

UNIVERZA V NOVI GORICI
FAKULTETA ZA ZNANOSTI O OKOLJU

**PREDLOG OPTIMIZACIJE PREDČIŠČENJA NA
ČISTILNI NAPRAVI KOVINSKO PREDELOVALNE
INDUSTRIJE**

DIPLOMSKO DELO

Sanja UGRIN

Mentor: prof. dr. Milenko Roš

Nova Gorica, 2013

IZJAVA

Izjavljam, da je diplomsko delo rezultat lastnega raziskovalnega dela. Rezultati, ki so nastali v okviru skupnega raziskovanja z drugimi raziskovalci, ali so jih prispevali drugi raziskovalci (strokovnjaki), so eksplicitno prikazani oziroma navedeni (citirani) v diplomskem delu.

Sanja Ugrin

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Milenku Rošu za vodenje in strokovne nasvete pri izdelavi diplomskega dela. Posebna zahvala gre mojima delovnim mentorjema, Tomislavu Rusu in Vesni Kermavnar Fink, ki sta mi pomagala pri spoznavanju procesov v podjetju in z mano delila svojo zakladnico izkušenj. Za podporo in pomoč pri izvajanju poskusov na čistilni napravi se zahvaljujem operaterjema na čistilni napravi, Sinadinu Šutiću in Marku Klemencu. Hvala podjetju Hidria Rotomatika in laboratoriju Inštituta InPrime, ki mi je omogočilo izvedbo poskusov za namene diplomskega dela. Hvala Ivanu Pavinčiču in Marku Urbancu iz podjetja PAVAN EKOLOGIJA, ki sta mi omogočila uporabo pilotne naprave.

Posebna zahvala gre moji družini, ki me je vedno podpirala. In hvala mojemu partnerju, ki me je bodisi z bodrilnimi besedami bodisi s strokovnimi nasveti potisnil naprej, ko je bilo najtežje.

POVZETEK

Večina raziskav se izvaja na pilotnih napravah v obvladljivem laboratorijskem okolju, kjer se vplivi posameznih parametrov enostavneje ovrednotijo. Nasprotno smo se v tem diplomskem delu osredotočili na obratovanje obstoječe čistilne naprave (ČN) v livarni barvnih kovin, kjer se generirajo zaoljene odpadne vode, ki predstavljajo pomembnejše onesnaževalo vodnega okolja. Od postavitve ČN se je količina odpadnih vod spremenila, zaradi česar so bili dodani novi ultrafiltracijski moduli, pri čemer se procesa predčiščenja ni skladno nadgrajevalo. ČN se sooča z drastičnim zmanjševanjem fluksa, ki zahteva dnevno večurno intenzivno pranje modulov, kar dodatno vpliva na obratovanje ČN in življenjsko dobo modulov. Pri preučevanju učinka ČN je ključno poznavanje lastnosti odpadnih vod, zato sem se v teoretičnem delu najprej osredotočila na opis proizvodnega procesa. V eksperimentalnem delu smo na začetku vzpostavili sistem spremljanja generiranja in čiščenja odpadnih vod ter tako definirali trenutne količine in sestavo odpadnih vod. Analiza učinka pretočnega lamelnega usedalnika v obstoječem sistemu kot ene izmed možnosti nadgradnje predčiščenja je pokazala boljši učinek odstranjevanja suspendiranih snovi in trdih delcev pri čiščenju bolj obremenjenih odpadnih vod. Toda analize odpadnih vod in mašenja so pokazale, da najbolj problematično frakcijo odpadnih vod predstavljajo raztopljene snovi. Za nadaljnje raziskave je bila predlagana usmeritev v alternativne procese predčiščenja.

