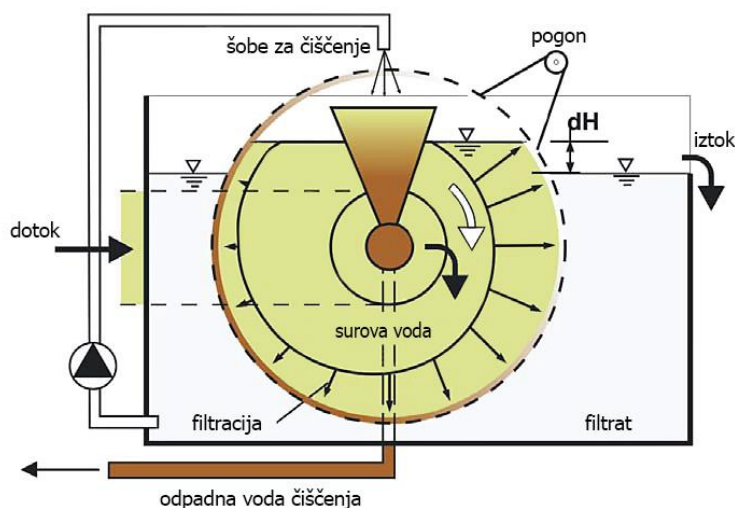
Figure 23: Functional cross section through the micro sieve – execution with discs (Veolia-VWS, 2012).

Delovanje zbiralnika suspendiranih delcev sejalne mreže oz. možna obremenitev površine s trdnimi delci je majhna, tako da mora biti čiščenje na razpolago v zelo kratkih razmikih oz. mora biti omogočeno neprekinjeno čiščenje filtrirne površine. Podatki o zmogljivosti, kot je hitrost filtriranja (v_f (m/h)) ali obremenitev površine s suspendiranimi snovmi (BA (g/m²h)), se morajo pri mikrositih vedno nanašati na potopljene dele filtrne površine. Nad vodno gladino se ne izvaja filtracija, temveč le čiščenje filtrne površine.



Slika 24: Bobnasta izvedba mikrosita (Veolia-VWS, 2012).

Figure 24: Drum execution of micro sieve (Veolia-VWS, 2012).



Slika 25: Funkcijski prerez skozi mikrosito – bobnasta izvedba (Grabbe, 2012)

Figure 25: Functional cross section through micro sieve – drum execution (Grabbe, 2012)

Med procesom čiščenja se dovajanje odpadne vode, ki se filtrira, ne prekine. Predvidena potreba po spiralni vodi je 0,05 % do 35 % skupnega filtrirnega pretoka.

Pri bobnastih filtrih (Sliki 24 in 25) je na perforirane bobne iz jeklene pločevine lahko napeto tudi filtrirno blago (površina tkanine 0,2- 20 m²). Na m² površine se lahko vgradi ca. 2,6 m² filtrirne površine.

Na samem začetku so se uporabljali predvsem bobnasti filtri s porami 23 ali 35 µm. Stopnja odstranjevanja suspendiranih snovi je bila močno odvisna od koncentracije suspendiranih snovi v dotoku in od delovanja procesa pred filtracijo. Toda zahteve za znižanje suspendiranih snovi v iztoku so danes dosegle že vrednosti pod 10 µm, katere pa z mikrositi zelo težko dosežemo.

Mikrosita v diskasti izvedbi vključujejo navpične diske z vodoravno gredjo (Slika 26). Osnova prednost diskaste izvedbe pred bobnasto je predvsem manjša poraba prostora zaradi doseganja večje filtracijske površine z diski.



Slika 26: Mikrosita v diskasti izvedbi

Figure 26: Micro sieves in disc execution

Okoli 60 % površine diskov je potopljene. Princip filtracije je zelo podoben principu bobnaste izvedbe. Voda, ki se filtrira, teče preko diskov od znotraj navzven. Nečistoče ostajajo na notranji strani diskov, kar se odraža v postopni zapolnitvi filtrne površine, posledica česar je povišanje diferencialnega tlaka. Ko diferencialni tlak naraste preko maksimalne vrednosti, se prične avtomatični postopek čiščenja (odstranjevanja nečistoč) iz področja filtrne površine. Nečistoče se odstranijo s pomočjo počasne rotacije filtrnega diska in z istočasnim spiranjem z visokotlačnimi šobami na zunanji strani diskov, ki odstranijo nečistoče iz filtrirne površine od zunaj navznoter. Voda, dovedena preko šob, in nečistoče se zbirajo in odvajajo preko vodoravnega kanala iz območja naprave.

3.2.3 Dimenzioniranje mikrosit

Dimenzioniranje mikrosit je odvisno od številnih faktorjev (Ljunggren, 2006), kot so velikost por filtra, hitrost rotacije bobna ali diska, potopljeno področje, učinkovitost povratnega izpiranja, tlaki in kakovost obdelovane vode. Zbor ključnih dokumentov in vrednosti iz prakse delujočih naprav za terciarno obdelavo odpadnih voda je moč najti v EPA - United States Environmental Protection Agency (EPA 625/1-75-003, 1975)

Izhodišča za dimenzioniranje mikrosit:

- 20-25 μm filter s porami, ki variirajo od 15-60 μm ,
- hidravlična obremenitev 12-25 m/h, ki temelji na potopljenemu delu bobna ali diska,
- izguba tlaka < 0,15 m; znani so rezultati tudi z višjimi izgubami tlaka,
- premer bobna je največ 3 m, pri čemer je obodna hitrost omejena,
- tlak povratnega izpiranja je po navadi priporočen na 3,5 bare.

Iz prakse je razvidno, da je delovanje mikrosit boljše pri nižjih hidravličnih obremenitvah. Iz prakse so povzete nekatere hidravlične obremenitve, in sicer:

- 15-30 m/h za naknadno čiščenje,
- 60-120 m/h v primeru mešanega kanalizacijskega sistema,
- pri terciarnem čiščenju z mikrositi se lahko pričakuje 50-80 % odstranitve suspendiranih snovi oz. v primeru mešanih komunalnih voda 30-70 %,
- največja tlačna izguba pri naknadnem čiščenju je določena na 0,30 m.

Kar zadeva primarno čiščenje in obdelavo deževnih voda, so lahko hidravlične obremenitve mnogo višje tudi glede na uporabo filtrov z večjimi porami. Obstajajo tudi drugi vidiki pri zasnovi mikro sit, ki so ključnega pomena za doseganje najvišjih zmogljivosti in učinkovitosti odstranjevanja suspendiranih snovi.

Uporaba črpalk v primeru mikrosit ni prednostna, kajti lahko pride do poškodbe opreme. Za doseganje dobrih rezultatov filtracije sta pomembna tudi nadzor obodne hitrosti in padca tlaka, kajti s pravilno določitvijo teh parametrov lahko optimiziramo postopek filtracije tako glede odstranjevanja suspendiranih snovi, kot zmogljivosti naprave. Praksa je pokazala, da z nižanjem obodnih hitrostih bobna dosežemo boljše kakovost iztoka, saj je možna filtracija preko debelejšega sloja nečistoč ravno pri nizkih hitrostih. Hidravlično obremenitev je potrebno prav tako omejiti, da preprečimo potisk delcev skozi pore filtra. Pozornost velja posvetiti tudi zbiralniku suspendiranih delcev oz. nečistoč po čiščenju sit, da preprečimo dostop nečistoč v sistem filtra, kajti s tem se močno zniža kapaciteta filtra.

V odvisnosti od velikosti por se za mikrosita upoštevajo površinske obremenitve suspendiranih snovi 300 oz. 400 gTSS/(m².h). (Grabbe, 1995) Tudi te vrednosti upoštevajo že določeno rezervo za biološko onesnaženje; pri tem je potrebno občasno, toda redno kemično čiščenje mikrosit. Vpliv filtrirnih hitrosti na zmogljivost ločevanja suspendiranih delcev je praktično zanemarljiv.

3.2.3.1 Rezultati testiranja mikrosit

Rezultati delovanja mikrosit so prikazani v Preglednici 10 (Andreu, 2009).

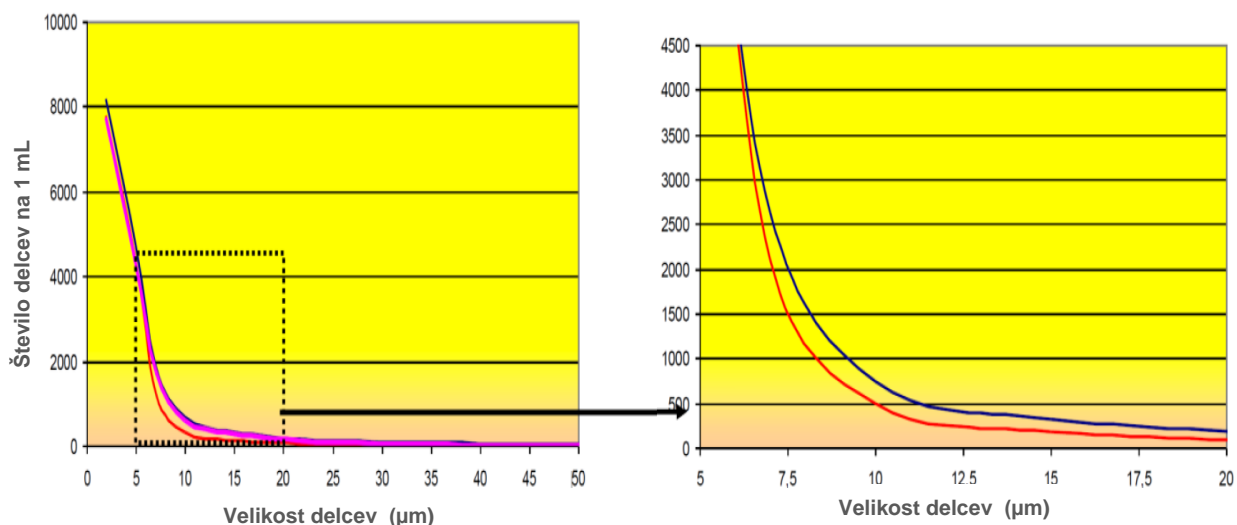
Preglednica 10: Rezultati delovanja mikrosit (Andreu, 2009).

Table 10: Results of operation of micro sieves (Andreu, 2009).

Tip filtra	Enota	Mikrosita
Količina na uro	m ³ /h	110
Površina filtrirne enote	m ²	52
Skupno število filtrov		1
Projektirana hitrost filtriranja	m/h	11,54
Dejanska hitrost filtriranja	m/h	2,12
Projektirana kapaciteta zadrževanja delcev	/	0,30
Dejanska kapaciteta zadrževanja delcev	/	0,20
Velikost por glede na proizvajalca	µm	10

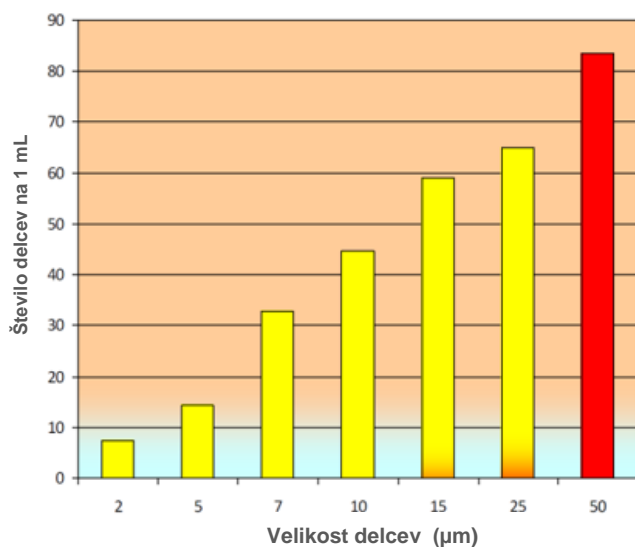
Na Sliki 27 je prikazana distribucija delcev na dotoku in iztoku, na Sliki 28 pa sprememba

odstotka odstranjanja delcev na osnovi velikosti. Na desni sliki je povečava detajla (črtasti okvir) na levi sliki.



Slika 27: Število delcev na osnovi velikosti, ki vstopajo in zapuščajo mikrosito (Andreu, 2009).

Figure 27: Number of particles on size basis entering and exiting from the micro sieve (Andreu, 2009).



Slika 28: Odstotek odstranjanja delcev skozi mikrosito (Andreu, 2009)

Figure 28: Percentage of particle removal through the micro sieve (Andreu, 2009)

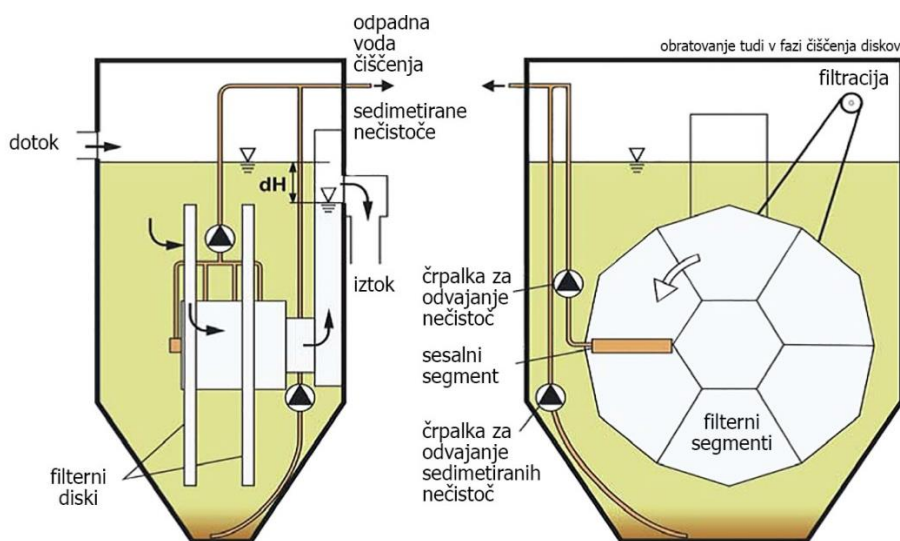
Vidimo lahko, da pri mikrositih delci, manjši od 5 µm, skoraj niso odstranjeni. Za večje velikosti odstotek odstranjanja hitro naraste z velikostjo delcev, vendar je v odpadni vodi zaznano bistveno število delcev, ki so večji od teoretične točke prestrežanja mreže filtrirnega sistema.

3.3 Filter globinske filtracije s tkanino (vlakna)

Globinski filtri s tkanino (vlakna) zavzemajo nenatančno definirano mesto med površinskimi filtri in globinskimi filtri (Slika 29). Delež istočasno učinkovitih mehanizmov pri filtracijah s tkanino, kot so sejanje, filtracija skozi kolač in prostorska filtracija, se določi s pomočjo

koncentracije in lastnosti filtriranih suspendiranih delcev, kakor tudi z uporabljenimi filtrirno tkanino. S spremembo vrste filtrne tkanine lahko spreminjamo učinkovitost izločanja suspendiranih delcev.

Načeloma se lahko učinkovitost izločanja, tako kot pri mikrositih, poveča z uporabo filtrirnih medijev z manjšo širino por, toda s tem z naraščanjem učinkovitosti filtracije narastejo tudi hidravlične izgube. Da bi zmanjšali hidravlične izgube pri manjšanju por in pri nespremenjeni dovzetnosti za zamašitev, se že 15 let uporabljajo vlakna kot tkaninski filtrirni medij. Vlakna se - v nasprotju z v začetku uporabljano česano klobučevino - ne izkazujejo za togo, temveč fleksibilnemu krznu podobno strukturo. Polna vlakna se pri filtraciji položijo ravno in tvorijo med filtracijo gost in prepleten sklop vlaken, podobno kot česana klobučevina.

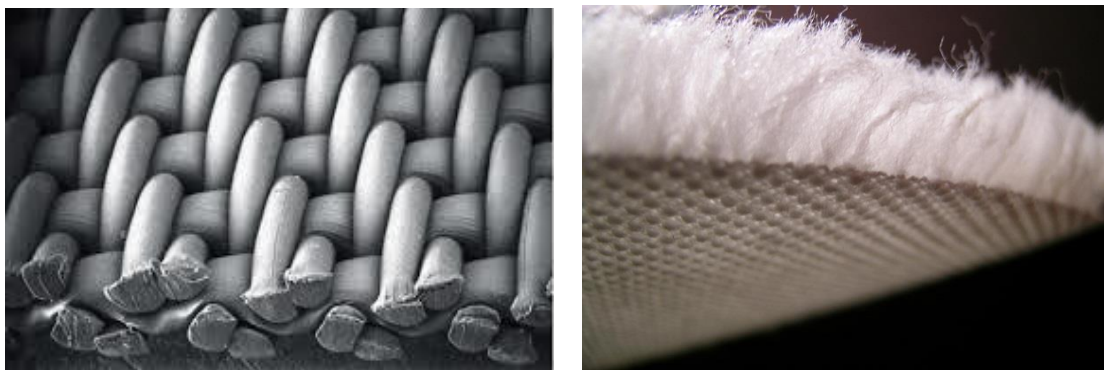


Slika 29: Filtracija in proces čiščenja tkanine pri globinski filtraciji s tkanino (Grabbe, 2012)

Figure 29: Filtration and process of depth cloth filtration (Grabbe, 2012)

Osrednja točka delovanja globinske filtracije s tkanino je v učinku sita, pri čemer se glede na strukturo mreže filtra iz tkanine (Slika 30) ustvari oblika filtrirnega kolača iz zadržanih delcev, s pomočjo katerega se zadržijo tudi delci, ki so manjši od por v tkanini.

Pri filtraciji s tkanino je prisoten očiten učinek prostorske (3D) filtracije. Pri filtrih z blagom se zadržijo tudi delci, ki so bistveno manjši, kot so širine por, lastnosti izločanja skozi celoten spekter pa bolj ustrezajo peščeni filtraciji. V tehniki odpadne vode se pretežno uporablja tkanina z maksimalnim premerom por 10 μm do 100 μm širine por.



Slika 30: Struktura mreže filtra iz tkanine (Grabbe, 2012).

Figure 30: Cloth filter mesh structure (Grabbe, 2012)

3.3.1 Princip delovanja globinske filtracije s tkanino

Ločevanje suspendiranih delcev temelji pri uporabi tekstilnih filtrirnih medijev na čistem fizikalnem delovanju sejanja, to pomeni, da se zadržijo predvsem delci, ki so večji od odprtih por filtrirnega medija. Z vezavo sloja delcev, podobnega naplavnemu filtru (filter kolač), se lahko v določeni meri zadržijo tudi delci, ki so manjši od širine por. V nadaljevanju je potrebno izhajati iz dejstva, da se del delcev zadrži v globini filtrirne tkanine, t.j. cca. 4 do 5 mm, ekvivalentna širina por pa je ca. 10 μm , zato je na razpolago tudi določeno prostorsko delovanje. Ta efekt se pri mikrositih na podlagi enodimenzionalne strukture monofilne sejalne mreže ne more uporabiti. Pri filtraciji s peščenimi filtrirnimi mediji predstavlja vezava delcev na površini zrna s pomočjo skupne globine filtrirne postelje odločujoč mehanizem zadrževanja.

Tehnično se globinski filtri s tkanino realizirajo do filtrirne površine 10 m^2 kot bobnasti filter. Večje enote so v izvedbi ploščnega filtra (Slika 31). Vsak disk omogoča filtrirno površino z do 5 m^2 in se sestoji iz 6 segmentov iz umetne mase, ki so vpeti s ca. 5 mm debelo filtrirno tkanino. Na votlo gred se lahko vgradi do 15 diskov, tako da se z eno napravo realizira do 75 m^2 filtrirne površine. Filtrirni diski se popolnoma potopijo v odpadno vodo, minimalna vodna gladina pa se določi s pomočjo odtočnega preлива. Odpadna voda teče skozi filtrirno tkanino v segmente ter skozi votlo gred in jašek v iztok, pri čemer se trdni delci zadržijo na tkanini.

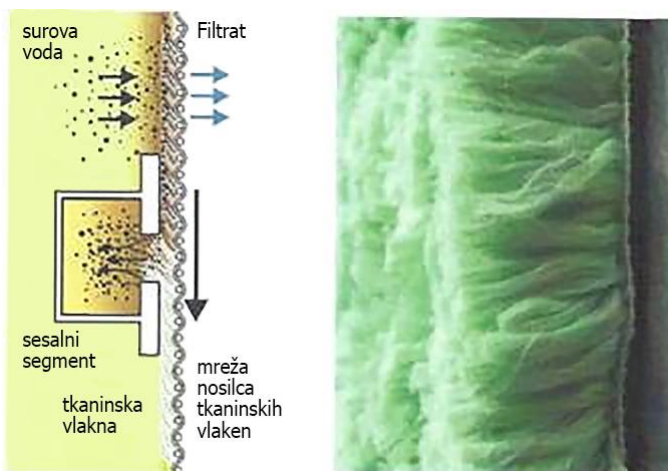


Slika 31: Diskasti filter s tkanino

Figure 31: Cloth disc filter

Z naraščajočo obremenitvijo s trdnimi delci narašča hidravlični upor in s tem razlika nivojev (Δh) med gladino surove vode in filtrata. Pri razliki gladin cca. 25 cm se sproži postopek čiščenja. Filtrirni diski se počasi vrtijo in s pomočjo stranskih sesalnih segmentov (Slika 32) se odstranijo izločeni trdni delci z odsesovalnim filtratom. Postopek odsesovanja traja glede na tip ploščnega filtra in izbranih obratov med 30 in 210 sekund. Trajanje cikla filtracije oz. pogostost odsesovanja niha glede na obremenitev s trdnimi delci med več urami in nekaj minutami. Bistveno je, da se filtracijski proces med postopki čiščenja ne prekine in da je celotna filtrirna površina vseskozi na razpolago.

Pri procesu čiščenja tkanine, torej pri odsesovanju, se s pomočjo tokovnih sil v odsesovalni reži vlakna nenadoma zravnavajo.