KLJUČNE BESEDE: Ultrafiltracija, mašenje, usedanje, lamelni usedalnik, zaoljene odpadne vode

ABSTRACT

While most studies are carried out in controllable laboratory environments, where effects of individual parameters are more easily evaluated, this thesis was focused on the operation parameters of existing wastewater treatment plant (WWTP). WWTP is located in the foundry of non-ferrous metals, where oily wastewater, one of the most concerned water pollution source, is generated. Since WWTP installation the wastewater quantity considerably increased. In response new ultrafiltration modules were installed, whereas pretreatment process was not upgraded accordingly. Recently WWTP is facing drastic flux decline, that is demanding longer and more intensive washing procedure, only resulting in further WWTP efficiency reduction. Consequently the conditions have a negative impact on modules lifespan. When examining the impacts on WWTP operation, the knowledge of wastewater characteristics is crucial. Therefore the first step was to understand the production processes where wastewater is generated. Wastewater generation and treatment management was established where current wastewater quantity and composition was defined. Results of lamella clarifier effect analysis as one of the proposed upgrades to the pretreatment system showed better suspended solids and particles removal when treating more polluted wastewater. However, effluent and fouling analysis have shown that the most problematic fraction are dissolved solids. Therefore a focus on alternative pretreatment processes was proposed for further research.

KEY WORDS: ultrafiltration, fouling, sedimentation, lamelle clarifier, oily wastewater

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	TEORETIČNE OSNOVE	2
2.1	Zakonodaja	2
2.2	Predstavitev dejavnosti podjetja Hidria Rotomatika, Alutec Koper	3
2.2.1	Metalurški proces	3
2.2.2	Čiščenje	4
2.2.3	Mehanska obdelava	4
2.2.4	Pranje ulitkov	5
2.3	Čistilna naprava Alutec Koper	5
2.4	Odpadne vode kovinskih industrij in njihova obdelava	7
2.4.1	Oljne odpadne vode	7
2.4.2	Suspendirane snovi.....	8
2.5	Membranska separacija	9
2.5.1	Materiali, moduli in sistemi	9
2.5.2	Osnovni koncepti membranske filtracije	10
2.6	Ultrafiltracija	12
2.6.1	Učinkovitost UF membran	12
2.6.2	Sistem filtracije	12
2.6.3	Upad fluksa in mehanizmi mašenja	13
2.6.4	Zmanjševanje mašenja	15
2.7	Sedimentacija	18
2.7.1	Princip usedanja.....	18
2.7.2	Učinek usedalnikov	20
2.7.3	Odstranjevanje snovi v usedalniku	21
2.7.4	Paralelni lamelni usedalnik.....	21
3	EKSPERIMENTALNI DEL	23
3.1	Definiranje trenutnega stanja odpadnih vod	23
3.2	Študija delovanja čistilne naprave	24
3.2.1	Definiranje mašenja membran.....	24
3.2.2	Analiza konvencionalnega usedalnika na ČN.....	26
3.3	Preverjanje učinkovitosti pretočnega lamelnega usedalnika	26
3.3.1	Pilotni usedalnik - tehnične lastnosti ter umestitev v sistem.....	26
3.3.2	Vzorčenje	28
3.3.3	Zaključek poskusa.....	28
3.4	Izvedba laboratorijskih analiz	29
3.4.1	Kemijska potreba po kisiku.....	29
3.4.2	Določevanje suspendiranih snovi	30

3.4.3	Določevanje števila in velikosti delcev	31
3.5	Standardne raztopine.....	32
4	REZULTATI IN RAZPRAVA	33
4.1	Definiranje trenutnega stanja odpadnih vod	33
4.2	Študija delovanja čistilne naprave	34
4.2.1	Analiza mašenja membran	34
4.2.2	Predčiščenje	41
4.3	Analiza učinkovitosti lamelnega usedalnika	43
4.3.1	Preliminarne analize.....	43
4.3.2	Suspendirane snovi.....	48
4.3.3	Trdi delci	50
5	ZAKLJUČKI.....	54
6	VIRI.....	56
PRILOGE		