Slika 32: Prikaz čiščenja filtrne tkanine (Grabbe, 2012)

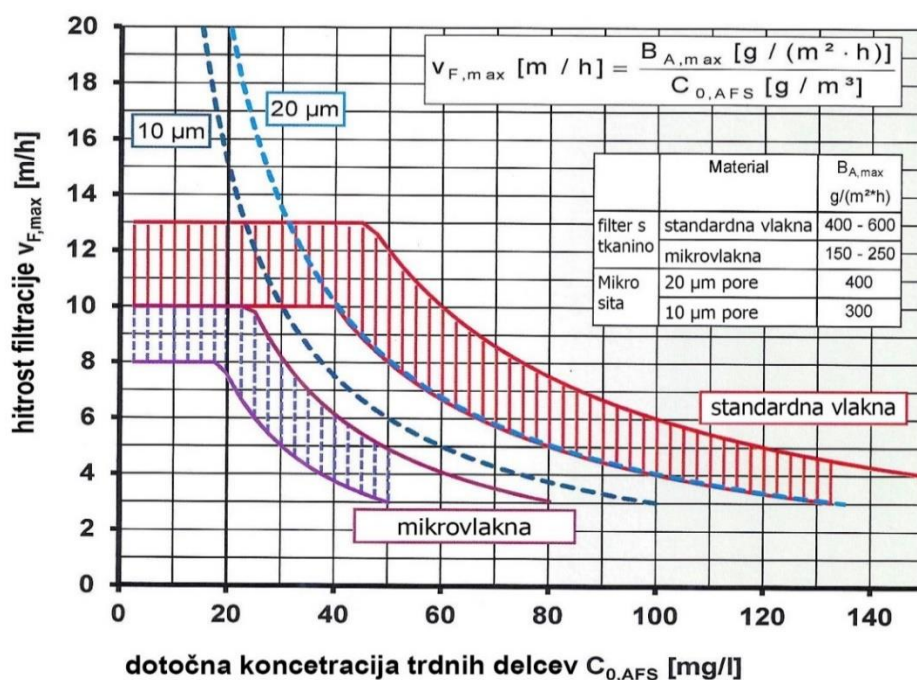
Figure 32: Cloth filtration cleaning (Grabbe, 2012)

Med to fazo ekspanzije, ki je primerljiva s tokovnimi razmerami pri povratnem izpiranju peščenih filtrov, se lahko trdne snovi rahlo raznesejo in dvignejo, pri tem pa se vlakna v turbulentnem toku intenzivno očistijo. Na koncu odsesovanja se vlakna ponovno komprimirajo, kar vodi v stanje, da so vlakna ponovno pripravljena za ločevanje suspendiranih delcev.

Mreža nosilca vlaken je zaradi zmanjšanja nagnjenosti k zamašitvi izdelana z velikimi porami (ca. 500 do 1000 μm), medtem ko se lahko vlakna, načeloma poljubno fino in s tem ločilno učinkovito, izvedejo brez tveganja za zamašitev filtrne tkanine. Filtri iz vlaken lahko obratujejo brez kemičnega čiščenja.

3.3.2 Dimenzioniranje globinskih filtrov s tkanino

Potrebna filtrirna površina sledi iz dovoljene filtrirne hitrosti. Dovoljena filtrirna hitrost se določi z vključitvijo koncentracije suspendiranih snovi in dotoka oz. možne površinske obremenitve s suspendiranimi snovmi. Globinski filter s tkanino je potrebno konstruirati tako, da pri maksimalnem pretoku in največji istočasno nastopajoči onesnaženosti ne prihaja do preliva. Primer uporabnega diagrama za dimenzioniranje globinske filtracije z različnima tkaninama (standardna vlakna in mikrovlakna) je prikazan na Sliki 33.



Slika 33: Diagram za dimenzioniranje globinske filtracije s tkanino (Grabbe, 2012)

Figure 33: Chart for dimensioning of depth cloth filtration (Grabbe, 2012)

Z vključeno rezervo za zmanjševanje maksimalne možne površinske obremenitve s trdnimi snovmi s pomočjo preostale umazanije (bio onesnaženje) in ob upoštevanju, da se večji tipi ploščnih diskov čistijo v treh taktih, se lahko za standardno vlakno pri dimenzioniranju v odvisnosti od tipa odpadne vode določijo površinske obremenitve s trdnimi delci od 400 do 600 gTSS/(m²h) in maksimalne filtrirne hitrosti od 10 do 13 m/h. To ustreza pri filtrirni hitrosti 10 m/h koncentraciji dotoka 40 do 60 mg TSS/l.

S tkanino z mikrovlakni se lahko pri filtrirni hitrosti 10 m/h ob uporabi maksimalne površinske obremenitve 150 do 250 gTSS/(m²h) zajamejo konične obremenitve suspendiranih delcev do 25 mg/L. Če je potrebno filtrirati večje koncentracije, je potrebno filtrirno hitrost ustrezno zmanjšati. Podane maksimalne filtrirne hitrosti so pogojene s konstrukcijo sistemov filtrov iz tkanine oz. s pripadajočim bazenom. Po potrebi se lahko ti konstruktivno prilagodijo tudi na višje filtrirne hitrosti. Vpliv filtrirnih hitrosti na zmogljivost ločevanja je praktično zanemarljiv.

Glede na zadrževanje suspendiranih delcev je potrebno pripomniti, da se z globinskim filtrom s filtrno tkanino s standardnim vlaknom doseže najmanj enaka, večinoma pa višja stopnja učinkovitosti, kot se doseže pri 10 µm mikrositu. Pri tkanini z mikrovlakni je stopnja učinkovitosti bistveno višja, kar spet relativizira nižjo površinsko obremenitev s trdnimi delci mikrovlaknen v primerjavi z 10 µm mikrositom.

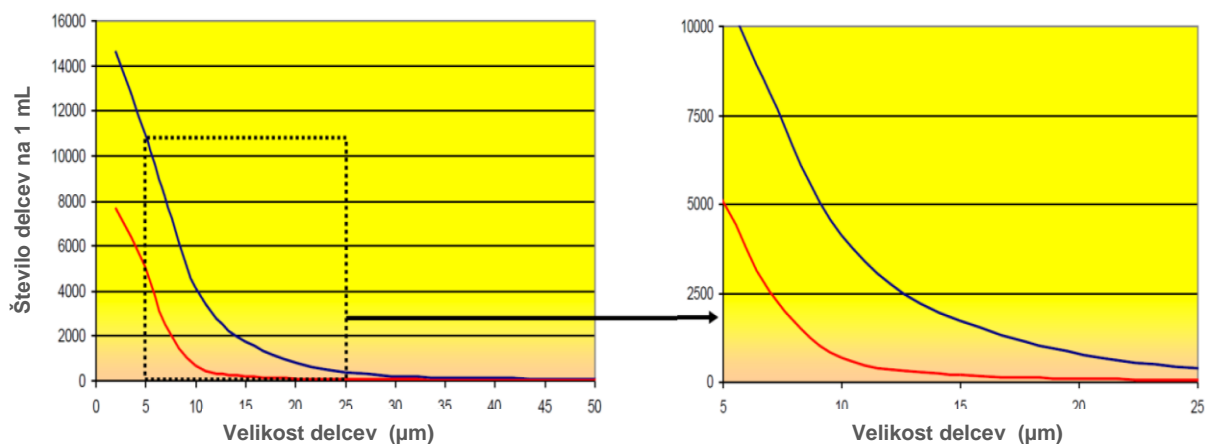
3.3.2.1 Rezultati testiranja globinske filtracije s tkanino

Rezultati delovanja globinske filtracije s tkanino so prikazani v Preglednici 11 (Andreu, 2009). Na desni sliki je povečava detajla (črtasti okvir) na levi sliki.

Preglednica 11: Rezultati delovanja globinske filtracije s tkanino (Andreu, 2009).

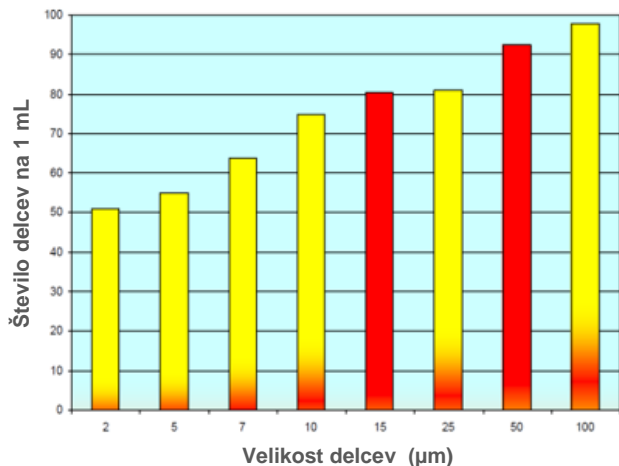
Table 11: Results of operation of micro sieves (Andreu, 2009).

Tip filtra	Enota	Globinski filter s tkanino
Količina na uro	m ³ /h	129
Površina filtrirne enote	m ²	40
Skupno število filtrov		1
Projektirana hitrost filtriranja	m/h	4,0
Dejanska hitrost filtriranja	m/h	3,23
Projektirana kapaciteta zadrževanja delcev	/	0,25
Dejanska kapaciteta zadrževanja delcev	/	0,20
Velikost por glede na podatke proizvajalca	µm	15



Slika 34: Število delcev na osnovi velikosti, ki vstopajo in zapuščajo globinsko filtracijo s tkanino (Andreu, 2009).

Figure 34: Number of particles on size basis entering and exiting from the depth cloth filtration (Andreu, 2009).



Slika 35: Odstotek odstranjanja delcev skozi globinsko filtracijo s tkanino (Andreu, 2009)

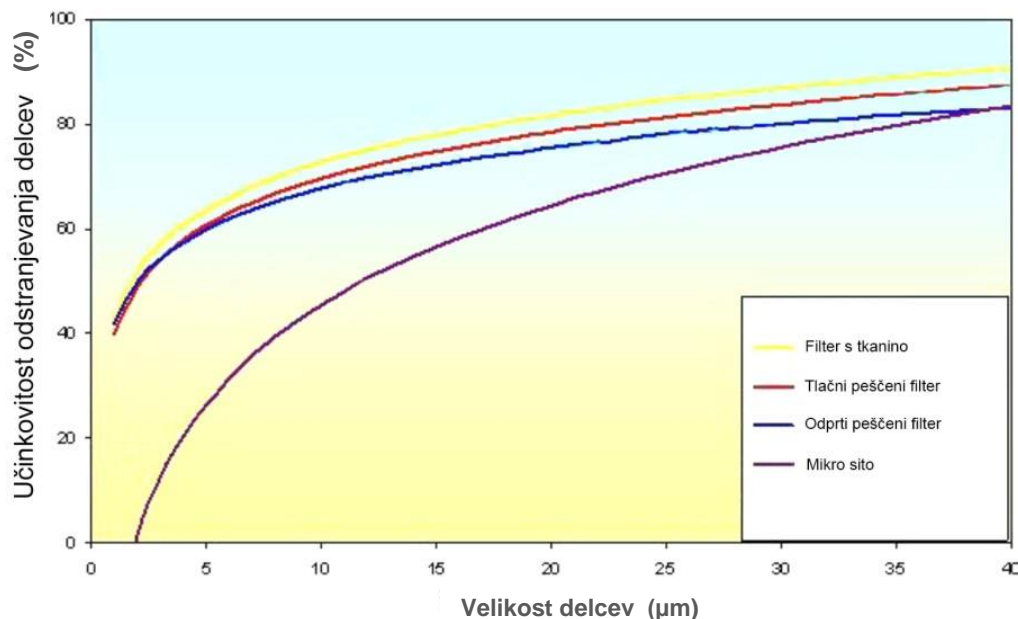
Figure 35: Percentage of particle removal through the depth cloth filtration (Andreu, 2009)

Na Sliki 34 je prikazana distribucija delcev na dotoku in iztoku, na Sliki 35 pa sprememba odstotka odstranjanja delcev na osnovi velikosti. Opaženo je, da je obnašanje filtra s tkanino z vidika odstranjanja delcev zelo podobno odprtim peščenim filtrom in tlačnim filtrom. Odstranjanje 2 μm delcev se dosega do pribl. 50 % in stopnja ločevanja je višja kot 80 % za velikosti 25 μm in večje.

Odstotek odstranjanja delcev narašča z velikostjo delcev do 75 % z 15 μm delci. Obnašanje teh filtrov je zelo podobno odprtim peščenim filtrom in tlačnim filtrom, čeprav pa izkazuje nižji odstotek odstranjanja manjših delcev.

3.4 Povzetek rezultatov testiranj za različne procese filtracije

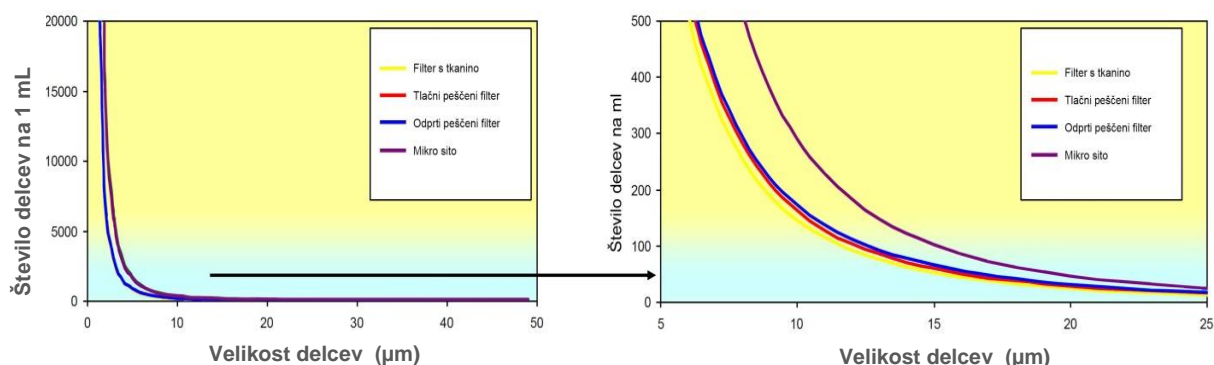
Slika 36 prikazuje odstotek odstranjanja delcev za vse preučene različne filtrirne sisteme, in sicer za odprti gravitacijski peščen filter, tlačni peščen filter, mikrosita in globinsko filtracijo s tkanino. V vseh primerih lahko vidimo logaritmično rast odstotka odstranjanja delcev z naraščanjem njihove velikosti.



Slika 36: Odstotek odstranjevanja delcev za vse preučene različne filtrirne sisteme (Andreu, 2009).
Figure 36: Percentage of particle removal for all studied various filtration processes (Andreu, 2009).

Filtri s tkanino, skupaj z odprtimi peščeni filtri in s tlačnimi filtri, dosegajo pomembno odstranjevanje majhnih delcev, četudi je njihova velikost manjša od velikosti por filtrirnega medija. Torej se ravno pri manjših delcih izkaže večja učinkovitost peščenih filtrov in filtrov s tkanino. Pri 10 μm mikrositih je odstotek odstranjevanja delcev majhnih velikosti zelo nizek.

Z uporabo štetja delcev na iztoku, ki imajo podobne vrednosti za vse filtracijske sisteme, so na Sliki 37 prikazani podatki, ki omogočajo pregled stopenj odstranjevanja delcev za vsak filtracijski sistem na osnovi velikosti delcev. Vidimo lahko, da je bilo najboljše rezultate odstranjevanja delcev doseženo z globinskim filtrom s tkanino, sledijo mu tlačni in odprti peščeni filtri. Na desni sliki je povečava detajla (črtasti okvir) na levi sliki.



Slika 37: Stopnja odstranjevanja suspendiranih delcev na osnovi velikosti delcev (Andreu, 2009).
Figure 37: Suspended solids removal percentage on the basis of particle size (Andreu, 2009).

Preglednica 12: Rezultati znižanja obarvanosti, motnosti in transmisije pri različnih filtrnih sistemih (Andreu, 2009)

Table 12: Results of reducing the colour, turbidity and transmission at different filtration processes (Andreu, 2009)

Tip filtra	Obarvanost			Motnost			Transmisija		
	Dotok Pt/Co*	Iztok Pt/Co*	% znižanja	Dotok Pt/Co*	Iztok Pt/Co*	% znižanja	Dotok %	Iztok %	% znižanja
Odprti peščeni filter (RGF)	6,00	47,50	26,92	3,50	2,23	36,29	59,50	60,75	2,10
Tlačni peščeni filter	116,67	93,33	20,00	5,87	4,76	18,85	53,80	54,65	1,58
Filter s tkanino	110,00	60,00	45,45	7,16	3,88	45,81	57,61	59,01	2,43
Mikrosito	56,83	56,58	0,44	2,22	2,06	7,20	62,41	62,49	0,13

*Pt/Co se uporablja kot standard za vizualno primerjavo instrumentalnih meritev. Skala je v območju od 0 do 500 ppm platina/kobalt v vodi. Vrednost nič na tej skali predstavlja destilirano vodo (Wikipedija, 2014).

Iz Preglednice 12 je razvidno, da sta motnost in obarvanost podobno zmanjšani, čeprav z različnimi odstotki v vseh testiranih sistemih filtracije. Možen vzrok je lahko prehod majhnih delcev skozi kanale in razkroj večjih delcev med filtracijo. Za različne sisteme niso bile ugotovljene kakršnekoli povezave med zmanjšanjem števila delcev in odstranitvijo motnosti ali obarvanosti, verjetno zato, ker so delci in koloidi, ki vplivajo na te parametre, manjši od meje zaznavanja opreme, ki se uporablja za merjenje delcev (< 2 µm).

Iz meritev je razvidno, da filtri, ki delujejo globinsko, povečujejo transmisijo vode za enoto, medtem ko mikrosita nimajo vpliva na transmisijo. Vsi filtrirni sistemi so učinkoviti pri odstranjevanju skupnih suspendiranih delcev ob upoštevanju, da je ta parameter v določeni meri odvisen od prisotnosti večjih delcev.

Pri testiranih filtracijah (Preglednica 13) so bile dosežene, poleg zabeleženega odstranjevanja delcev, tudi stopnje odstranjevanja drugih onesnaženj vode, kot so obarvanost, motnost, prenos, TSS in prisotnost jajčec glist in koliformov.

Preglednica 13: Zmanjšanje suspendiranih delcev, jajčec glist in fekalnih koliformov za različne filtracijske procese (Andreu, 2009).

Table 13: Reduction of suspended solids, helminth eggs and faecal coliforms for different filtration processes (Andreu, 2009).

Parameter	Trdni delci			Jajčeca	Fekalni koliformi		
	Dotok mg/L	Iztok mg/L	% odstranitve	Št. jajčec/l	Dotok UFC/100mL	Iztok UFC/100mL	% odstranitve
Odprti peščeni filter (RGF)	7,14	2,20	69,24	N/D	23,120	12,300	46,80
Tlačni peščeni filter	8,18	3,82	53,30	N/D	22,311	18,023	19,22
Filter s tkanino	14,66	7,33	50,00	N/D	56,712	38,460	32,18
Mikrosita	5,60	3,10	44,64	N/D	30,450	21,138	30,58

V tej študiji v nobenem od iztokov filtracijskih sistemov ni bilo najdenih jajčec glist. Vezano na odstranjevanje fekalnih koliformov moramo pripomniti, da imajo tlačni peščeni filtri zelo nizek odstotek odstranjevanja, ki je veliko nižji, kot je pri odprtih peščenih filtrih. Na splošno odprti peščeni filtri, v katerih je možen vpliv svetlobe na dotekajočo vodo, izkazujejo višji odstotek odstranjevanja koliformov kot tisti, pri katerih prodiranje svetlobe ni možno, ker so filtri zaprti.

Zaključki te študije (Andreu, 2009) so vezani na razumevanje delovanja različnih izvedb filtrov, ki se uporabljajo v naknadni obdelavi komunalnih odpadnih vod, v povezavi z različnimi tipi dotoka na območju Murcia v Španiji. Pomembni zaključki pa so:

Vsi preučeni sistemi filtracije izkazujejo pomembno odstranjevanje delcev, večjih od 25 μm . Razlike v vedenju različnih sistemov lahko vidimo v glavnem pri velikosti delcev 10 μm ali manj.

Odstotek odstranjevanja delcev, manjših od velikosti por v peščenih filtrih (gravitacijski peščeni filter, tlačni peščeni filter), kakor tudi pri globinskih filtrih s tkanino, je višji.

Čeprav je celoten odstotek odstranjevanja delcev z mikrositi dober, je odstranjevanje manjših delcev (<10 μm) zelo nizko.

V tej študiji so se filtri s tkanino vedli kot globinski filtri (3D). Njihova zmogljivost skupaj s peščenimi filtri je bila boljše kot pri mikrositih, pri čemer smo že zgoraj omenili manjše zmanjšanje obarvanosti in motnosti. Filtri s tkanino so bili boljši tudi pri izboljšanju transmisije filtrirane vode, kot so bila mikrosita.

Vsi preučevani sistemi so prikazali dober odstotek odstranjevanja skupnih suspendiranih snovi.

V nobenem vzorcu kateregakoli filtracijskega sistema nismo zaznali prisotnosti jajčec glist. Ker so vsi sistemi filtracije prikazali dober skupen odstotek odstranjevanja delcev glede na prodiranje manjših velikosti pri nekaterih sistemih, mora izbira ustrezne metode naknadne obdelave oz. poliranje iztoka upoštevati pomembne dejavnike, kot so stroški izgradnje, stroški obratovanja in fleksibilnost sistema.

3.5 Vrste filtracijskih tkanin

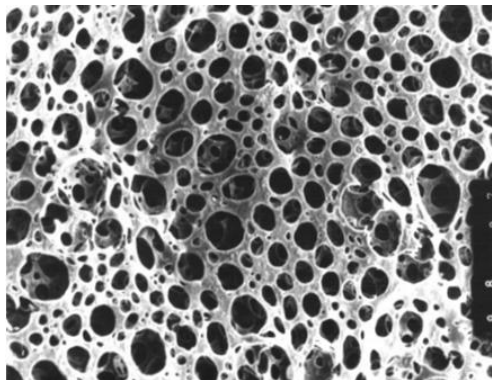
Tekstilne filter medije lahko razdelimo glede na strukturo in sestavo vlaken (Hardman, 2000). Pri tem ni ostre meje med tem kdaj gre za tekstilni, ali kakšen drugi filter material. Klasični tekstilni materiali so: tkanine, sukljanke, lepljene tkanine, netkani materiali, filci, itd. Pri nekaterih »tekstilnih« materialih pride do mešanja z mrežami. Imamo mreže, ki so po strukturi podobne tkaninam. Gre za podobno prepletenost vlaken kot pri tkanini (osnova – votek). Lahko pa gre za enako prepletenost vlaken kot pri sukljanki. Tako kot pri tekstilu so lahko tudi pri mrežah vlakna fiksirana z lepljenjem. Lepljenje je možno s termoplastično utrditvijo polimernih vlaken, ali pa s posebnim lepilom. Večina tekstilnih vlaken je ustrezno površinsko obdelanih preden gredo v fazo izdelavo tekstila, lahko pa se ustrezno obdelata končni proizvod (tkanina, filc, sukljanka, itd.). Zelo uporabni za filtracijo tekočin so tudi filter papirji in filter slojnice. Ti materiali so lahko po strukturi podobni tekstilnim materialom. Glavna razlika med njimi in tekstilnimi materiali je v tem, da so bi izdelani po »mokrem« postopku iz pulp v kateri so suspendirana vlakna. Pri filcih gre v osnovi za izdelavo tekstilnih materialov po »suhem« postopku, ki je v prvi fazi navadno identičen postopku izdelava klasičnih tkanin. Tekstilna vlakna se najprej ustrezno očistijo in razvlaknijo (predenje). Nato se lahko iz njih oblikujejo niti iz katerih se izdelujejo tkanine, ali pa se izdelajo netkani materiali (filci). O filcih govorimo takrat, ko gre za iglane netkane materiale. Z iglanjem se preplete vlakna, da ima filc ustrezno mehansko stabilnost. Za večjo mehansko trdnost se pogosto uporablja tudi armirna tkanina ali mreža. Pri filtrih za klimatizacijo gre večinoma za vlaknast sloj, ki ni iglan in nima armirne mreže. Takšen material se lahko obravnava kot tekstilni, ali pa tudi ne. Netkanim tekstilijam je podoben tudi vlaknasti polimerni material, ki je izdelan po »melt blown« postopku. Glede na sestavo ga včasih uvrščajo med netkani tekstilni materiali, včasih pa kot folijo, ali celo kot membrano (Tayvek).

Za izdelavo tekstilnih filter medijev se lahko uporabljajo (Drev, 1997):

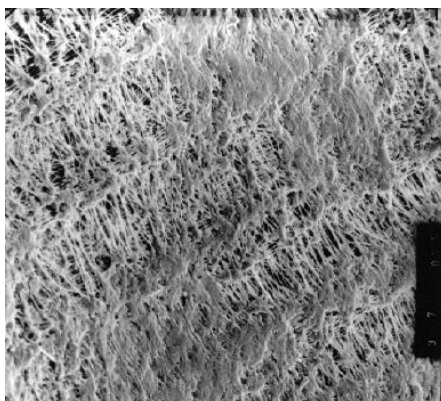
- naravna vlakna (bombaž, lan, juta, konoplja, itd.),
- umetna polimarna vlakna (PES, PA, PP, PTFE, itd.),
- steklena vlakna,
- keramična vlakna in
- kovinska vlakna.

Pri odstranjevanju suspendiranih snovi iz odpadne vode so uporabne vse vrste tekstilnih filter medijev, odvisno od tega kaj želimo odstranjevati iz vode ter kakšna je konstrukcija naprave na kateri se vrši filtracija. V fazi predhodnega čiščenja se uporabljajo različne kovinske in polimerne mreže, ki bi jih težko razvrstili pod tekstilne filter medije. Pri raznih tračnih, bobnastih, ploščnih in podobnih filtrih pa se lahko uporabljajo tekstilni filter mediji ali pa fine mreže. Če gre za to, da želimo zadržati čim finejše delce, se odločimo najpogosteje za razne površinsko obdelane tekstilne materiale. Površinska obdelava je lahko s: fulardiranjem, obžiganjem in kalandriranjem, premazovanjem, brizganjem, kaširanjem, itd. Na naslednjih dveh slikah 38 in 39 sta prikazana dva površinsko obdelana poliestrska (PES) filca, ki imata vgrajeni armirni tkanini. V prvem primeru gre za površinsko obdelavo z nanosom mikroporozne mehanske pene, v drugem primeru pa za kaširano (laminirano) PTFE membrano. Pri polimerni peni gre za polimerni material na osni akrilata ter dodatek fluorkarbona za to, da se na površino ne sprimejo delci. PTFE membrana ima fino

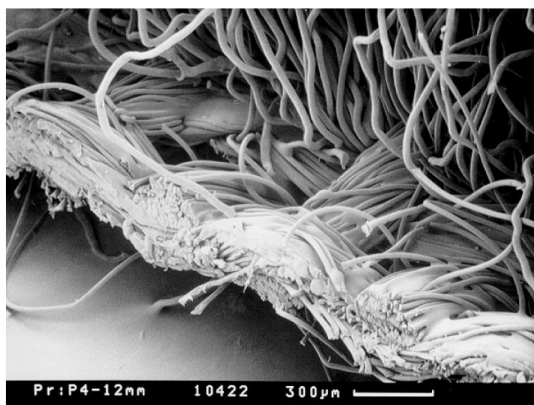
mikroporozno strukturo, poleg tega pa lastnost, da se na površino filter medija ne sprimejo delci. To sta mejna tekstilna filtrna medija, ki že mejita na mikrofiltracijske membranske filter medije. V praksi se uporabljajo bistveno enostavnejši tekstilni filter mediji. V novejšem času pa se uporabljajo tudi »melt blow« materiali (Smith, 2000), ki lahko imajo zelo fino vlaknasto strukturo in kot posledica tega tudi fine pore. Lahko se uporabljajo samostojno, ali pa na armirni mreži ali tkanini.



Slika 38: Mikroporozni sloj na PES filcu 500 g/m², (elekt. mikroskop, povečava 190 krat) (Drev, 1997)
Figure 38: Microporous layer on the PES fleece 500 g/m² (elec. microscope, magnification 190 times) (Drev, 1997)



Slika 39: PTFE membrana na PES filcu 500 g/m², (elekt. mikroskop, povečava 190 krat) (Drev, 2006)
Figure 39: PTFE membrane on the PES fleece 500 g/m² (elec. Microscope, magnification 190 times) (Drev, 2006)



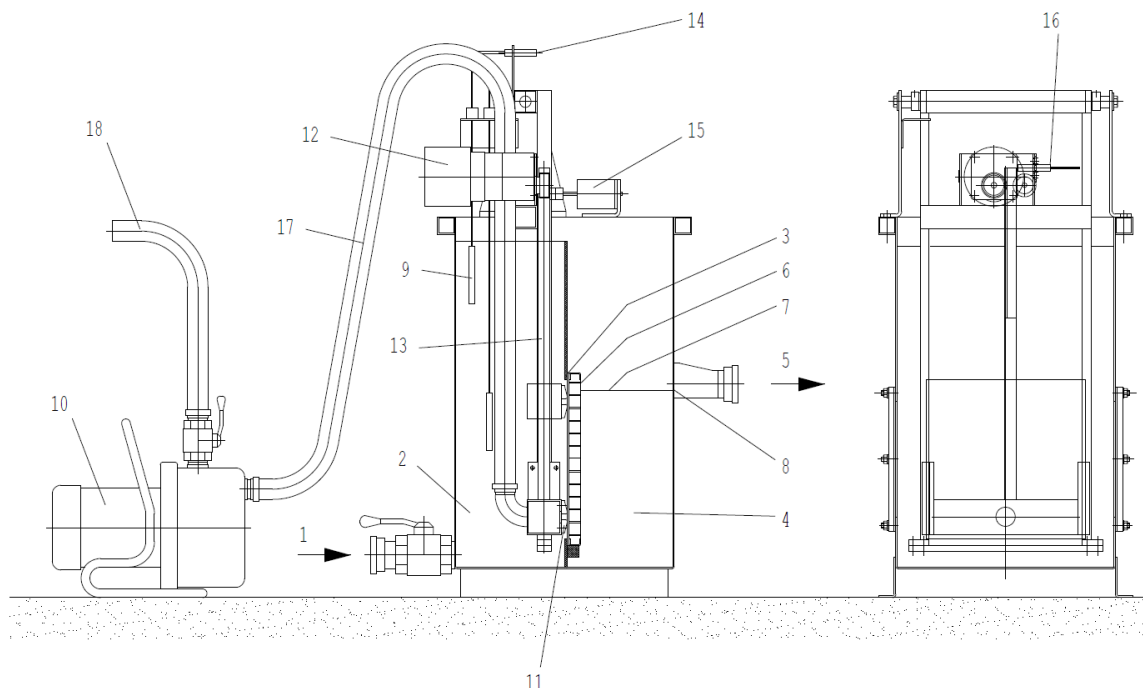
Slika 40: Vlakna filtracije s tkanino (3D učinek filtracije) (Grabbe, 1995)
Figure 40: Filtration fiber with for cloth filtration (3D effect of filtration) (Grabbe, 1995)

4 EKSPERIMENTALNI DEL - IZVAJANJE TESTIRANJA GLOBINSKE FILTRACIJE S TKANINO NA CČN DOMŽALE – KAMNIK

4.1 Opis naprave

Testiranje filtracije s tkanino je bilo izvedeno na iztoku po naknadnem usedanju na CČN Domžale. Testiranje se je izvajalo na testirani enoti »Mini filter 1« švicarskega proizvajalca Mecana (Slika 40 in Slika 41). Testiranje je potekalo od 3. 7. 2012 do 20 .9. 2012. Iz iztoka se je voda črpala v testirano enoto preko potopne črpalke, in sicer v dotočno komoro, od koder se je izvajala filtracija surove vode skozi tkanino (*cloth*) v komoro očiščene vode oz. v iztočno komoro.

Testirana filtrna enota »Mini filter 1« je sestavljena iz jeklene posode, ki je razdeljena v dve komori. Voda, ki jo je potrebno obdelati, priteče preko pritoka v komoro surove vode (2) in teče skozi filtrirno tkanino (3) v komoro čiste vode (4) in od tam preko preлива v iztok (5). Minimalni nivo vode (7) v filtrirni posodi se določi s prelivnim robom (8) pri iztoku, ki je nespremenljiv. Filtrirna tkanina je napeta preko celotne rešetkaste plošče (6) in popolnoma potopljena v vodo. Voda teče skozi filtrirno tkanino, pri čemer se zadržijo trdni delci. Glede na karakteristike suspendiranih delcev se lahko uporabi filtrirna tkanina z različnimi velikostmi por in debeline. Z nalaganjem suspendiranih delcev na filtrirno tkanino se dviguje filtrirni upor in nivo vode v komori surove vode (2) počasi narašča. Pri dosegu maksimalnega nivoja surove vode, ki se zazna preko nivojskih stikal za najvišji nivo (9) in ki se po navadi določi cca. 20 cm nad nivojem čiste vode, se sproži postopek povratnega izpiranja/čiščenja tkanine. Torej, ko se je nivo vode v dotočni komori povišal, se je vključil proces čiščenja tkanine po principu sesanja (vakuum). Čiščenje tkanine se sproži ročno ali s pomočjo aktiviranja nivojskih stikal v komori. Pri tem se vklopi sesalna črpalka (10) in sesalna letev (11) se nasloni s pretokom induciranim podtlakom na filtrirno tkanino. Pogon sesalnega segmenta (12) se vklopi s časovnim zamikom, ki sesalni segment s pomočjo zobate letve (13), preko filtrirnega tkanine, vodi navzgor. Zgornji končni položaj se nadzoruje z nivojskim stikalom. Takoj, ko je nivojsko stikalo na položaju „sesalni segment zgoraj“ (14), se pogon sesalnega segmenta in sesalna črpalka izklopita, prijemalni magnet (15) in pogon sesalnega segmenta pa se vklopita s časovno zakasnitvijo z obratno smerjo vrtenja.



Slika 41: Shematski prikaz filtrirne enote (Mecana, 1999)

Figure 41: Schematical depiction of filtration unit (Mecana, 1999)

- | | | | |
|----|-------------------------------|----|-------------------------------------------|
| 1 | Pritok | 11 | Sesalni segment |
| 2 | Dotočna komora surove vode | 12 | Pogon sesalnega segmenta |
| 3 | Filtrirna tkanina | 13 | Zobata letev |
| 4 | Iztočna komora | 14 | Nivojsko stikalo "Sesalni segment zgoraj" |
| 5 | Iztok | 15 | Prijemalni magnet |
| 6 | Rešetkasta plošča | 16 | Nivojsko stikalo "Sesalni segment spodaj" |
| 7 | Minimalni nivo vode | 17 | Sesalni vod sesalnega segmenta |
| 8 | Prelivni rob | | |
| 9 | Nivojska sonda "dosežen nivo" | | |
| 10 | Sesalna črpalka | | |

Z izklopom sesalne črpalke se sesalni segment na majhni razdalji loči od filtrirne tkanine. Da ne bi gladili vlaken pri spuščanju sesalnega segmenta, se sesalni segment iz filtrirne tkanine dvigne s prijemalnim magnetom. Nato se ponovno vključi pogon sesalne letve in sesalna letev gre navzdol v izhodni položaj. Spodnji končni položaj se nadzira s pomočjo nivojskega stikala.

Takoj ko nivojsko stikalo (»sesalni segment spodaj« (16)) ni več aktivno, se pogon sesalnega segmenta in prijemalni magnet izklopita, sesalni segment pa se zopet približa filtrirni tkanini. Pri filtraciji se del nečistoč - blata, ki se dovedejo na filtrirno napravo, useda v dotočni komori. V praksi se na teh filtrirnih napravah usedle nečistoče - blato odvajajo preko črpalk na dotok čistilne naprave (Panjan, 1985). Testirana enota »Mini filter 1« nima posebne črpalke za odvajanje blata. Zaradi navedenega smo enkrat dnevno izpustili usedlo blato iz dotočne komore preko ročnega ventila in na ta način simulirali delovanje črpalke za odvajanje usedlega blata. Fotografija testne naprave se nahaja na Sliki 41.



Slika 42: Slika filtrirne naprave
Figure 42: Photo of tested filtration device

4.2 Analizne metode

Na testni napravi smo izvajali naslednje meritve:

- število čiščenj filtrirne tkanine/dan,
- KPK in TSS na dotoku in iztoku iz testirane naprave [mg/L],
- KPK in TSS iztoka odpadne vode po čiščenju filtrirne tkanine [mg/L],
- KPK in TSS v komori surove vode [mg/L],
- meritev nivojev na dotoku in iztoku [mm],
- čas med čiščenji filtrne tkanine [min],
- kontrola dotoka na filtrno enoto [L/h],
- obremenitev filtrne površine [gTSS/(m²h)],
- pretok odpadne vode po čiščenju filtrirne tkanine [m³/h].

4.2.1 Določanje kemijske potrebe po kisiku (KPK)

Kemijska potreba po kisiku (KPK) v mg/L je masna koncentracija ekvivalenta kisika za količino porabljenega dikromata pri določenih pogojih, ki se uporabi kot kemijski oksidant za popolno oksidacijo organske snovi. Temelji na kemijski oksidaciji vseh organskih snovi v odpadni vodi in titrimetrični določitvi koncentracije nezreagirane oksidanta v odpadni vodi.

KPK je merilo onesnaženja vod z biološko razgradljivimi in nerazgradljivimi organskimi snovmi (Blaznik, 2014).

Pri analizi homogenega vzorca sem dobila vrednost skupnega KPK, pri analizi filtriranega dela vzorca pa vrednost topnega KPK (fKPK). Razlika med skupnim in topnim KPK je partikularni KPK (pKPK). S kemijsko oksidacijo določimo porabo kisika za popolno oksidacijo snovi v odpadni vodi. Višja kot je vrednost KPK, večje je onesnaženje odpadne vode.

Vzorčenje:

Preglednica 14: Napotki pri konzerviranju ter delu z vzorci (ISO, 1985)

Table 14: Preservation and handling of water samples (ISO, 1985)

Parameter	Vrsta posode P=polietilen G=steklo BG=borsilikatno steklo	Tehnika konzerviranja	Mesto analize	Maksimalni dovoljeni čas izvedbe analize vzorca
KPK	P ali G	hraniti na hladnem (2 -5°C) ter temnem prostoru	laboratorij	takoj, ko je mogoče
		nakisanje na pH < 2 z H ₂ SO ₄	laboratorij	2 dni
		zamrzovanje na - 20°C	laboratorij	1 mesec

Območje umeritvene krivulje:

Umeritvena krivulja sem pripravila s pomočjo standardnih raztopin Kalijevega hidrogen ftalata v območju od 150 do 1000 mg/l.

Reagenti:

- K₂Cr₂O₇ - Ag₂SO₄ raztopina

za Dr Lange epruvete

- v 200 mL destilirane vode sem raztopila 4,9036 g K₂Cr₂O₇ (predhodno sušenega 2h na 103 °C) ter razredčila do oznake.
- 10 g Ag₂SO₄ prenesla v 1 l merilno bučo

za HACH epruvete

- v 200 mL destilirane vode sem raztopila 2.4518 g K₂Cr₂O₇ (predhodno sušenega 2 h na 103°C) ter razredčila do oznake.
- 10 g Ag₂SO₄ prenesla v 1 l merilno bučo

V merilno bučo sem prelila raztopljeni K₂Cr₂O₇ in nato previdno med mešanjem dodala 600 mL koncentrata H₂SO₄ (skupnega reagenta je okoli 800 mL). Pri tem sem upoštevala varnostne ukrepe za delo z nevarnimi kemikalijami (digestorij, očala, rokavice...)

- HgSO₄ v prahu
- Kalijev hidrogenftalat

Standardna referenčna raztopina, c (KC₈H₅O₄) = 4,1648 mmol/L

Raztopila sem 0.8502 g kalijevega hidrogen ftalata predhodno sušenega na 105 °C v vodi ter razredčila do 1000 mL. Ta raztopina ima teoretični KPK 1000 mg/L. Raztopina je obstojna najmanj 1 teden, če se hrani na temperaturi okoli 4°C.

Priprava epruvet:

- Epruvete Dr. Lange:

V popolnoma čiste in suhe epruvete od Dr. Lange sem dodala noževno konico HgSO₄ v

prahu in 2 mL reagenta ter dobro zamašila. Tako pripravljene epruvete z reagentom so se shranile v hladilniku.

– Epruvete HACH:

V popolnoma čiste in suhe epruvete od Dr. Lange sem dodala nožev konico HgSO_4 v prahu in 4 mL reagenta ter dobro zamašila. Tako pripravljene epruvete z reagentom so se shranile v hladilniku.

Priprava umeritvene krivulje:

Pripravila sem kalibracijske standardne raztopine kalijeve hidrogenftalata z redčenjem koncentrirane standardne raztopine. Kalibracijske standardne raztopine so bile narejene v območju med 150 in 1000 mg/l KPK, v enakih presledkih in minimalno pri 5 različnih koncentracijah.

Tako pripravljene kalibracijske standardne raztopine sem odpipetirala v epruvete z že vsebujočim reagentom.

Na absciso v koordinatnem sistemu sem nanesele KPK vrednosti kalibracijskih standardnih raztopin. Na ordinato pa ustrezne vrednosti absorbanc. Predhodno sem določila valovno dolžino maksimalne absorbance, ki naj bi bila okoli 605 nm.

Skozi merjene vrednosti sem potegnila regresijsko premico.

Kalibracijska funkcija je lahko določena tudi s statistično regresijsko analizo koncentracij KPK kalibracijskih standardnih raztopin ter njim ustreznim absorbancam.

Določitev:

V epruveto z reagentom (Dr. Lange ali HACH) sem dodala 2 mL vzorca (oz. kalibracijskih raztopin) primerno razredčenega, da sem bila v območju umeritvene krivulje KPK.

Epruvete z vzorci sem segrevala v reaktorju 2 uri pri $148 \pm 3^\circ\text{C}$, jih ohladila v temi ter merila absorbanco pri približno 605 nm napram destilirani vodi. Valovna dolžina maksimalne absorbance se je določila predhodno.

Izračun:

Za izračun sem upoštevala umeritveno krivuljo za dani spektrofotometer in epruvete. Upoštevala sem tudi ustrezno razredčitev vzorca.

$$\text{KPK} = \frac{\text{ABS} - a}{b} \quad (20)$$

- ABS absorbanca vodnega vzorca
- a absorbanca slepe, ki jo dobiš z umeritveno krivuljo
- b naklon umeritvene krivulje

Razvoj metode:

Metoda je bila razvita po ISO 6060: 1989-10-15/2 standardu (ISO6060, 1989) z zmanjšanjem volumna reagentov na takšno količino, da jih lahko uporabim epruveto. Končna točka določitve se od razlike z ISO standardom določi spektrofotometrično s pomočjo predhodno določene umeritvene krivulje.

Preglednica 15: Primerjava med ISO 6060: 1989 in določitev KPK po modifikaciji ISO standarda za Dr. Lange epruvete

Table 15: The comparison between ISO 6060: 1989 and the determination of COD by a modification of ISO standard with Dr. Lange test tube

	Modifikacija ISO standarda za dr. Lange epruvete	ISO 6060:1989
Vzorec	2 mL	10 mL
Reagent 1	2 mL na 1 mL vzorca dodamo: – <u>0,0061g K₂Cr₂O₇</u> – 0,0125g Ag ₂ SO ₄ – 0,75mL H ₂ SO ₄	5 mL na 1 mL vzorca dodamo: – <u>0,00588g K₂Cr₂O₇</u> – 0,04g HgSO ₄ – 0,05 mL H ₂ SO ₄
Reagent 2	Noževa konica HgSO ₄	15 mL na 1 mL vzorca dodamo: – 0,015g Ag ₂ SO ₄ – 1,45mL H ₂ SO ₄

Pri tej metodi je najbolj pomembno, da je koncentracija K₂Cr₂O₇ enaka koncentraciji v ISO standardu. Ag₂SO₄ nastopa pri tej analizi kot katalizator, HgSO₄ pa za odstranjevanje motenj, ki jih povzročata kloridni ion. Pomembno je, da je raztopina dovolj kislja, da lahko poteče zadostna oksidacija.

4.2.2 Določanje vsebnosti neraztopljenih snovi (TSS) po ISO 11923

Referenčna analizna metoda:

Kakovost vode – Določanje suspendiranih snovi s filtracijo skozi filter iz steklenih vlaken oziroma ISO 11923 (ISO11923, 1997).

Spodnja meja določitve:

Spodnja meja določitve je 2 mg/L in je določena v zadnjem validacijskem poročilu z oznako VP8.

Tehnika konzerviranja:

Vzorci so bili shranjeni v prozornih posodah in niso bili napolnjeni do vrha. Vzorcju se ne sme dodati kakršnih koli konzervansov. Analiza se mora izvesti v čim krajšem času oz. v 4-ih urah po vzorčenju. Če analize ni bilo mogoče izvesti sem vzorec shranila v temo in pod 8 °C, vendar niso smeli zamrzniti. Če je bil čas med vzorčenjem in analizo presežen ali če sem vzorec shranila, sem to navedla pod opombe pri analizi.

Uporabljena oprema:

- vakuumška črpalka,
- sušilnik za sušenje pri 105 °C + 2 °C
- stekleni okrogli filtri: *Schleicher & Schuell*, GF 55, φ = 47 mm, Ref. No.: 10428526.

Stekleni filtri morajo biti ob vsaki novi seriji preverjeni zaradi izgube mase pri filtriranju.

Postopek:

Izbrala sem tri naključno že pripravljene filtre ter jih stehtala. Skozi sem prefiltrirala 150 mL demineralizirane vode ter jih posušila in ponovno stehtala. Izguba mase filtra med filtracijo ne sme biti večja od 0,3 mg/L. Zapis o preverbi filtrov sem zavedla v analizni zvezek za neraztopljene snovi. Ko so filtri ustrezali sem na škatlice s filtri napisala datum preverbe filtrov.

Opis izvedbe analize:

Priprava filtrov

Filtre sem nastavila na opremo za vakuumsko filtracijo in prefiltrirala 150 mL demineralizirane vode. Filter sem prenesla v petrijevko ter ga sušila v sušilniku najmanj 1 uro pri $105 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ (priporočljivo 2 uri). Tako pripravljene filtre sem nato hranila v pokritih petrijevkah v eksikatorju do analize.

Priprava referenčne suspenzije: mikrokristalna celuloza, $\rho = 500 \text{ mg/L}$

Stehtala sem 0,500 g mikrokristalne celuloze, predhodno sušene 2 uri v sušilniku pri $105 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, in sem jo kvantitativno prenesla v merilno bučo z volumnom 1 l in jo razredčila do oznake z demineralizirano vodo. Stabilnost suspenzije je 3 mesece.

Priprava delovne referenčne suspenzije: $\rho = 50 \text{ mg/L}$

Referenčno suspenzijo s koncentracijo 500 mg/L sem dobro premešala in hitro odmerila v 100 mL bučko. Raztopino sem kvantitativno prenesla v 1000 mL merilno bučo ter jo razredčila z destilirano vodo do oznake. Delovno suspenzijo pripravimo dnevno.

Postopek analize vzorca:

Pripravimo filtre po zgornjem postopku.

Analizo vzorca sem izvedla v 3 paralelkah. Rezultat sem podala kot povprečno vrednost. Zapisala sem uro pričetka izvajanja analize. Vzorec je imel temperaturo okolja.

Izbira volumna vzorca:

Volumen vzorca sem izbrala tako, da bo suhi ostanek na filtru med 5 in 50 mg. Najmanjša masa suhega ostanka na filtru mora biti vsaj 2 mg. Volumen prefiltriranega vzorca naj ne bo večji od 1 l. Volumen vzorca, ki je manjši od 25 mL, se določi s tehtanjem (predpostavka: 1 g vzorca ustreza 1 mL vzorca). Filtracijo sem naredila v manj kot v 1 minuti. Če je bil čas presežen, se je filtracija izvedla z manjšim volumnom vzorca.

Vzorec sem dobro premešala in odmerila v merilni valj ter ga takoj prefiltrirala. Merilni valj sem nato sprala z 20 mL demineralizirane vode ter prefiltrirala. Filter sem ponovno oprala z 20 mL demineralizirane vode.

Ko je bila filtracija končana, sem filtre s pinceto prenesla v petrijevke ter jih sušila pri $105 \text{ }^\circ\text{C} + 2 \text{ }^\circ\text{C}$ eno do dve uri.

Če je vzorec vseboval več kot 1000 mg/L neraztopljenih snovi sem ponovila spiranje filtra v treh porcijah po 50 mL z destilirano vodo. Potrebno je dobro sprati rob filtra.

Postopek analize standarda:

Ob vsaki analizi se je izvedla analiza delovnega standarda. Prefiltrirala sem 200 mL delovne referenčne suspenzije ter analizirala na enak način kot vzorec. Dobljena vrednost je morala biti med in 55 mg/L. Analizo standarda sem izvedla v 3 paralelkah. Rezultat sem podala kot povprečno vrednost ter jo vnesla v kontrolno karto.

Izračun koncentracije neraztopljenih snovi:

$$\rho = \frac{1000 \cdot (b - a)}{V} \quad (21)$$

kjer je:

- ρ koncentracija neraztopljenih snovi [mg/L]
- b masa filtra po filtraciji [mg]
- a masa filtra pred filtracijo [mg]
- V volumen vzorca [mL]

Ko sem vzorec tehtala sem predpostavila, da je 1 g ekvivalenten 1 mL volumna.

Podajanje rezultata:

Poleg rezultata sem podala tudi pretečen čas od vzorčenja do pričetka analize ter vsa odstopanja, ki bi lahko vodila do napačnega rezultata. Kadar je bila koncentracija pod 2 mg/L, se v programu BiaLims (Bialims, 2015) kot rezultat izpisalo < 2 mg/L, v tem primeru sem pod opombo zapisala okvirna vrednost je ___ mg/L. Pod opombe sem zapisala vsa odstopanja in opazke med analizo.

4.3 Opis postopka testiranja testne naprave »Mini filter 1«

Surova odpadna voda, namenjena za testiranje filtracije, se je dovajala iz iztoka naknadnega usedalnika na testirano filtrirno napravo preko potopne črpalke z naslednjimi karakteristikami:

Tip	T.I.P.
Pretok	3 L/s
Tlačna višina	7 m

Zaradi omejitve filtrne površine (4 dm²) je bilo potrebno zagotoviti pretok na testirano filtrno napravo v območju 200 – 400 L/m², kajti s tem pretokom se doseže priporočljiva hitrost filtracije pod 10 m/h.

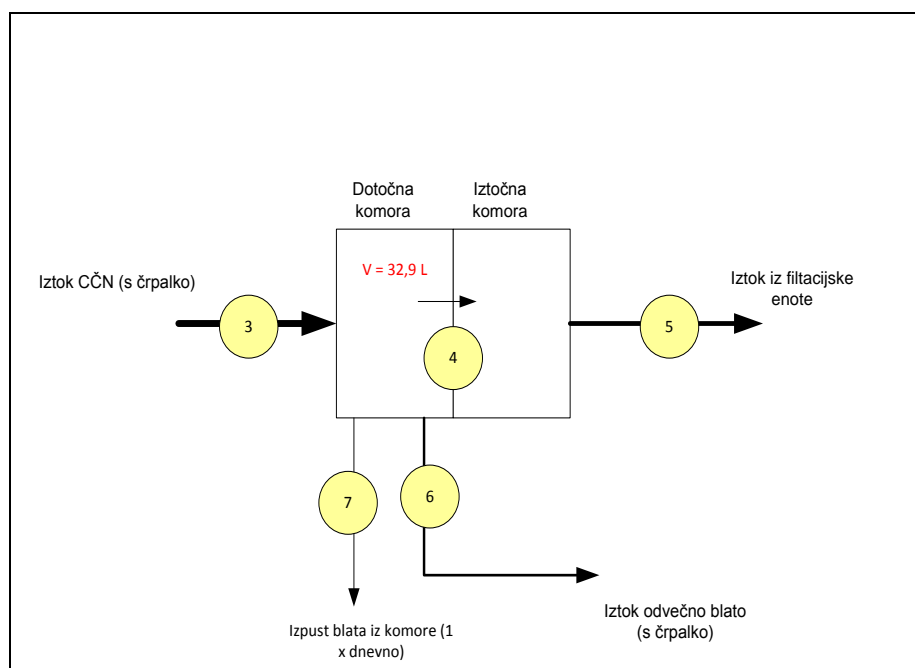
Surova voda iz iztoka naknadnega usedalnika je dotekala na filtrirno napravo preko dotoka v dotočno komoro surove vode, kjer so se dnevno med delovnim tednom (ponedeljek – petek) od 3. 7. 2012 do 20. 9. 2012 odvzemali vzorci dotoka za meritve KPK in TSS. Vrednosti KPK in TSS so se merile enkrat dnevno na dotoku na filtrirno napravo in na iztoku iz nje - seznam merilnih mest prikazuje Priloga B, vezano na shemo delovanja testirane filtrirne naprave pod običajnimi pogoji delovanja (Slika 42).

Izvajale so se naslednje meritve:

- pretok dotoka na testirano filtrirno enoto,
- pretok odvečnega blata, ki je rezultat čiščenja filtrne tkanine, ki se izvede po indikaciji zmanjšanja pretoka skozi filter in pri tem znižanja gladine v iztočni komori,
- količina sedimentiranega blata iz dotočne komore,
- *on-line* meritev vsebnosti TSS na dotoku na testirano filtrirno enoto,
- nivoji so se merili v dotočni in iztočni komori,
- s pomočjo števca se je dnevno spremljalo število izpiranj testiranega filtra.

V laboratoriju so se izvajale enkrat dnevno meritve TSS, in sicer:

- povprečni dnevni vzorec TSS na dotoku na testirano filtrirno enoto,
- povprečni dnevni vzorec TSS na iztoku iz testirane filtrirne enote,
- vsebnost TSS odvečnega blata po čiščenju filtrne tkanine,
- vsebnost TSS usedlega blata po izpustu iz dotočne komore.



Slika 43: Shema delovanja testirane filtrirne naprave »Mini filter 1« (redno obratovanje)

Figure 43: Scheme of operation of tested filtration device »Mini filter 1« (regular operation)

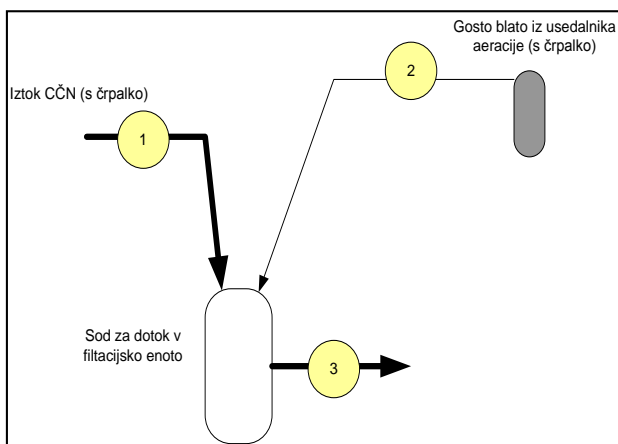
Preglednica 16: Seznam merilnih mest pri delovanju testirane filtrne enote »Mini filter 1«

Table 16: List of measuring locations at operation of tested filtration unit »Mini filter 1«

Merilno mesto	Enote	1	2	3	4	5	6	7
Pretok	L/h	Lokacije simulacije z povišano vsebnostjo TSS		da	/	/	da	/
Volumen	L		/	/	/	/	da	
TSS <i>on line</i>	mg/L		da	/	/	/	/	
TSS <i>lab</i>	mg/L		da	/	da	da	da	
Nivo	mm		/	da	/	/	/	
Število spiranj	/		/	da	/	/	/	

- / meritev se ni izvajala na tej lokaciji

Po 17. 8. 2013 se je pričela izvajati simulacija povečane vsebnosti TSS na dotoku v testirano filtrirno enoto (Slika 43).

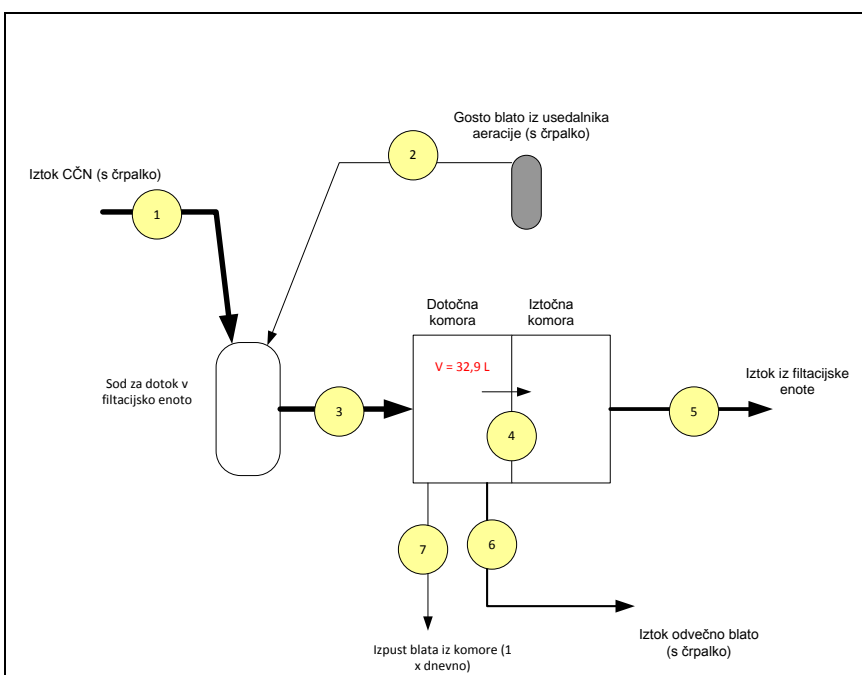


Slika 44: Simulacija povečanega TSS za dotok na testirano filtrirno enoto

Figure 44: Simulation of increased TSS for the inflow to the tested filtration unit

Na polovici testiranja smo pričeli s simulacijo povečane vsebnosti TSS na dotoku z namenom, da ugotovimo delovanje testirane naprave v primeru izjemnih razmer. Med izjemne razmere, ki se lahko pojavijo v praksi, lahko uvrstimo izplavljanje blata iz naknadnega usedalnika.

Simulacijo (slika 43) smo izvajali na način, da smo sedaj črpali vodo na dotok filtrirne naprave iz sode (200 l) pripravljene surove vode (simulacija izplavljanja blata). V sod smo dodajali blato iz usedalnika biološke stopnje s pomočjo črpalke in hkrati merili TSS mešanice.



Slika 45: Shema delovanja testirane filtrirne naprave »Mini filter 1« (simulacija povišanega TSS)

Figure 45: Scheme of operation of tested filtration device »Mini filter 1« (simulation of increased TSS)

Dotok na filtracijo mora zagotavljati 200L/h (Mecana, 1999). Glede na želeno koncentracijo TSS na dotoku v testirano filtrirno napravo, izračunamo potreben pretok gostega blata iz biološke stopnje oz. določimo ustrezno razmerje pretokov med dotokom iz iztoka CČN in pretokom gostega blata iz biološke stopnje (slika 44).

Preglednica 17: Princip izračuna simuliranega TSS na dotoku v testirano filtrirno enoto

Table 17: Principle of calculation of simulated TSS on the inflow into the tested filtration unit

Merilno mesto	Enota	3	1	2
		Dotok v filtracijo	Iztok iz CČN	Gosto blato iz aeracije
Pretok	L/h	Določen podatek 200 L/h	200 – x	x izračunamo
TSS	mg/L	Želen podatek	Izmerjeno	Meritev

Merilna mesta celotne simulacije prikazuje Preglednica 16.

Preglednica 18: Seznam merilnih mest pri delovanju testirane filtrne enote »Mini filter 1« (simulacija povišanega TSS)

Table 18: List of measuring location at operation of tested filtration unit »Mini filter 1«

Merilno mesto	Enota	1	2	3	4	5	6	7
Pretok	L/h	/	da	da	/	/	da	/
Volumen	L	/	/	/	/	/	/	da
TSS <i>on line</i>	mg/L	da	/	/	/	/	/	/
TSS <i>lab</i>	mg/L	/	da	da	/	da	da	da
Nivo	mm	/	/	/	da	/	/	/
Število spiranj		/	/	/	da	/	/	/

– / meritev se ni izvajala na tej lokaciji

Izvajale so se naslednje meritve:

- meritev pretoka gostega blata iz usedalnika aeracije,
- pretok dotoka na testirano filtrirno enoto,
- pretok odvečnega blata, ki je rezultat čiščenja filtrne tkanine, ki se izvede po indikaciji zmanjšanja pretoka skozi filter in pri tem znižanju gladine v iztočni komori,
- količina sedimentiranega blata iz dotočne komore,
- *on-line* meritev vsebnosti TSS na dotoku na testirano filtrirno enoto,
- nivoji so se merili v dotočni in iztočni komori,
- s pomočjo števca se je dnevno spremljalo število izpiranj testiranega filtra.

v laboratoriju so se izvajale enkrat dnevno meritve TSS, in sicer:

- povprečni dnevni vzorec TSS na dotoku na testirano filtrirno enoto,
- povprečni dnevni vzorec TSS gostega blata iz usedalnika aeracije,
- povprečni dnevni vzorec TSS na iztoku iz testirane filtrirne enote,
- vsebnost TSS odvečnega blata po čiščenju filtrne tkanine,
- vsebnost TSS usedlega blata po izpustu iz dotočne komore,

Iz rednih meritev pretoka smo lahko spremljali razmere na dotoku in iztoku. S kontrolo količine/volumna odvečnega blata iz dotočne komore smo lahko okvirno predvideli kakovost surove vode glede na TSS na dotoku, kajti če je bila vrednost volumna usedlega blata večja,

smo lahko pričakovali višje rezultate meritev TSS na dotoku.

Iz meritev TSS smo lahko zaključili, kako sprememba kakovosti surove vode, glede na TSS, vpliva na parametre filtracije, kot so TSS na iztoku, število čiščenj filtrne tkanine in spremembe nivojev v dotočni in iztočni komori. Iz pridobljenih podatkov TSS, pretoka in velikosti filtrne površine se je izračunala vrednost stopnje obremenitev filtrne površine s TSS ($gTSS/(m^2h)$).

S primerjavo nivojev v dotočni in iztočni komori smo lahko sklepali, kakšna je onesnaženost/zamašenost filtrne tkanine, kajti povišanje nivoja v dotočni komori nam je nakazovalo zamašenost filtrne tkanine in potrebo po čiščenju le-te oz. stopnjo očiščenosti filtrne tkanine po čiščenju. Pomembni pokazatelj je tudi število čiščenj filtrne tkanine na dan, kajti ta podatek nam lahko pomaga pri oceni vsebnosti TSS na dotoku oz. nam poda informacijo o učinkovitosti čiščenja filtrne tkanine. Na podlagi podatkov o količini odpadne vode po čiščenju in časa čiščenja filtrne tkanine se je izračunal pretok odpadne vode čiščenja filtrne tkanine.

4.4 Izračuni

Pretok

Izračun potrebnega pretoka s specifično hidravlično obremenitvijo površine 10 m/h se lahko izračuna:

$$A = Q/V_f \quad (22)$$

$$Q = AV_f \quad (23)$$

$$Q = AV_f = 0,04 \text{ m}^2 \cdot 10 \text{ m/h} = 0,4 \text{ m}^3/\text{h} = 400 \text{ L/h}$$

Pri čemer je:

- V_f filtrirna hitrost [m/h]
- A filtrirna površina [m²]
- Q dotok na filtrirno napravo [m³/h]

Pretok na dotok testirane filtrirne naprave smo omejili z ročnim ventilom, ki smo ga nastavili na pozicijo, ki je zagotavljala pretok v območju 200 - 400 L/h (Priloga C, graf 5).

Stopnja obremenitve površine

Stopnja obremenitve površine pri zahtevani specifični hidravlični površinski obremenitvi filtra s tkanino se tako izračuna:

$$TSS_{\text{stopnja obremenitve}} (gTSS/m^2h) = TSS_{\text{obremenitev}} (mg/L) Q (L/h) / A (m^2) * 1000 \quad (24)$$

Pri čemer je:

- $TSS_{\text{obremenitev}}$ rezultat meritve
- Q pretok na dotoku in je v območju 200 - 400 L/h ter se preveri ob vsaki meritvi TSS

- A konstanta ($0,04\text{m}^2$) in pomeni velikost filtrirne površine

Vrednost izračunane stopnje obremenitve TSS mora biti v okviru priporočenih in preverjenih območij obremenitve z delci, in sicer $0,2 - 1,33 \text{ kg/m}^2\text{h}$.

Kontrola dotoka na testirano filtrirno enoto Q_k

Preverjanje Q_k poteka na sledeč način:

Ob vsaki meritvi TSS se preveri tudi dotok na testirano napravo, in sicer tako, da se v 10 L odmerni posodi nalije voda, nato se izmeri čas, v katerem se le-ta napolni s količino vode 10 l. Povprečen čas je znašal 1,7 min, kar pomeni 353 L/h. S tem rezultatom smo zadovoljni, saj smo v območju 200 - 400L/h in zadovoljujemo omejitve glede hitrosti filtracije.

$$Q_k = V_{\text{dotoka}} / t_{\text{dotoka}} = 10 \text{ l} * 60 / 1,7 \text{ min} = 0,353 \text{ m}^3/\text{h} = 353 \text{ L/h} \quad (25)$$

Pri čemer je:

- Q_k dotok na testirano filtrirno enoto [L/h]
- V_d količina surove vode, ki je konstanta in znaša $V = 10 \text{ L}$
- t_d izmerjen čas polnjenja volumna 10 L s surovo vodo [s]

Popravek hitrosti filtracije

$$v_k = A * V_f \rightarrow V_f = Q_k / A = 0,353 \text{ m}^3/\text{h} / 0,04 \text{ m}^2 = 8,8 \text{ m/h} \quad (26)$$

Pretok odpadne vode čiščenja filtrirne tkanine

$$Q_{\check{c}} = V_{\check{c}} / t_{\check{c}} \quad (27)$$

Pri čemer je:

- $Q_{\check{c}}$ pretok odpadne vode od čiščenja filtrirne tkanine [L/h]
- $V_{\check{c}}$ volumen zajete odpadne vode po čiščenju tkanine [L]
- $t_{\check{c}}$ čas čiščenja filtrirne tkanine [s]

Količina/volumen odvečnega blata iz dotočne komore - simulacija odvajanja usedlih snovi

$$Q_{ob} (\text{m}^3/\text{h}) = V_{ob} (\text{m}^3) / t_{ob} (\text{h}) \quad (28)$$

Pri čemer je:

- Q_{ob} pretok odvečnega blata [L/h]
- V_{ob} zajeta količina odvečnega blata [L]
- t_{ob} čas dotoka odvečnega blata [s]

Čas čiščenja

Kontrola povprečnega časa med čiščenji filtrirne tkanine t_k

$$t_k (\text{min}) = 1440 \text{ min} / \text{št. čiščenj na dan} \quad (29)$$

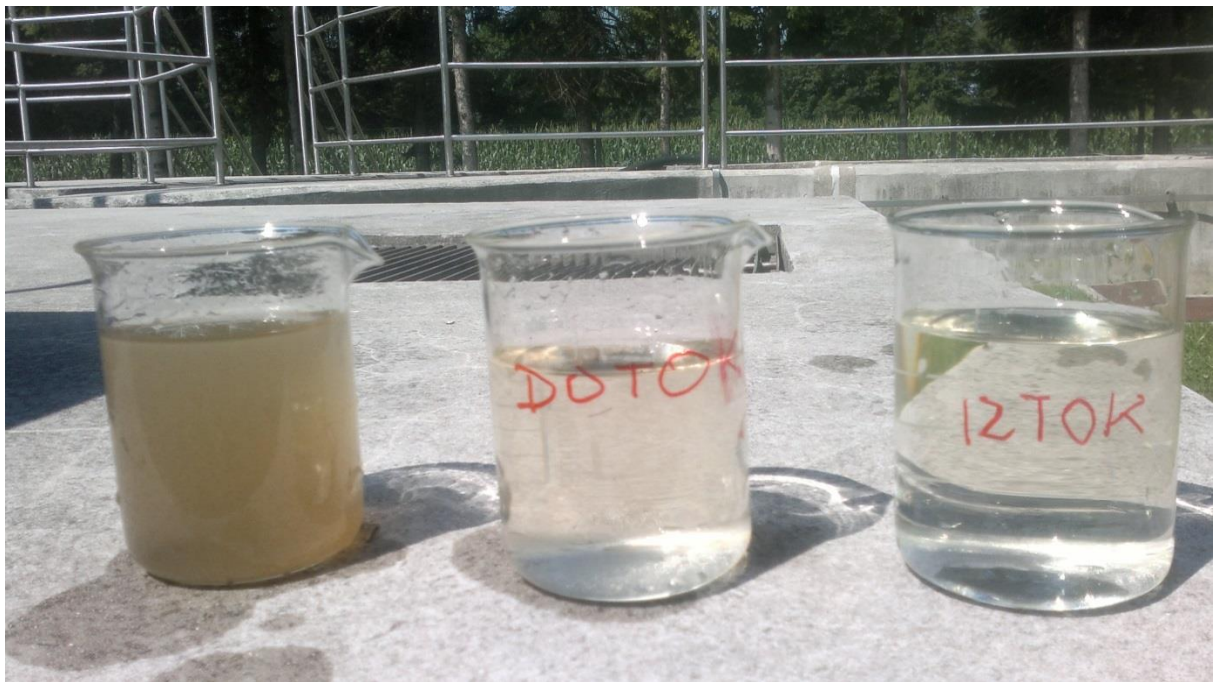
4.5 Povzetek rezultatov testiranja

Rezultati meritev *on-line*, v laboratoriju in na terenu, vključno z izračuni, so vključeni v

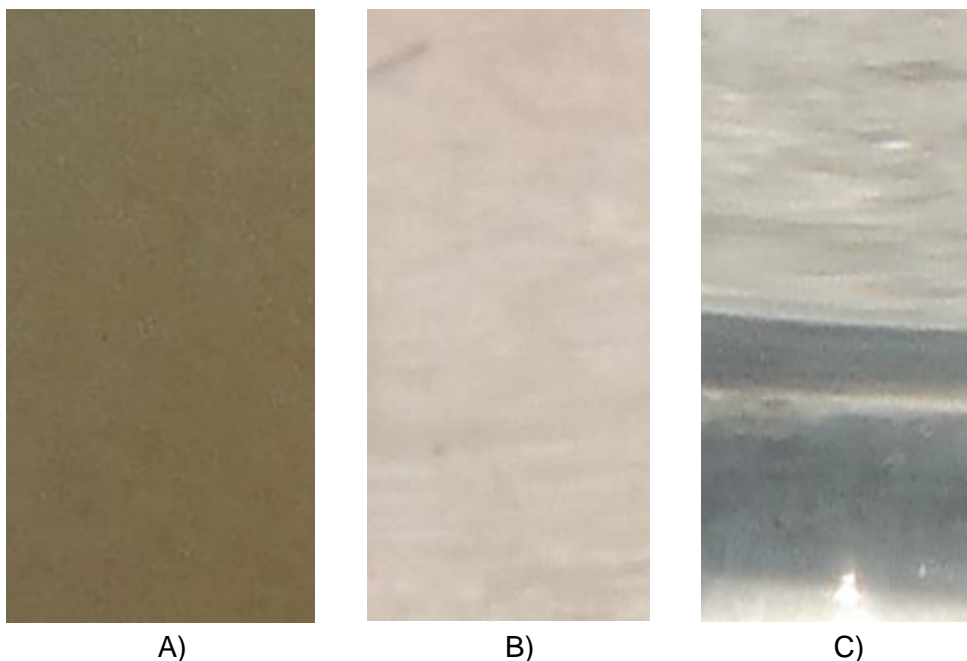
PRILOGI B v nadaljevanju.

Opravljena je bila tudi vizualna kontrola učinka filtracije (Slika 45 in Slika 46), iz katere je razviden učinek odstranjevanja trdnih delcev in obarvanosti oz. motnosti.

Vzorci so vzeti ob običajnem obratovanju testirane filtrne enote in ne v fazi dotoka s povečano vsebnostjo TSS. Na desni je vsebina odpadne vode ob čiščenju filtrne tkanine, v sredini je dotok na filtrno enoto ter na levi iztok iz filtrne enote. Iz samih fotografij je možno vizualno opaziti učinek filtracije. Pravilen vpogled nam prikažejo meritve, ki so zbrane v preglednici v Prilogi B in grafično prikazane v Prilogi C na grafih od 1 do 6.



Slika 46: Vizualna kontrola učinka filtracije
Figure 46: Visual control of filtration effect



Slika 47: Vizualna kontrola učinka filtracije (detajli)

- A) odpadna voda po čiščenju
- B) dotok na filtrirno napravo
- C) iztok iz filtrirne naprave

Figure 47: Visual control of filtration effect (details)

- A) waste water after celaning
- B) inflow to the filter
- C) outflow from the filter

4.6 Primer optimizacije nadgradnje III. faze CČN Ljubljana z globinsko filtracijo s tkanino

Pri projektiranju nadgradnje III. faze Centralne čistilne naprave Ljubljana so se upoštevale smernice DWA-A 131 (ATV-DVWK, 2000), ki so uradne nemške smernice za načrtovanje komunalnih čistilnih naprav. Projektiranje sta izvedli podjetji Veolia Voda d.o.o. in aqua consult GmbH Hannover. Podatki v nadaljevanju se nanašajo na projektno dokumentacijo pripravljeno s strani omenjenih podjetij (Veolia Voda d.o.o., 2011).

Cilji nadgradnje CČN Ljubljana:

povečanje zmogljivosti CČN Ljubljana zaradi že izvedenih in predvidenih priključevanj novih uporabnikov (ocenjeno na dodatnih 120.000 PE),
izgradnja terciarne stopnje čiščenja (odstranjevanje dušikovih spojin in fosforja).

4.6.1 Dimenzioniranje nadgradnje CČN Ljubljana

Na podlagi posredovanih podatkov monitoringa so bili podrobneje preučeni naslednji parametri v obdobju zadnjih treh let (2008, 2009 in 2010):

- BPK₅,
- KPK,
- skupni dušik,

- skupni fosfor,
- neraztopljene snovi (TSS).

Obremenitev BPK₅ vrednosti je 0,06 kg BPK₅ oz. 60g na populacijski ekvivalent na dan. Povzetek analize parametrov je predstavljen v preglednici 17.

Preglednica 19: Vrednotenje vhodnih podatkov (Veolia Voda d.o.o., 2011).

Table 19: Input data evaluation (Veolia Voda d.o.o., 2011).

Parameter	Enota	Dotok/ Iztok	Obratovalno obdobje		
			2008	2009	2010
BPK ₅	t/d	15 %	17,4	17,4	16,2
		Povprečje	23,4	22,2	21,4
		85 %	28,2	26,1	26,1
KPK	t/d	15 %	32,4	34,0	30,5
		Povprečje	44,1	41,8	39,0
		85 %	52,4	48,2	46,5
Celotni dušik	t/d	15 %	2,2	2,5	2,3
		Povprečje	2,9	3,1	2,9
		85 %	3,4	3,6	3,5
Celotni fosfor	t/d	15 %	0,5	0,6	0,5
		Povprečje	0,7	0,7	0,6
		85 %	0,9	0,8	0,7
TSS	t/d	15 %	15,5	17,5	15,1
		Povprečje	22,4	23,3	21,5
		85 %	28,9	28,1	26,0

Obremenitev čistilne naprave je opredeljena glede na stopnjo BPK₅ obremenitve. Opažene so rahle spremembe v obremenitvi CČN Ljubljana v zadnjih 3 letih. Za nadaljnjo analizo bodo podrobno obdelane obremenitve v letu 2010. 85 % vrednost BPK₅ obremenitve (okoli 26 tBPK₅ /d) je osnova za določitev zmogljivosti čistilne naprave. Trenutna obremenitev CČN Ljubljana znaša 435,000 PE.

Dogovorjeno je, da je potrebno pri povečanju zmogljivosti CČN Ljubljana upoštevati razvojne načrte mesta in okolice do leta 2025. V naslednjih letih bodo nekatere obstoječe manjše čistilne naprave opuščene in njihovo funkcijo bo prevzela CČN Ljubljana. Upoštevati je potrebno tudi dograditev kanalizacijskega sistema dela obstoječih območij s predvidenimi dodatnimi poselitvenimi področji. Dodatno potrebna zmogljivost CČN Ljubljana na osnovi zgoraj opisanih podatkov tako znaša dodatna obremenitev CČN Ljubljana 120,000 PE.

Preglednica 20: Povzetek obremenitev sedanjega stanja, dodatnih obremenitev in predlog za nadgradnjo (Veolia Voda d.o.o., 2011).

Table 20: Summary of current state loads, additional loads and proposal for the upgrade for WWTP Ljubljana (Veolia Voda d.o.o., 2011).

Parameter	Enota	Obstoječe stanje	Dodatne obremenitve	Nadgradnja 2025
Dnevni sušni pretok	m ³ /d	90.000	16.800	106.800
Dnevni konični sušni pretok	m ³ /h	5.000	950	5.950
Deževni pretok	m ³ /h	6.480	1.235	8.000
BPK ₅	t/d	26,10	7,20	33,50
KPK	t/d	46,50	14,40	61,00
Celotni dušik	t/d	3,50	1,32	4,90
Celotni fosfor	t/d	0,70	0,22	0,90
Neraztopljene snovi	t/d	26,00	8,40	34,50

4.6.2 Koncepti nadgradnje

Za čiščenje komunalnih odpadnih voda sta za obstoječimi grabljami in peskolovom mogoča dva koncepta čiščenja:

- obdelava odpadne vode v biološkem sistemu s primarno sedimentacijo ali
- obdelava odpadne vode v biološkem sistemu brez primarne sedimentacije.

Če v sistem čiščenja odpadnih voda vključimo primarno sedimentacijo, je potrebno organsko obremenjeno primarno blato ustrezno obdelati in stabilizirati. Ekonomična in širše uporabna tehnologija za stabilizacijo primarnega blata je anaerobna stabilizacija v gniliščih, ki vključuje tudi obdelavo odvečnega blata iz biološke stopnje.

Glavne značilnosti uporabe primarne sedimentacije so:

- zmanjšana obremenitev biološke stopnje (potrebne so manjše prostornine bazenov),
- nižja poraba energije za biološko stopnjo,
- proizvodnja bioplina iz vira primarnega blata v anaerobnih gniliščih,
- odstranitev plavajočega blata in maščob.

Možni sta torej dve varianti, in sicer brez primarnega usedalnika ali z primarnim usedalnikom. Preverjeni in ocenjeni sta bili obe varianti. Primerjava je bila izvedena med izračunanim dotokom (koncept brez primarne sedimentacije) in iztokom iz primarne sedimentacije, kot alternativa.

4.6.3 Nadgradnja CČN Ljubljana s primarno sedimentacijo (VARIANTA 1)

4.6.3.1 Opis procesa

Za odstranjevanje suspendiranih snovi bo v liniji dotoka iz peskolova pred biološko stopnjo vgrajen primarni usedalnik. Obstoječa biološka stopnja bo optimizirana glede na procesno tehnologijo in procesni nadzor, povečana bo prostornina biološke stopnje, če bodo izračuni pokazali, da je to potrebno. Zmogljivost naknadnega usedalnika je potrebno dodatno

preveriti. Primarno blato bo zgoščeno in odvedeno v anaerobno obdelavo v gnilišča.

Primarni usedalnik ima lahko pravokotno ali okroglo zasnov. Usedljive snovi se sedimentirajo/usedajo na dnu primarnega usedalnika in se odstranjujejo s pomočjo posnemala in odvzemnih jaškov. Tako zajeto blato se imenuje primarno blato in ima vsebnost organskih snovi okoli 65 %, s koncentracijo 2.0 % suhe snovi v konusu primarnega usedalnika. Učinkovitost primarnega usedalnika je odvisna od zadrževalnega časa odpadne vode v bazenu, merodajen projektni parameter je tudi dnevni konični sušni pretok Q_t , ki znaša 5,950 m³/h. Učinkovitost primarne sedimentacije glede na različne parametre je prikazana v Preglednici 19, (ATV-DVWK, 2000).

Preglednica 21: Učinkovitost primarne sedimentacije (Veolia Voda d.o.o., 2011).

Table 21: The effectiveness of primary sedimentation (Veolia Voda d.o.o., 2011).

Parameter	Enota	Projektirana dotočna obremenitev na CČNL	Iztok iz primarne sedimentacije	Učinek primarne sedimentacije (%)
Dnevni pretok	m ³ /d	106.800	---	---
Sušni pretok	m ³ /h	5.950	---	---
BPK ₅	t/d	33,50	22,30	33,30
KPK	t/d	61,00	40,10	33,30
TKN	t/d	4,90	4,50	9,10
P	t/d	0,90	0,80	11,10
TSS	t/d	34,50	12,30	64,30

Projektni parametri, ki so bili izbrani za omenjeni projekt:

- zadrževalni čas v primarni sedimentaciji 1,64 h (1-2h)
- hidravlična projektna obremenitev $Q_t = 5.950 \text{ m}^3/\text{h}$ oz. 1.653 L/s
- potrebna prostornina 9.758 m³
- izbrana prostornina 9.800 m³
- 4 x pravokotni bazeni, vsak 2.450 m³
- globina 3,50 m
- dolžina 70,00 m
- širina 10,00 m
- razmerje dolžina/širina 7 : 1

Zmanjšanje suspendiranih snovi v biološki stopnji nam omogoča večjo učinkovitost pri obstoječi prostornini.

4.6.4 Nadgradnja CČN Ljubljana brez primarne sedimentacije (VARIANTA 2)

4.6.4.1 Opis procesa

V primeru izbora variante brez primarnega usedalnika se odpadna voda vodi v biološko stopnjo brez primarnega usedanja. Površina, predvidena za razširitev biološke stopnje, leži neposredno ob obstoječi biološki stopnji - in na ta način bi bila mogoča izvedba brez dolgih in

novih cevovodov. Linija vode na CČNL se tako bistveno ne bi spremenila. Biološka stopnja bi bila na ta način realizirana kot pred-denitrifikacijska naprava z dobrim učinkom čiščenja.

Potrebna je izgradnja dodatnih bazenov za razširitev čistilne naprave, in sicer potrebna je izgradnja 30.000 m³ dodatnih volumnov bioloških bazenov, v primeru da vodimo proces v biološki stopnji s koncentracijo suhe snovi 4,5 g.

4.6.5 Predlog izbora variante

Naš predlog kot projektanta je bila VARIANTA 1 - varianta s primarnim usedalnikom. Investicijski in obratovalni stroški so bistveno nižji pri izboru zgoraj navedene variante s primarnim usedanjem. Eden od razlogov, ki govori v prid predlagane variante, je že obstoječe anaerobno gnilišče.

4.6.6 Iztok iz naknadnih usedalnikov

Koncentracije iztoka iz naknadnega usedalnika glede na DWA A-131 so odvisne od specifične volumnske obremenitve q_{Vol} . Specifična volumnska obremenitev podaja volumen blata, ki se dovaja v naknadni usedalnik, glede na volumnsko in časovno enoto. Vrednost se izračuna, kot sledi:

$$q_{Vol} = SS_{AT} \cdot SVI \cdot Q_m \cdot (1+RV)/Vol_{FC} \quad (30)$$

- q_{Vol} specifična volumnska obremenitev [L/(m³h)]
- SS_{AT} koncentracija suspendiranih snovi v biološki stopnji [mg/L]
- SVI volumnski indeks blata [mL/l]
- Q_m deževni dotok (maksimalni dotok) [m³/h]
- RS stopnja povratnega blata [l] $RS=1$
- Vol_{FC} prostornina naknadnega usedalnika [m³]

$$q_{Vol} = 3,6 \cdot 120 \cdot 8.000 \cdot (1+1) / 25.200$$

$$= 274 \text{ L/(m}^3\text{h)}$$

Koncentracija suspendiranih snovi v iztoku po naknadnem usedalniku ($SS_{FC,e}$) smo izračunali na naslednji način:

$$SS_{FC, e} = 3,15 \cdot 10^{-4} \cdot q_{Vol}^2 \quad (31)$$

$$SS_{FC, e} = 3,15 \cdot 10^{-4} \cdot 274^2 = 23,6 \text{ mg/L}$$

Zakonsko dovoljena najvišja koncentracija suspendiranih snovi v iztoku iz čistilne naprave je $SS_e \leq 35 \text{ mg/L}$ (Uradni list, 2007). Pri nadgradnji III. faze CČN Ljubljana je zahteva 25 mg SS/L v iztoku.

Izračunana vrednost $SS_{FC,e} = 23,6 \text{ mg/L}$ je preblizu te zahteve. Za zagotovitev 25 mg SS/L v

iztoku je potrebno upoštevati okoli 60% koncentracije, ki se upošteva v izračunih pri običajnih pogojih obratovanja.

$$SS_{FC,e} \text{ zahtevano v obratovanju} = 15 \text{ mg SS/L}$$

Za doseganje izračunane koncentracije suspendiranih snovi 15 mg SS/L je potrebna naslednja specifična volumska obremenitev:

$$\begin{aligned} q_{Vol} &= 218 \text{ L/(m}^3\text{h)} \\ S_{FC,e} &= 3,15 \cdot 10^{-4} \cdot 218^2 = 15 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Za doseganje teh vrednosti sta dve možnosti:

- znižanje koncentracije suspendiranih snovi v bioloških bazenih (večje prostornine bioloških bazenov so potrebne), $SS_{aT, \max} = 2,85 \text{ g/l}$
- povečanje naknadnih usedalnikov, potrebna prostornina $Vol_{FC} = 31.500 \text{ m}^3$.

Kot alternativna možnost je na voljo vključitev dodatne globinske filtracijske enote. Zmanjšanje suspendiranih snovi v biološki stopnji nam omogoča večjo učinkovitost pri obstoječi prostornini. Za povečanje naknadnih usedalnikov bi potrebovali $6,300 \text{ m}^3$ dodatne prostornine, pri izhodiščni prostornini 25.200 m^3 . Z vključitvijo dodatne globinske filtracije se odstranijo tudi suspendirane snovi, ki so prisotne v iztoku iz naknadnega usedalnika. Maksimalna koncentracija suspendiranih snovi, ki se lahko odstrani, je okoli $SS_{\max} = 50 \text{ mg/L}$. Učinkovitost globinske filtracije, ki se predlaga, je v izračunih $\geq 70 \%$.

V primerjavi obeh variant (z/brez primarne sedimentacije) se za doseganje čim učinkovitejše izrabe obstoječe strukture vključi globinska filtracija.

4.6.7 Povzetki rezultatov projektantskih izračunov

- Projektni pretok $Q_m = 8.000 \text{ m}^3/\text{h}$ (Veolia Voda d.o.o., 2011):

Koncentracija suspendiranih snovi v biološki stopnji:

$$SS_{AT} = 4,50 \text{ g/l}$$

Specifična volumska obremenitev naknadnega usedalnika:

$$Q_{Vol} = 342 \text{ L/(m}^3\text{h)}$$

Koncentracija suspendiranih snovi v iztoku iz naknadnega usedalnika:

$$SS_{FC,e} = 36,80 \text{ mg/L}$$

Koncentracija suspendiranih snovi po globinski filtraciji:

$$SS_{FC,f} = 11,00 \text{ mg/L}$$

V primeru, da je dotok manjši od maksimalnega projektiranega dotoka, so pričakovane naslednje koncentracije:

- Dnevni konični sušni pretok $Q_t = 5.950 \text{ m}^3/\text{h}$ (Veolia Voda d.o.o., 2011):

Koncentracija suspendiranih snovi iz iztoka iz naknadnega usedalnika:

$$SS_{FC,e} = 20,10 \text{ mg/L}$$

Koncentracija suspendiranih snovi v iztoku po globinski filtraciji:

$$SS_{FC,f} = 6,10 \text{ mg/L}$$

- Povprečni dnevni sušni pretok $Q_d/24 = 4.450 \text{ m}^3/\text{h}$ (Veolia Voda d.o.o., 2011):

Koncentracija suspendiranih snovi iz iztoka iz naknadnega usedalnika:

$$SS_{FC,e} = 11,40 \text{ mg/L}$$

Koncentracija suspendiranih snovi v iztoku po globinski filtraciji:

$$SS_{FC,f} = 3,40 \text{ mg/L}$$

4.6.8 Povzetki izračunov biološke stopnje

Biološka stopnja bo zasnovana v območju ustrezne prilagodljivosti. Glede na optimizacijske postopke je potrebno koncentracijo suspendiranih snovi v biološki stopnji (SS_{AT}) prilagoditi glede na trenutno stanje, obremenitve in temperature. Na primer v času, ko dodatnih 120.000 PE še ni povezanih s CČN Ljubljana, lahko naprava deluje z zmanjšano vsebnostjo SS_{AT} (<4,5 g SS/L).

Zaključek glede na rezultate projektantskega izračuna (Veolia Voda d.o.o., 2011):

- BPK_5 in SS obremenitve na dotoku v biološko stopnjo se znatno zmanjšajo z vključitvijo primarne sedimentacije,
- zadrževalni čas v času koničnega suhega pretoka znaša 1,65h,
- Obstoječa prostornina biološke stopnje je dovolj velika za izvedbo kompletne nitrifikacije/denitrifikacije in odstranjevanje fosforja v primeru, da je koncentracija suhe snovi v bazenih do 4.5 g SS/L,
- Zaradi višjih obremenitev naknadnega usedalnika je potrebno vključiti dodatno globinsko filtracijo (»cloth filtration«),
- Brez globinske filtracije bi bilo potrebno povečati prostornine za približno 20 %.

4.6.9 Izračun globinske filtracije

Za odstranitev preostalih suspendiranih delcev iz iztoka po naknadnem usedalniku je predvidena globinska filtracija. Podatki o obremenitvah (koncentracija suspendiranih delcev v iztoku iz naknadnega usedalnika $SS_{FC,e}$) sledi povzetek rezultatov preračunov v projektni dokumentaciji (Veolia Voda d.o.o., 2011):

- Deževni iztok $Q_m = 8.000 \text{ m}^3/\text{h}$
 $SS_{FC,e} = 36,80 \text{ mg/L}$
- Sušni konični pretok $Q_t = 5.950 \text{ m}^3/\text{h}$
 $SS_{FC,e} = 6,10 \text{ mg/L}$
- Povprečni sušni pretok $Q_d/24 = 4.450 \text{ m}^3/\text{h}$

$$SS_{FC,e} = 3,40 \text{ mg/L}$$

Projektne osnove, katere mora zadovoljevati globinska filtracija:

- | | |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| – Potrebna površina učinkovite globinske filtracije pri 8,000 m ³ /h | 1.000 m ² |
| – Efektivna površina globinske filtracije po enoti | 75 m ² |
| – Potrebne enote (vključno s 5 % potrebe po povratnem spiranju) | 14 kosov |
| – Vključno z dvema <i>stand-by</i> filtroma | 16 kosov |
| – Skupna filtrska površina | 1.200 m ² |
| – Izbrana hitrost filtracije globinske filtracije | ≤ 8 m/h |
| – Predvidena učinkovitost odstranjevanja suspendiranih snovi | ≥ 70 % |
| – Tlačne izgube zaradi globinske filtracije | <1,0 m |

Zaradi kontinuiranega procesa dodatne rezervne filtrne površine niso potrebne.

Ostale dodatne prednosti globinske filtracije so naslednje:

- Zmanjšana koncentracije SS_{AT} , KPK in P v iztoku (približno 1,2 g KPK na g odstranjenega SS, okoli 0,03 g P odstranjenega na g SS),
- iztok po filtraciji je mogoče neposredno voditi na UV-dezinfekcijo (ni trenutno vključena v projekt, vendar je njeno uporabo potrebno pričakovati v prihodnosti).

4.6.10 Obratovalni stroški globinske filtracije s tkanino na CČN Ljubljana

Predvidena letna poraba električne energije: (za pogon filtrov, za črpalke za čiščenje, vezane na sesalne segmente, za črpalke za odvod usedlih delcev)	58.546 kWh
Strošek električne energije 58.546 kWh * 0,10 EUR	cca. 6.000 EUR
Strošek rezervnih delov/material (ob predpostavki menjave tkanine na 6 let)	cca. 75.000 EUR
Strošek dela pri ceni 15 EUR/h	cca. 10.000 EUR
Skupen strošek obratovanje globinske filtracije s tkanino na CČN Ljubljana	cca. 91.000 EUR
Strošek na 1m ³ očiščene odpadne vode, ki se nanaša na globinsko filtracijo s tkanino pri menjavi tkanine na 6 let	0,002 EUR/m³

Uporaba globinskega filtra s tkanino za visoko obremenjene naknadne usedalnike uspešno obratuje, kot primer navajam CČN Oldenburg (Slika 43). Projektiran pretok je 5.800 m³/h s pritokom 50 mg SS_{FCe}/l in zagotovljeno vrednostjo v iztoku iz naknadnega usedalnika ≤ 5,0 mg SS_{Fe}/l . Tukaj so obratovalni stroški globinske filtracije s tkanino v podobnem razmerju kot

na CČN Ljubljana.



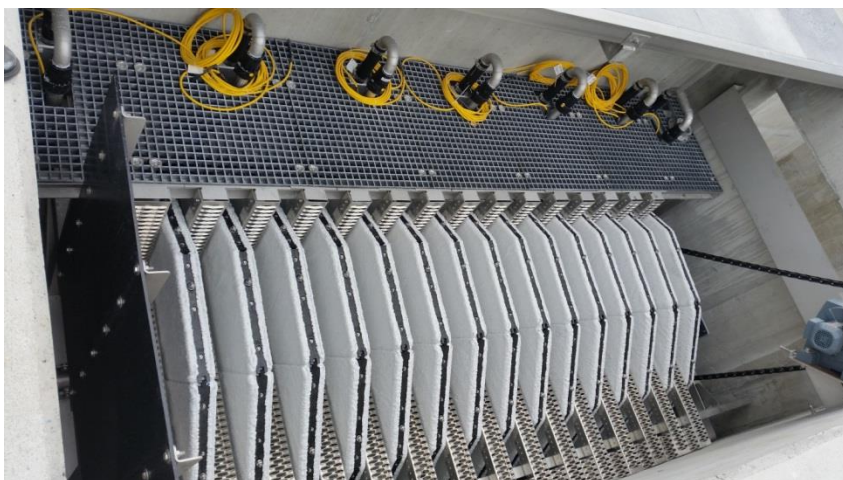
Slika 48: Filtri s tkanino na CČN Oldenburg ($Q_{max}= 5.800 \text{ m}^3/\text{h}$)
Figure 48: Cloth filters on WWTP Oldenburg ($Q_{max}= 5.800 \text{ m}^3/\text{h}$)

Slika 49 prikazuje izgrajene komore za globinsko filtracijo s tkanino na CČN Kranj.



Slika 49: Komore za globinsko filtracijo s tkanino na CČN Kranj
Figure 49: Chamber for cloth filtration on WWTP Kranj (95.000 PE)

Slika 50 prikazuje pa že vgrajene module za globinsko filtracijo s tkanino na CČN Kranj.



Slika 50: Vgrajeni moduli za globinsko filtracijo s tkanino na CČN Kranj
Figure 50: Built-in modules for cloth filtration on WWTP Kranj

5 REZULTATI Z DISKUSIJO

Na osnovi povzetka rezultatov v preglednici v Prilogi 2 (Testiranje filtra s tkanino »Mini filter 1« proizvajalca Mecana na CČN Domžale v obdobju 3. 7. 2012 - 20. 9. 2012) lahko sklepamo, da testirana vrsta filtracije zagotavlja visoko kakovost iztočne filtrirane vode, vezano na suspendirane snovi in KPK, kajti pri zmanjšanju prisotnosti suspendiranih delcev je opazno tudi očitno znižanje KPK.

Po biološkem čiščenju in naknadnem usedalniku smo dosegli s testirano filtracijsko enoto s tkanino v povprečju zmanjšanje TSS za 88,4 %, in sicer v razponu med 73,3 in 96,9 % (Priloga C, graf 6). KPK se je zmanjšal v poprečju za 55,8 %, in sicer v razponu od 32,9 do 85,5% (Priloga C, graf 6).

Pri vstopnih podatkih običajnega obratovanja je razvidno zelo stabilno delovanja filtra. Povprečna vrednost TSS na dotoku je bila 22,8 mg/L, na iztoku pa 3,3 mg/L. Povprečna vrednost KPK na dotoku je 43,9 mg/L, na iztoku pa 24,5 mg/L. Pri izvedbi simulacije povečanja vsebnosti TSS na dotoku v testirano filtrirno enoto je znašala vrednost preko 330 mg/L, v povprečju pa 122,3 mg/L, kar pomeni faktor povečanja 5,3 od povprečja, izmerjenega na dotoku pri običajnem delovanju, pri tem se je vrednost TSS na iztoku povišala v povprečju na 6,8 mg/L, kar pomeni faktor povečanja 2 (Priloga C, graf 1, 2, 6).

Podobna situacija je razvidna tudi pri odstranjevanju KPK, in sicer v fazi simulacije se je KPK na dotoku povečal v poprečju na 135,5 mg/L, kar pomeni faktor 3, pri tem pa se je KPK na iztoku povečal v povprečju na 31,1 mg/L, kar pomeni faktor 1,27. Iz navedenega lahko sklepamo, da testirana filtracija dosega izredno dobre rezultate filtracije TSS in KPK tudi pri ekstremnih vrednostih le-teh na dotoku (Priloga C, graf 4, graf 6).

Pri omenjenih povečanih vrednostih je bilo opazno povečano število čiščenj filtrirne tkanine, in sicer je naraslo iz povprečja 55 čiščenj na dan na poprečje 304 čiščenj na dan, pri tem se je posledično zmanjšal čas med čiščenji filtrne tkanine iz povprečne vrednosti 26 min na povprečno vrednost 7 min v fazi simulacije s povečano simulirano vrednostjo TSS na dotoku (Priloga C, graf 3).

Pričakovati je bilo, da bo moč doseči točko preboja pri delovanju testiranega filtra, pri kateri bo filter neprestano v fazi čiščenja filtrirne tkanine, toda te točke ni bilo možno doseči v času testiranja.

Iz navedenega lahko zaključimo, da testirana filtrirna enota s tkanino omogoča visoko obratovalno varnost, saj tudi med čiščenjem filtrne tkanine omogoča filtracijo surove vode. Pri ekstremno visokih obremenitvah glede TSS je prisotno intenzivnejše čiščenje tkanine, kar pomeni večje količine odpadne vode pri čiščenju oz. večje količine odvečnega blata, ki pa se odvaja na vhodno črpališče čistilne naprave (Priloga 3, slika 3). Naprava torej pri ekstremnih pogojih ne povzroča posebnih dodatnih stroškov za zagotavljanje ustrezne kakovosti iztoka. Pomembno dejstvo je tudi, da testirana filtracija pri delovanju oz. čiščenju filtrirne tkanine ne potrebuje dodatnih kemikalij, posledica česar so manjši stroški, kar zadeva porabo kemikalij, in manjši stroški za osebje, ki upravlja z napravo. Naprava pri čiščenju filtrne tkanine tudi ne

povzročča aerosolov, kot je to primer pri mikrositih. Po zagotovilih proizvajalca filtrne naprave Mecana, ki je bila testirana na CČN Domžale, je potrebno od tipske filtrne naprave s tkanino v praksi pričakovati še boljše rezultate, saj je ustrezno urejeno odvajanje usedlin v dotočni komori, sesalni segmenti za čiščenje tkanine pa imajo večjo površino, delujejo z višjimi tlaki in so zaradi omenjenega bolj učinkoviti.

Lahko zaključimo, da je sistem filtracije s tkanino, ki je bil testiran na CČN Domžale-Kamnik, optimalna rešitev za zvišanje obratovalne varnosti celotne čistilne naprave in optimalna rešitev za zagotavljanje stalne visoke kakovosti iztoka glede TSS in KPK. Zmanjša se tudi delež P, N in težkih kovin, ki se nahajajo v obliki suspendiranih delcev. Prav tako je tudi optimalna rešitev v primeru predpriprave vode za dezinfekcijo iztoka z UV-žarki, kajti odstranijo se trdni delci, ki zmanjšujejo transmisijo UV-žarkov, s tem pa se poveča učinkovitost UV-žarčenja oz. dezinfekcije iztoka s hkratnim znižanjem stroškov električne energije.

Filtracija s tkanino lahko deluje tudi kot varnostni filter na več nivojih pri učinkovitem in optimalnem delovanju čistilnih naprav. Ta dejstva so bila osnova za projektiranje filtracije s tkanino pri optimizaciji nadgradnje III. faze CČN Ljubljana. Za zmanjšanje suspendiranih delcev v iztoku naknadnega usedalnika na CČN Ljubljana je torej predvidena filtracija s tkanino, ki lahko odstranjuje tudi višje koncentracije suspendiranih delcev zaradi tridimenzionalnega globinskega učinka.

Na CČN Ljubljana se lahko pričakujejo povečane vrednosti suspendiranih snovi na dotoku nad $50 \text{ mg SS}_{\text{FC6}}/\text{L}$, samo pri pogojih intenzivnih padavin.

5.1 ZAKLJUČEK

Iz navedenega v magistrskem delu lahko sklepamo, da je naknadna obdelava odpadne vode smiseln postopek pri optimizaciji in povečanju obratovalne varnosti čistilnih naprav. Pri tem postopku se kakovost in stabilnost iztoka povišata. Dodatno obdelana biološko prečiščena odpadna voda pa je lahko vir vode za potrebe, kjer se ne potrebuje voda v kakovosti pitne vode, kar zadovoljuje smernice trajnostnega razvoja.

Tehnologija filtracije, t.j. globinska filtracija s tkanino, ki je bila testirana na CČN Domžale – Kamnik, je ena od tehnologij, ki nam omogoča doseganje nižjih vrednosti iztoka oz. višje kakovosti iztoka. Prednost predstavljene tehnologije filtracije je tudi zelo preprost sistem filtracije, ki vključuje nezahtevno strojno opremo in elektro opremo.

Bistvo filtracije s tkanino je v tkanini, ki omogoča globinsko (3D) filtracijo, kot jo omogočajo peščeni filtri. S testirano filtracijo s tkanino dosegamo 75 % odstranitvev delcev do $15 \mu\text{m}$ ter vrednosti TSS na iztoku pod $5 \text{ mg}/\text{L}$, in sicer tudi v primeru povečane vrednosti TSS na dotoku v filter.

Pomembno je, da pri predstavljeni filtraciji ne prihaja do zamašitve filtrirne površine in do zaustavitve procesa filtriranja. Filtracija s tkanino deluje tudi pri ekstremnem povečanju TSS na dotoku, kar je bilo v našem primeru v povprečju nad $330 \text{ mg TSS}/\text{L}$, in pri tem je bila

izmerjena vsebnost suspendiranih snovi na iztoku okoli 10 mg/L. Opazno je bilo znatno povečanje števila čiščenj filtrne tkanine, in s tem tudi količine vode, potrebne za čiščenje, katera pa se odvaja na dotok čistilne naprave, kar ne povzroča posebnih dodatnih obratovalnih stroškov pri delovanju čistilne naprave.

Ob navedenemu lahko zaključimo, da filtracija s tkanino omogoča visoko obratovalno varnost tudi v izjemnih primerih, ko prihaja do izplavljanja blata iz naknadnega usedalnika, torej tudi v primeru intenzivnih deževnih dogodkov.

Pomembna prednost testirane filtracije s tkanino je, da ne nastajajo dodatni stroški za uporabo kemikalij za čiščenje filtrne tkanine. Upravljanje sistema globinske filtracije s tkanino je preprosto in ne zahteva kadra z visoko izobrazbo.

Z vključitvijo globinske filtracije s tkanino v sistem obdelave komunalne odpadne vode ali tudi obdelavo industrijske odpadne vode dosežemo kakovostno predpripravo vode za dezinfekcijo z UV-sevanjem ali z membranami. Takšen poseg se izraža v nižji porabi električne energije, višji stopnji dezinfekcije in daljši življenjski dobi dezinfekcijskega sistema. V primeru vključitve filtracije s tkanino se znatno zniža tudi strošek porabe kemikalij zaradi minimiziranja potreb po kemičnem čiščenju dezinfekcijskih enot.

Pri samem projektiranju lahko zaradi vključene globinske filtracije s tkanino predvidimo obremenitev biološke stopnje in naknadnega usedalnika z višjo koncentracijo blata, kar vodi v manjše potrebne površine biološke stopnje in naknadnih usedalnikov.

Z obstoječo biološko stopnjo in obstoječimi naknadnimi usedalniki brez razširitve, s prilagajanjem MLSS glede na zahteve, povezane s temperaturo (kar je tako ali tako smiselno z ozirom na prihranek energije), in z vgradnjo filtracije s tkanino bo imela nadgrajena CČN Ljubljana ustrezno obratovalno stabilnost za vse pričakovane obratovalne pogoje. Filtracija s tkanino je predvidena pri optimizaciji CČN Ljubljana (555.000 PE) in vgrajena v fazi rekonstrukcije na CČN Kranj (95.000 PE).

S takšnimi posegi in z znanjem v fazi projektiranja lahko znatno zmanjšamo investicijo pri gradnji čistilnih naprav in s tem hkrati omogočimo višjo obratovalno varnost čistilne naprave, kajti glavna prednost tega tipa filtra je visoka kapaciteta zadrževanja odstranjenih suspendiranih snovi in visoka obratovalna varnost.

5.2 SUMMARY

From the stated in the master's thesis it can be concluded that the secondary waste water treatment is a reasonable procedure at optimizing and increasing the operating safety of waste water treatment plants. At this procedure, the quality and stability of effluent are increased. Additionally treated biologically cleaned waste water can thus become a water source for the needs, where no water of drinking water quality is required, which meets the guidelines of permanent development.

The filtration technology, cloth filtration, which was tested on WWTP Domžale-Kamnik is one of the technologies, by which the lower effluent values or higher effluent qualities can be achieved respectively. The advantage of the presented filtration technology is also a very simple filtration system, which includes undemanding mechanical and electrical equipment.

The point of cloth filtration is in the cloth, which enables depth (3D) filtration like the sand filters. With tested cloth filtration, 75% removal of particles up to 15 μm and values of TSS on the effluent under 5 mg/L can be achieved also in case of increased SS value on the inflow into the filter.

At the presented filtration, it is important that there is no clogging of filtered surface and no stoppage of filtration process occurs. The cloth filtration operates also at extreme TSS increase on the inflow, which was in our case in average above 330 mg SS/l and the suspended matters content on the effluents was measured around 10 mg/L. A considerable increase of number of cleaning of the filtration cloth was observed and by this also the water quantity required for the cleaning, which is drained into the WWTP inflow and doesn't cause any special additional operating costs at WWTP operation.

Considering the above stated we can conclude that the cloth filtration enables high operating safety also in extraordinary cases when it comes to sludge emersion from the secondary clarifier, it means also in the case of intensive rain events.

An important advantage of tested cloth filtration device is that there are no additional costs for the use of chemicals for filtration cloth cleaning. Operating the depth cloth filtration system is simple and doesn't require any high-educated staff.

By including the depth cloth filtration into the municipal waste water treatment system or also industrial waste water treatment, quality water pre-treatment for disinfection with UV radiation or membranes is achieved. Such process reflects in lower consumption of electricity, higher degree of disinfection and longer life period of disinfection system. In case of including the cloth filtration, a cost of chemical consumption is also significantly decreased because of minimizing the needs for chemical cleaning of disinfection units.

At the design itself, the overload of biological stage and secondary clarifier with the higher sludge concentration can be foreseen due to the included cloth depth filtration, which leads to smaller required surfaces of secondary clarifiers.

With the new primary clarifiers, with the existing biological stage and secondary clarifiers without any extension, by adjusting MLSS according to the requirements related to the temperature and installation of cloth filtration, the upgraded WWTP Ljubljana will have a suitable operating stability for all expected operating conditions. Next to the installation at optimization of WWTP Ljubljana (555.000 IE), the cloth filtration has been built-in at the reconstruction of WWTP Kranj (95.000 IE).

By such interferences and knowledge in the design phase, an investment at building the WWTPs can be substantially reduced and at the same time a higher operating safety of WWTP can be achieved. The main advantage of this type of filtration is a high retention capacity of suspended matters and high operating safety.

VIRI

Andreu, P. S., 2009. Estudio del porcentaje de eliminación de partículas por parte de diferentes sistemas de filtración, en el tratamiento terciario de las aguas residuales urbanas. *Tecnología Del Aqua*, pp. 2-15.

Anžič, B., 2002. *Biofilm - difuzijski model*. [Elektronski]
Dosegljivo na: http://www.tims.si/biofilm_1229932585.pdf
[Poskus dostopa 12 Januar 2015].

APHA, 2005. *Standard methods for the examination of water and wastewater No.21*.
Washington, D.C.: American Public Health Association.

ATV, 1985. Biologisch-Chemische und weitergehende Abwasser-reinigung. V: *Lehr und Handbuch der Abwassertechnik*. Berlin, Muenchen: Verlag Wilhelm Ernst&Sohn.

ATV-DVWK, 2000. *Abwasser und Abfall, Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131, Mai 2000*.
Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen. s.l.:Deutsche Vereinigung für
Wasserwirtschaft.

Bialims, 2015. *Bia chem lims*. [Elektronski]
Dosegljivo na: <http://bialims.si/>
[Poskus dostopa 15 Junij 2015].

Boller, 1988. *Verfahren zur Abwasserfiltration*, ATV Fortbildungskurs F2 vom 2.-4.11.1988.
Fulda, s.n.

DIN 4046, 1983. *Wasserversorgung; Begriffe; Technische Regel des DVGW*. Berlin: Beuth
Verlag GmbH.

Dohmann, M., 1975. *Abwasserfiltration mit feinporigem Filtermaterial*,. prva ured. Hannover:
Veroeffentlichungen des Instituts fur Siedlung Wasserwirtschaft und Abfalltechnik der Uni
Hannover, Heft 42.

Drev, D., 1997. Filtri za otprašivanje s mikroporoznim polimernim slojevima. *Polimeri*, Zvezek
1, pp. 228 -232.

Drev, D., 2004. *Modeliranje filtracijskih in biokemijskih procesov pri različnih substratih in pretokih na dimenzioniranje rastlinskih čistilnih naprav in precejalnikov*. Ljubljana: s.n.

Drev, D., 2006. Izdelava politetrafluoretilenskih membran in njihovo laminiranje na tekstilne
podlage. *Strojniški vestnik*, pp. 613-624.

EPA 625/1-75-003, 1975. *Process Design Manual: Suspended Solids Removal*,
Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency .

EPA, 1., 1999. *National Primary and Secondary Drinking Water Regulations: Analytical Methods for Chemical and Microbiological Contaminants and Revisions to Laboratory Certification Requirement*. druga ured. Washington, D.C.: Environmental Protection Agency.

Flemming, H., 1991. Biofilme und Wassertechnologie, Prvi del. V: *Entstehung, Aufbau, Zusammensetzung und Eigenschaften von Biofilmen*, Zvezek 132. Duisburg-Essen: Gwf Wasser Abwasser, str. 197-207.

FSB, 2013. *Teorijske osnova filtracije*. [Elektronski]
Dosegljivo na: <https://www.scribd.com/doc/137896006/Teorijske-osnove-filtracije>
[Poskus dostopa 12 December 2014].

Grabbe, U., 1995. *Untersuchen zur Tuchfiltration-Hinweise zu Bemessung und Betrieb*, Hannover: Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik.

Grabbe, U., 2012. *Leistungsfähigkeit von flächenfilter*. Reichenburg, Švica, Wassertage.

Grabbe, U., 2012. *Leistungsfähigkeit von Flächenfiltern*. Reichenburg, Švica, Wassertage.

Hahn, H., 1971. *Simulation von Filtrationsmodellen*,. Karlsruhe: Engler-Bunte- Institut der universiteat Karlsruhe.

Hardman, E., 2000. Textiles in filtration. *Handbook of technical textiles*, pp. 336-357.

Harremoes, P., 1986. Teoretische und Experimentelle Grundlage der Biofilmmkinetik. *gwf Wasser/Abwasser* .

ISO11923:1997. Determination of suspended solids - Method by filtration through glass fibre filters. s.l.:s.n.

ISO5667-3:1985. Kvaliteta vode - Vzorčenje del 3. Napotki pri konzerviranju ter delu z vzorci vode. s.l.:ISO.

ISO6060:1989. Determination of the chemical oxygen demand. s.l.:ISO.

Ives, K., 1961. New concept in filtration. *Water and Water Engineering No. 65*, July-September, pp. del 1- del 3.

Kompare, B., 2006. *Priprava pitne vode*. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

- Kroiss, H., 1994. Vergleichende Betrachtung von Belebungs und Festbettreaktoren für biologische Abwasserreinigung. *Abwassertechnik*, pp. 51-56.
- Kummer, K. D. G. W. F., 1994. Stabilization of activated sludge processes during wet weather flow through microscreening. *Water, Science & Technology*, vol. 29, No. 1-2,, Zvezek I, p. 393–399.
- Ljunggren, M., 2006. Micro screening in wastewater treatment - an overview. *Vatten* 62, Zvezek I, pp. 171-177.
- Mecana, 1999. *Betriebsanleitung für MINI FILTER 4dm2 Testfilter*. Reichenburg: Mecana.
- Mudrack, K. K. S., 1988. *Biologie der Wasserreinigung*. Stuttgart, New York: Gustav Fischer Verlag.
- Panjan, J., 1985. Teoretična analiza vplivov na proces sedimentacije. *Acta Hydrotecnica* 3, 3: 1–16.
- Panjan, J., 1997. Meritve velikosti suspendiranih delcev pri čiščenju komunalnih odpadnih vod. *Meritve velikosti suspendiranih delcev pri čiščenju komunalnih odpadnih vod*, Junij, Julij, Avgust, pp. 243-252.
- Panjan, J. & Drev, D., 2009. Gradbeni vestnik. *Analiza biofilma in samočistilni procesi v kanalizacijskih sistemih*, December, pp. 297 - 305.
- Raindrops, 2014. *Raindrops*. [Elektronski]
Dosegljivo na: <http://www.roplant.net/pressure-sand-filter.html?panel=0>
[Poskus dostopa 3 2014].
- Rolke, D., 1971. Transportvorgaenge in Filtern., V: *Veroeffentlichungen des Bereichs und des Lehrstuels fuer Wasserchemie*. Karlsruhe: Engler-Bunte-Institut, pp. 305-3015.
- Rosenwinkel, 1997. *Leistungsfahigkeit un Kosten von Filtern in der kommunalen Abwasserreinigung*. prva ured. Hannover: ISAH.
- Salem, c. o., 2014. *City of Salem.net*. [Elektronski]
Dosegljivo na:
<http://www.cityofsalem.net/DEPARTMENTS/PUBLICWORKS/OPERATIONS/WATER%20SERVICES/Pages/SlowSandFiltration.aspx>
[Poskus dostopa 15 December 2013].

Seyfried, C., 1991. *Grundlagen der Filtration und flockungfiltration sowie Auslegung entsperchender Anlagen*. Muenchen, s.n.

SIST_ISO6060, 1996. *Water quality -- Determination of the chemical oxygen demand*.
s.l.:SIST.

Smith, P. A., 2000. Technical fabric structures - 3, Nonwoven fabrics. *Handbook of technical textiles*, pp. 150-171.

Sontheimer, H., 1971. *Grundprobleme und Aufgabenstellungen bei der Filtration, Veröffentlichung Lehrstuhl für Wasserchemie. Filtration 11-20*. prva ured. Karlsruhe: Engle-Bunte - Institut der Universiteat Karlsruhe.

Škerjanec, M., 2008. <http://drugg.fgg.uni-lj.si/>. [Elektronski]
Dosegljivo na: http://drugg.fgg.uni-lj.si/5/1/VKI_0111_Skerjanec.pdf
[Poskus dostopa 3 Januar 2015].

Štirn, J., 2010. *Evtrofikacija – »škodljivo preobilje«*. Bled, Društvo za varstvo okolja Bled.

TI NFPA, H. & P., 2010. *Slideshare*. [Elektronski]
Dosegljivo na: <http://www.slideshare.net/filtersquality/training-for-filtration-1-13-10>
[Poskus dostopa 10 November 2014].

Uni-flo, 2014. *uni-flo.com*. [Elektronski]
Dosegljivo na: <http://www.uni-flo.com/reverse-osmosis.html>
[Poskus dostopa 15 marec 2014].

Uradni list, 2007. *Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav*. s.l.:Uradni list RS, št. 45/07, 63/09 in 105/10.

Veolia Voda d.o.o., a. c. G., 2011. *Idejni projekt Izdradnja III. faze CČN Ljubljana*. Ljubljana: Veolia Voda d.o.o..

Veolia-VWS, 2012. <http://www.veoliawatertechnologies.co.uk/>. [Elektronski]
Dosegljivo na:
http://www.veoliawatertechnologies.co.uk/waterandwastewater/municipal/technologies-solutions/Discfilters_and_Drumfilters/discfilters/
[Poskus dostopa 28 November 2013].

Vodni filter, 2013. Wikipedija. http://sl.wikipedia.org/wiki/Vodni_filter. [Elektronski]
Dosegljivo na: http://sl.wikipedia.org/wiki/Vodni_filter
[Poskus dostopa Januar 2013].

Wikipedija, 2014. <http://en.wikipedia.org/>. [Elektronski]

Dosegljivo na: http://en.wikipedia.org/wiki/Pt/Co_scale

[Poskus dostopa 15 September 2014].

PRILOGE

PRILOGA A: Tehnični podatki filtrirne enote »Mini filter 1«

PRILOGA B: Preglednica meritev KPK, TSS in pretokov na testirani filtrirni napravi

PRILOGA C: Grafi meritev

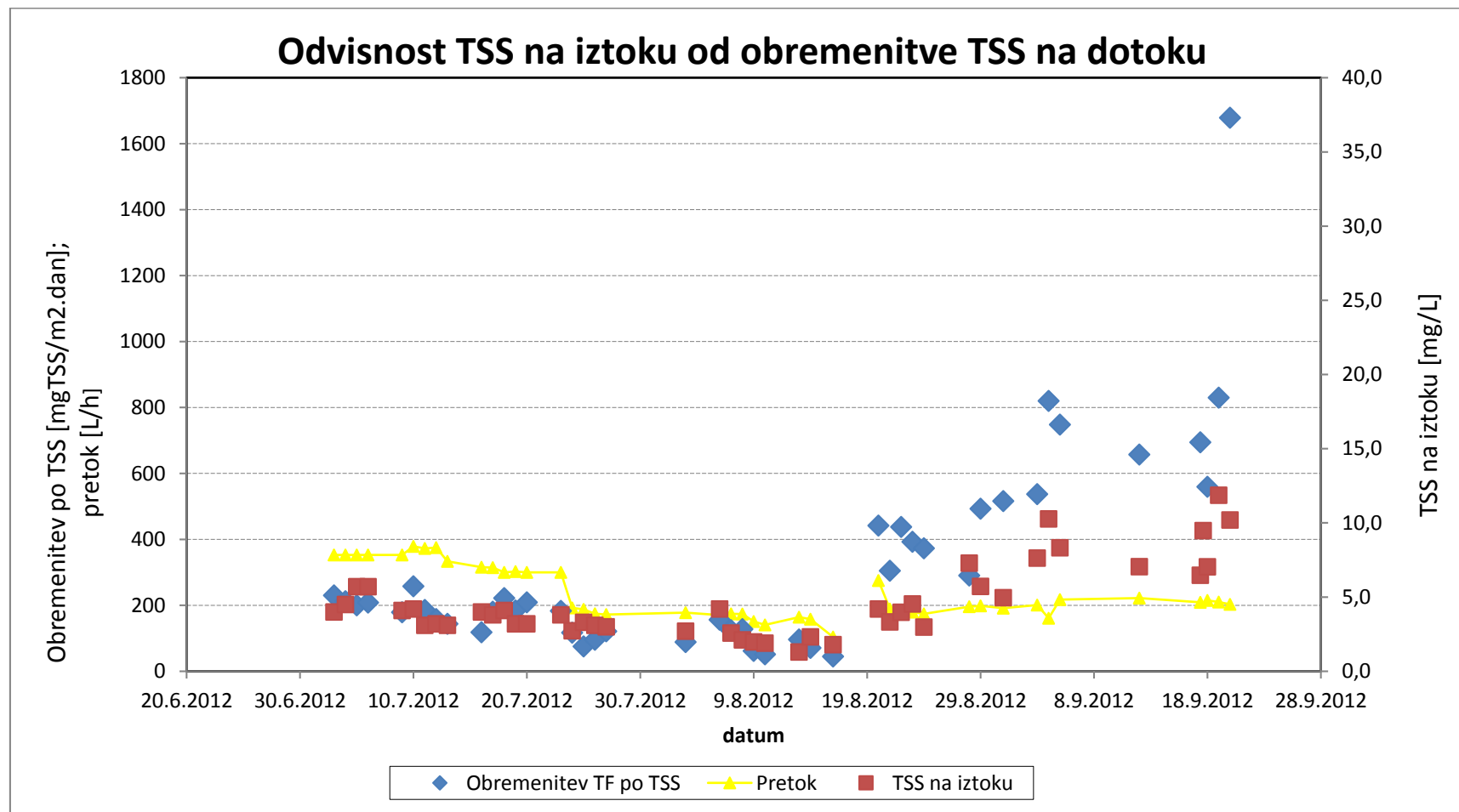
PRILOGA B – Preglednica meritev KPK, TSS in pretokov na testirani filtrirni napravi

Datum	Št. spiranj	TSS dotok v 2 urah	VZORCI ANALIZE								Čas med spiranji	Pretok - dotok na filter			Obremenitev TF po TSS	Pretok - odvečno blato			Odstotek zmanjšanja vsebnosti na iztoku	
			Dotok na filtracijo		Iztok iz filtracije		Odvečno blato		Dotočna komora			Volumen	Čas	Pretok		Volumen	Čas	Pre-tok (m ³ /h)		
			TSS	KPK	TSS	KPK	TSS	KPK	TSS	KPK				od 200 do 400		do 400				
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	min	L	min	L/h	gTSS/m ² .h	l	sek	m ³ /h	mg/L	mg/L	
tor, 3.7.2012		23,6	26,1	55,7	4,0	27,2	297,8	258,5			15,1	10,0	1,7	353	230	10,6	12,3	3,1	84,7	51,2
sre, 4.7.2012		23,2	24,1	58,6	4,5	29,8	198,8	256,5	107,4	124	16,99	10	1,7	353	213	10,3	12,4	3,0	81,3	49,1
čet, 5.7.2012		23,1	22,7	46,5	5,7	25,8	193	255,5	589,8	664,5	18,12	10	1,7	353	200	10,4	12,7	2,9	74,9	44,5
pet, 6.7.2012		21,2	23,6	46,75	5,7	27	194	247		1860	18,8	10	1,7	353	208	10,7	12,7	3,0	75,8	42,2
pon, 9.7.2012		16,5	20,3	37,4	4,1	24,7	260	329	1621,8	2410	19,0	10	1,7	353	179	7,2	12,6	2,1	79,8	34,0
tor, 10.7.2012		25,3	27,2	46,95	4,2	26,9	291	369,5	865,8	1177,5	14,2	10	1,6	379	258	6,4	13,0	1,8	84,6	42,7
sre, 11.7.2012	67	18,5	20	40,7	3,1	26,6	251	298	870,5	1157	18,1	10	1,6	372	186	6,9	12,6	2,0	84,5	34,6
čet, 12.7.2012	65	19,5	16,9	33,6	3,2	22,2	282	344	630,5	715	21,0	10	1,6	375	158	6,1	12,7	1,7	81,1	33,9
pet, 13.7.2012	57	17,6	17,3	34,4	3,1	22,8	255	323	903,3	774	24,5	10	1,8	333	144	6,5	12,6	1,9	82,1	33,7
pon, 16.7.2012	59	14,3	15	34,95	4	22	280	350,5	1220,9	2045,3	25,7	10	1,9	316	118	6,3	12,7	1,8	73,3	37,1
tor, 17.7.2012	60	22,6	23	45,8	3,8	25,9	290	375,5	1130,8	1490	22,2	10	1,9	314	181	6,1	12,5	1,8	83,5	43,4
sre, 18.7.2012		26,9	29,6	48,3	4,1	25,3	326	335	453	607,5	22,2	10	2,0	300	222	5,2	12,7	1,5	86,1	47,6
čet, 19.7.2012		25,0	24,4	50,6	3,2	27,6	294	394,5	494,5	735,3	21,6	10	2,0	303	185	5,3	12,8	1,5	86,9	45,5
pet, 20.7.2012		25,9	27,9	48	3,2	26,3	300	394,5	742,2	854	20,1	10	2,0	300	209	5,0	12,8	1,4	88,5	45,2
pon, 23.7.2012		24,0	24,4	39,3	3,8	22,8	352	427,5	1054,3	1677	20,5	10	2,0	300	183	4,5	12,5	1,3	84,4	42,0
tor, 24.7.2012	58	33,4	24,38	40,8	2,73	23,8	353	422,5	1209,5	1585	24,0	10	3,1	192	117	4,2	12,5	1,2	88,8	41,7
sre, 25.7.2012	49	20,4	16,08	44,05	3,3	29,55	360	495,5	920	1312	40,0	10	3,2	188	76	4,3	12,6	1,2	79,5	32,9

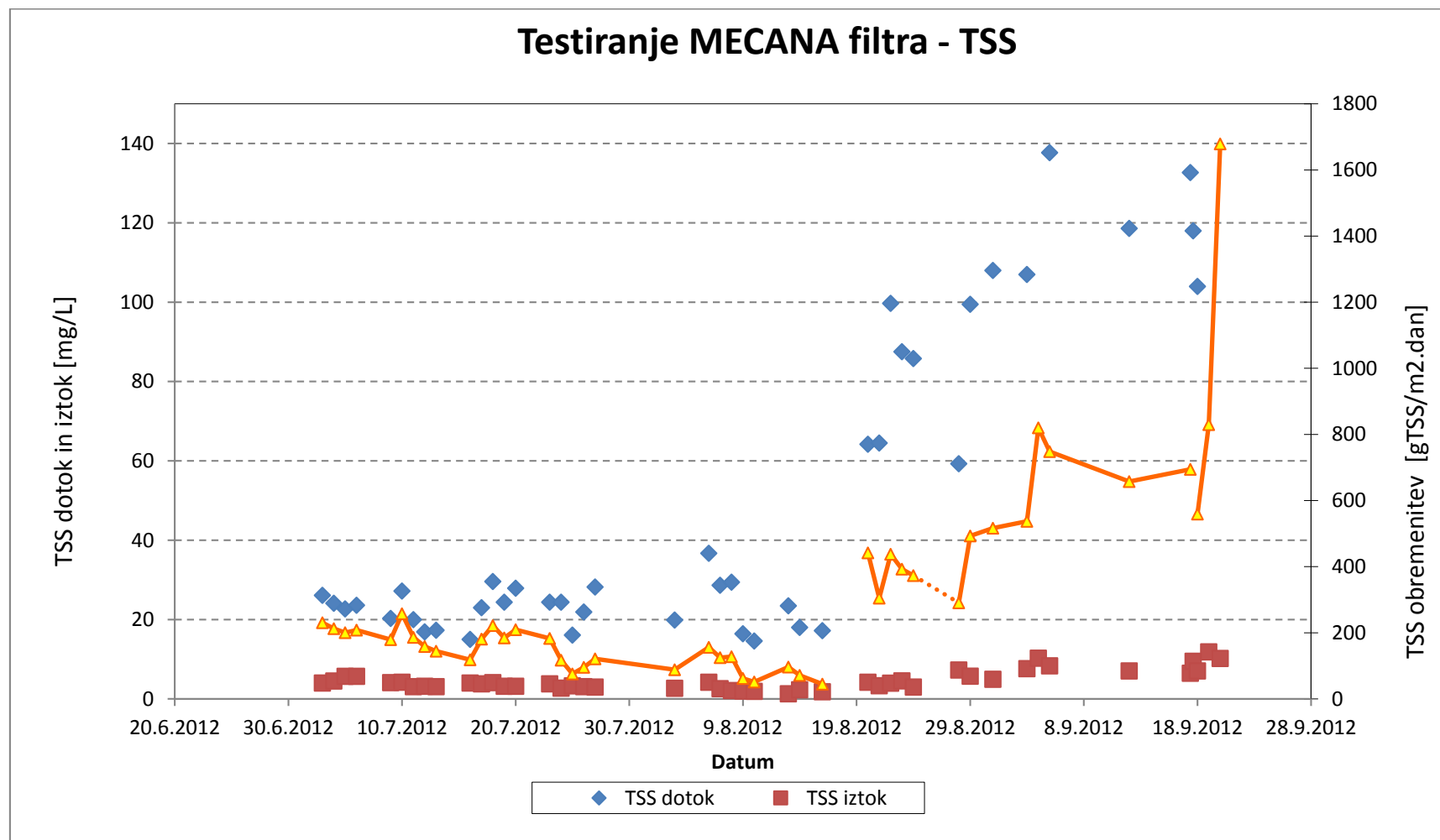
Datum	Št. spiranj	TSS dotok v 2 urah	VZORCI ANALIZE								Čas med spiranji	Pretok - dotok na filter			Obremenitev TF po TSS	Pretok - odvečno blato			Odstotek zmanjšanja vsebnosti na iztoku	
			Dotok na filtracijo		Iztok iz filtracije		Odvečno blato		Dotočna komora			Volumen	Čas	Pretok		Volumen	Čas	Pre-tok (m ³ /h)		
			TSS	KPK	TSS	KPK	TSS	KPK	TSS	KPK		od 200 do 400	do 400	nad 1,5		TSS	KPK			
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	min	L	min	L/h	gTSS/m ² .h	l	sek	m ³ /h	mg/L	mg/L	
čet, 26.7.2012	49	21,4	21,91	42,85	3,1	24,65	372	455	841,16	1291	43,8	10	3,4	174	96	4	12,6	1,1	85,9	42,5
pet, 27.7.2012	47	27,7	28,2	50,8	3	26	327	450	898,2	1279	34,7	10	3,5	172	121	4,08	12,8	1,2	89,4	48,8
pet, 3.8.2012	47	23,2	19,9	45,9	2,7	26,73	184	466,83	930,2	1294	39,2	10	3,4	178	88	4,1	12,7	1,2	86,4	41,8
pon, 6.8.2012	59		36,7	52,15	4,2	21,95	183	241,5	2179	2472	22,0	10	3,5	170	156	12,6	18,3	2,5	88,6	57,9
tor, 7.8.2012	76	43,5	28,65	48,85	2,58	21,15	174	201,5	2351,3	3067,5	22,4	10	3,4	174	125	11,6	18,6	2,2	91,0	56,7
sre, 8.8.2012	73	28,9	29,43	45,45	2,12	20,85	187	250	1628,7	2045	32,4	10	3,5	174	128	7,3	15,0	1,7	92,8	54,1
čet, 9.8.2012	40	32,1	16,43	36,25	1,983	21,35	170	236	2000,3	2692,5	41,7	10	4,0	151	62	10,4	18,3	2,0	87,9	41,1
pet, 10.8.2012	30	11,7	14,6	36,25	1,9	22,5	158	206	1354	2067,5		10	4,3	141	51	10	18,0	2,0	87,0	37,9
pon, 13.8.2012	30	16	23,48	44,05	1,3	20	228	299	1777	2390	35,4	10	3,7	164	96	5,8	18,09	1,2	94,5	54,6
tor, 14.8.2012		13,95	18,01	38,2	2,32	23,9	232	308	1330	1700	35,4	10	3,8	158	71	7,9	18,04	1,6	87,1	37,4
čet, 16.8.2012	67	16,7	17,2	35	1,8	20,7	268	347	1498	2105	35,2	10	5,8	104	45	5,17	18,2	1,0	89,5	40,9
pet, 17.8.2012 Pričetek testiranja s simulacijo dodatne obremenitve																				
pon, 20.8.2012	162	20,37	64,22	71,45	4,2	25,3	233	299	2068	2858	6,8	10	2,2	275	442	6,23	18,17	1,2	93,5	64,6
tor, 21.8.2012	110	23	64,5	71,05	3,33	23,05	236	300	1217	1685	15,7	10	3,2	189	305	6,25	18,10	1,2	94,8	67,6
sre, 22.8.2012	128	19,02	99,73	138	3,98	24,6	98,2	339	1721	466,5	9,3	10	3,4	176	438	5,6	18,0	1,1	96,0	82,2
čet, 23.8.2012	73	19,07	87,53	110,5	4,54	24,7	253	325,5	1190,3	1705	10,66	10	3,34	179	393	6,0	18,13	1,2	94,8	77,6
pet, 24.8.2012	81	21,3	85,8	103,5	2,98	22,4	237	234	1067	2155	10,9	10	3,5	174	373	6,15	17,94	1,2	96,5	78,4
tor, 28.8.2012	160	15,14	59,3	67,5	7,29	24,35	229	260	119	176	8,6	10	3,1	196	290	5,21	18,01	1,0	87,7	63,9

Datum	Št. spiranj	TSS dotok v 2 urah	VZORCI ANALIZE								Čas med spiranji	Pretok - dotok na filter			Obremenitev TF po TSS	Pretok - odvečno blato			Odstotek zmanjšanja vsebnosti na iztoku	
			Dotok na filtracijo		Iztok iz filtracije		Odvečno blato		Dotočna komora			Volumen	Čas	Pretok		Volumen	Čas	Pre-tok (m³/h)		
			TSS	KPK	TSS	KPK	TSS	KPK	TSS	KPK				od 200 do 400		do 400				
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	min	L	min	L/h	gTSS/m².h	l	sek	m³/h	mg/L	mg/L
sre, 29.8.2012	176	25,29	99,5	106,5	5,72	27,5	229	228,5	273	305	7,3	10	3,0	198	493	5,09	18,07	1,0	94,3	74,2
pet, 31.8.2012	134	23,37	108	128	4,96	27	254	339,5	1229,7	1508	5,4	10	3,1	191	516	4,83	17,98	1,0	95,4	78,9
pon, 3.9.2012	192	18,10	107	115	7,63	24,5	270	332	489	660	6,9	10	3,0	201	537	4,74	18,01	0,9	92,9	78,7
tor, 4.9.2012	288	32,07	203,9	178	10,27	33,5	297	375	1590,7	1711	6,5	10	3,7	161	820	4,85	17,99	1,0	95,0	81,2
sre, 5.9.2012	360	35,69	137,7	144,5	8,33	27,9	289	299,5	558,3	700	4,5	10	2,8	217	748	5,31	18,18	1,1	94,0	80,7
sre, 12.9.2012	288	27,48	118,6	172,4	7,05	66,7	278	384,5	642,7	810	4,9	10	2,7	222	658	6,20	17,91	1,2	94,1	61,3
pon, 17.9.2012	288	29,22	132,7	152,9	6,47	26,9	283	346,5	151,3	208	3,7	10	2,9	209	694	5,06	17,89	1,0	95,1	82,4
pon, 17.9.2012			118	145,4	9,48	35,3	260	343,5	299,3	475									92,0	75,7
tor, 18.9.2012	288	20,51	104	131,1	7,04	29,1	304	424	492,67	636	4,0	10	2,8	215	559	4,46	18,03	0,9	93,2	77,8
sre, 19.9.2012	746	20,99	158,1	204	11,87	34,6	321	416,5	1324,7	1706	3,2	10	2,9	210	830	5,27	18,00	1,1	92,5	83,0
čet, 20.9.2012	1387	12,41	330,8	356	10,2	51,6	316	419	1458	1874	1,79	10	3,0	203	1679	5,09	17,84	1,0	96,9	85,5

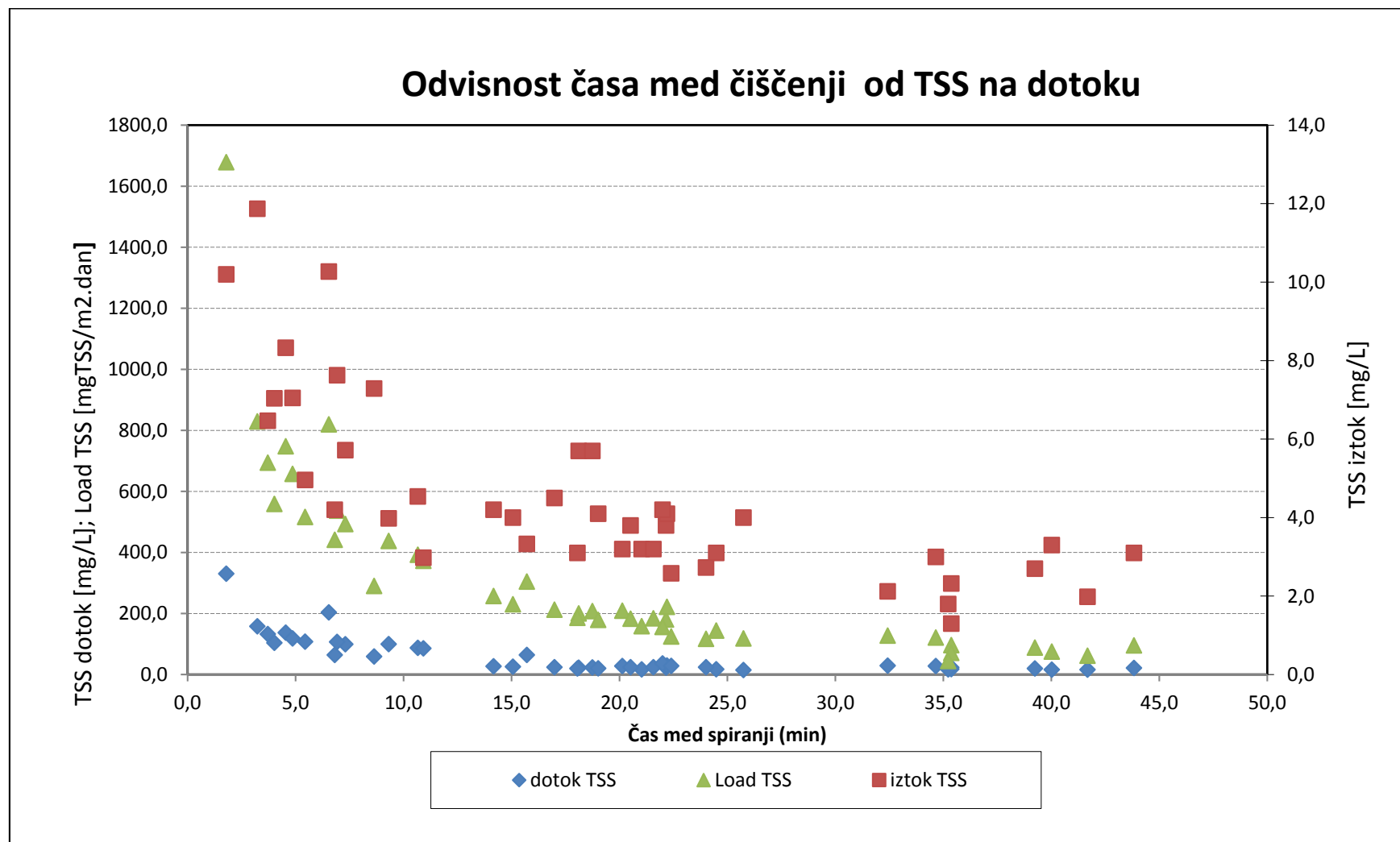
PRILOGA C – Grafi meritev



Grafikon 1: TSS na iztoku v odvisnosti stopnje obremenitve filtrne površine na dotoku in pretoka na dotoku
Graph 1: TSS of the outlet flow as a function of the rate of filter surface load at the inlet and the inlet flow

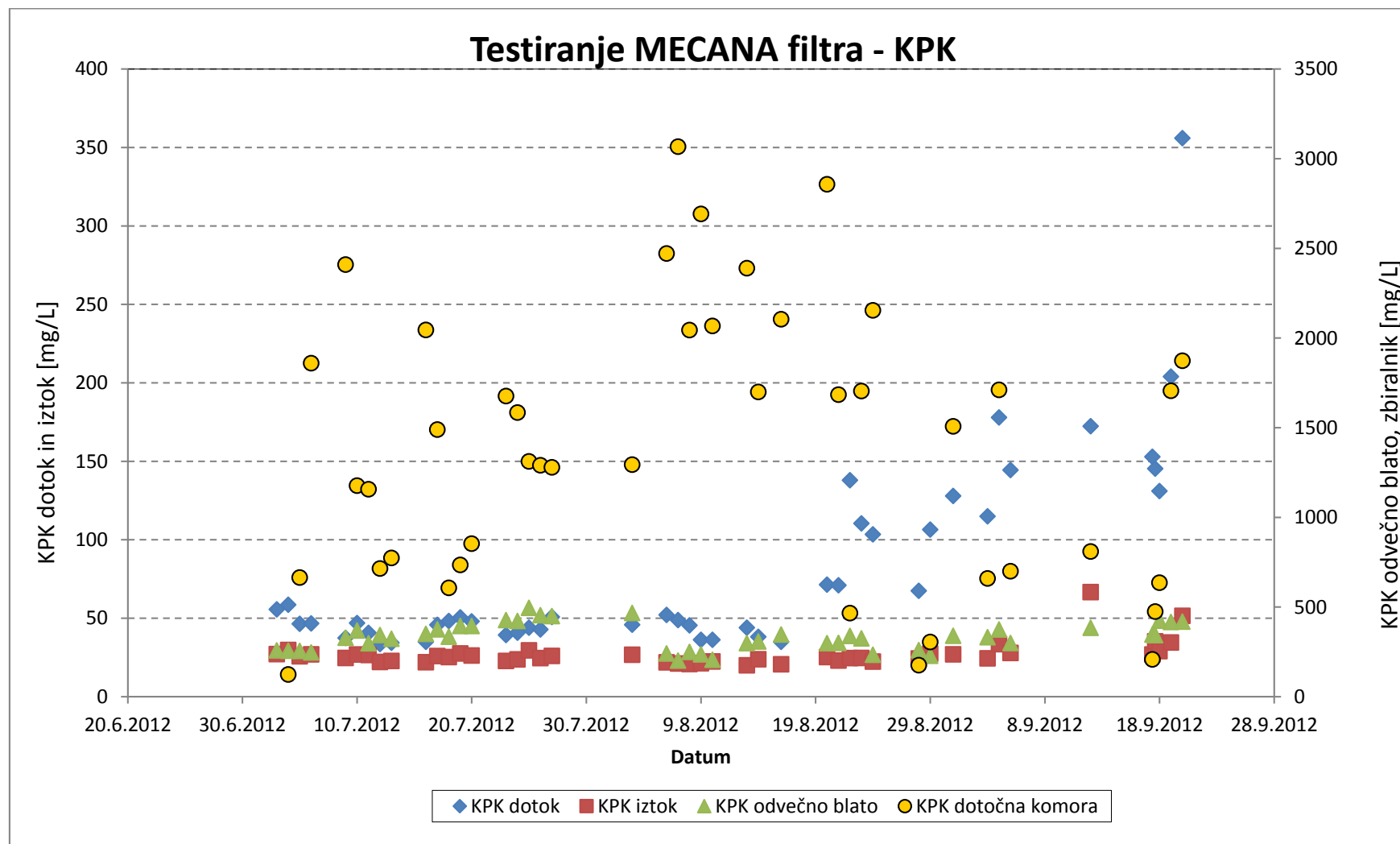


Grafikon 2: TSS na iztoku in stopnja obremenitve filtrne površine v odvisnosti od TSS na dotoku
Graph 2: TSS at the outlet flow and the rate of the filter surface load, as a function of TSS at the inlet flow



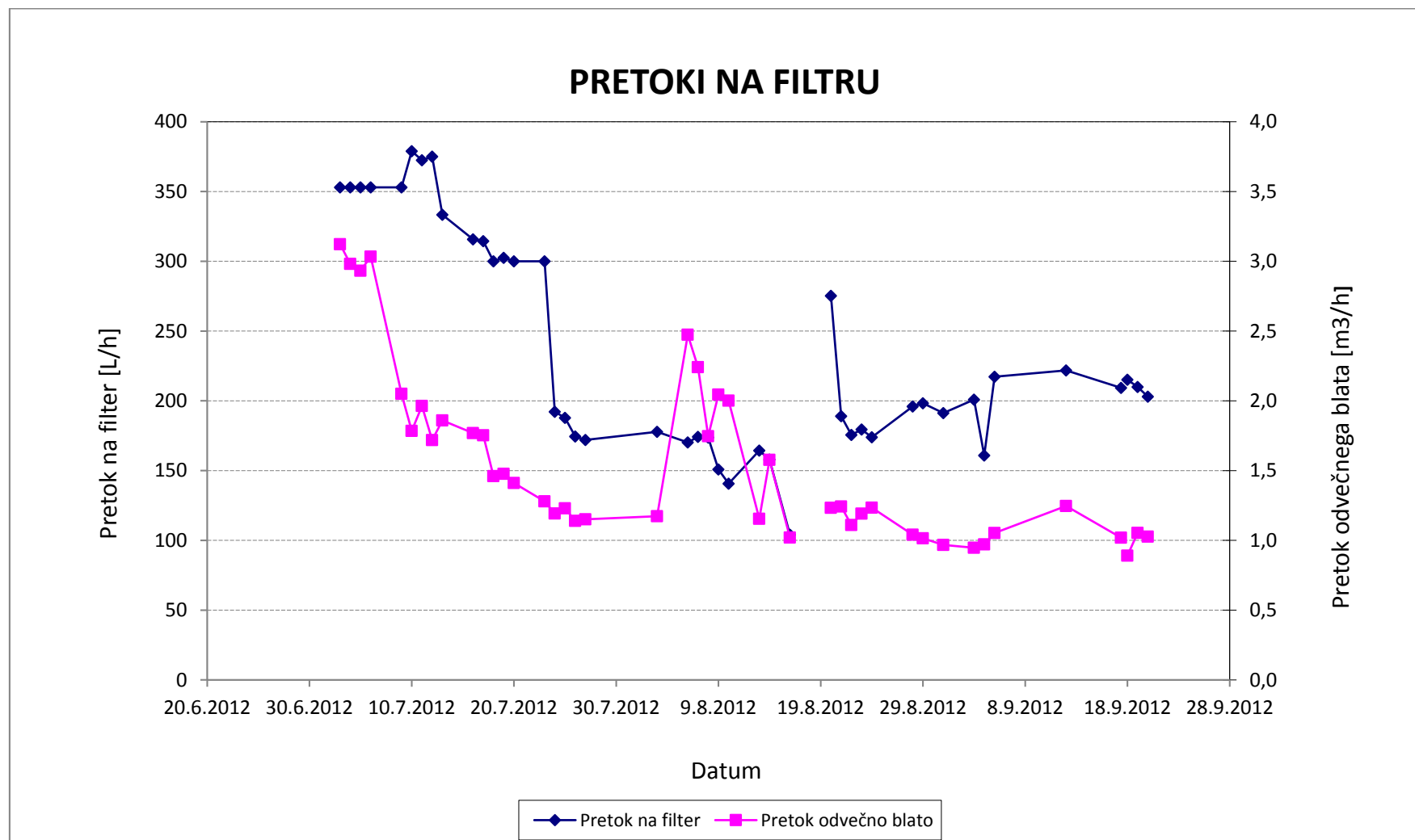
Grafikon 3: Čas spiranja filtrne tkanine v odvisnosti od TSS na dotoku oz. stopnje obremenitve filtrne površine

Graph 3: Time of washing of filter fabric as a function of TSS in the inlet flow or of the rate of the filter surface load

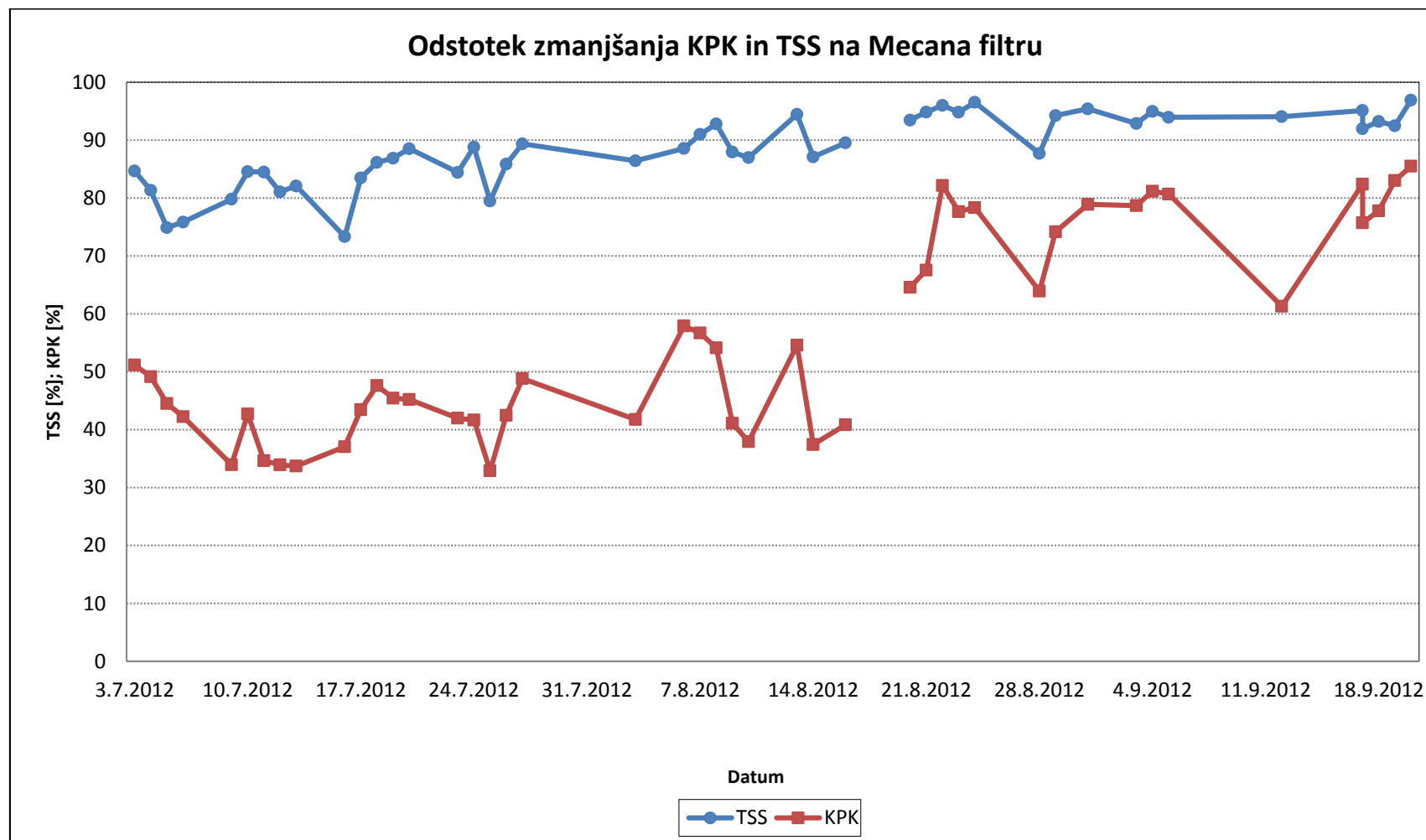


Grafikon 4: Meritve KPK – dotok, iztok, odvečno blato, dotočna komora

Graph 4: Measurements of COD – inlet flow, outlet flow, the excess sludge, inlet chamber



Grafikon 5: Pretoki na testiranem filtru (dotok na filter, pretok odvečnega blata pri čiščenju filtrne tkanine)
Graph 5: Flows of the tested filter (inlet flow to the filter, flow of exceed sludge at the washing of filter fabric)



Grafikon 6: Stopnja odstranjevanja KPK in TSS na iztoku iz testirane filtrirne enote
Graph 6: The rate of removal of COD and TSS at the out flow of the tested filter unit