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Tehnični podatki polimernih ter keramičnih membran na čistilni napravi	6
Preglednica 2: Kategorizacija olja glede na fizikalno obliko (Coca in sod., 2010: 3)	8
Preglednica 3: Pregled procesa čiščenja v odvisnosti od vrste mašilne komponente (prirejeno po Guo in sod, 2012)	17
Preglednica 4: Parametri za določanje učinkovitosti obratovanja ČN	24
Preglednica 5: Tehnični podatki za obstoječi konvencionalni usedalnik	26
Preglednica 6: Tehnični podatki pilotnega usedalnika	28
Preglednica 7: Razpored vzorčenja v odvisnosti od zadrževalnega časa	28
Preglednica 8: Koncentracije ter oznake pripravljenih standardnih raztopin	32
Preglednica 9: Izračuni za obstoječi konvencionalni usedalnik	42
Preglednica 10: Izračuni za pilotni konvencionalni usedalnik	43
Preglednica 11: Izračuni za pilotni usedalnik z lamelami	43

KAZALO SLIK

Slika 1: Shematski prikaz procesov v podjetju Hidria Rotomatika, Alutec Koper	3
Slika 2: Metode osnovnih mehanskih procesov (prirejeno po Rajput, 2008: str. 421)	4
Slika 3: Shema obstoječe čistilne naprave Hidria Rotomatika, Alutec Koper	5
Slika 4: Prikaz poteka odpadnih vod do čistilne naprave Alutec Koper	7
Slika 5: Pregled membranskih procesov (EPA, 2005: 2-3)	9
Slika 6: Padeč tlaka med (A) konvencionalno dinamično filtracijo in (B) filtracijskim sistemom z enotnim gradientom tlaka skozi membrano (Bylund, 1995: 127)	11
Slika 7: Vpliv oblike molekule na učinkovitost ultrafiltracije (prirejeno po Baker, 2004: 240)	12
Slika 8: Razlika med statično (A) in dinamično (B) filtracijo	12
Slika 9: Vpliv tlaka na fluks UF membrane in formacijo sekundarne plasti gela. (Baker, 2004: 245)	14
Slika 10: Prikaz mehanizmov zmanjševanja fluksa (prirejeno po Van den Berg in Smodlers, 1990: 104 ter Field, 2010: 12)	14
Slika 11: Prikaz povratnega spiranja (levo Bourgeois in sod., 2001: 79)	16
Slika 12: Mehanizem ločevanja in spiranja in pričakovani vpliv povratnega spiranja na gostoto toka (prirejeno po Field, 2010: 16)	17
Slika 13: Teoretično usedanje delca v bazenu s kontinuirnim pretokom: prikaz razlike v poti (A) diskretnega ter (B) flokulentnega delca (prirejeno po Arceivala in Asolekar, 2007: 367)	18
Slika 14: Osnovni tipi lamelnih usedalnikov glede na tok medija (odpadna voda): (A) protitočni, (B) sotočni in (C) skozitočni (oblikovano po Gregory in sod., 1999)	22
Slika 15: Lovilnik olja (Transtherm 525) pod grelno napravo	24
Slika 16: Shema povezave modulov	25
Slika 17: Shematski prikaz pilotne naprave: 1. iztok, 2. grobo sito, 3. lamele, 4. vtok ..	26
Slika 18: Umestitev pilotne naprave v sistem ČN	27
Slika 19: Možne napake pri avtomatski razvrstitvi delcev	32
Slika 20: Viri odpadnih vod in njihov količinski delež	33
Slika 21: Shema livarske celice ter kemikalije, ki vstopajo v proces (prirejeno po Petrofer Chemie, 2012: 2)	34
Slika 22: Permeabilnost med delovanjem vseh modulov pri izstopnem tlaku 0 bar in pH odpadnih vod	35
Slika 23: Vpliv začetne (T_z) in končne (T_k) temperature odpadnih vod na količino prečiščenih odpadnih vod	35
Slika 24: Vpliv sestave odpadnih vod na fluks (J) odpadnih vod	36
Slika 25: Vpliv sestave odpadnih vod na odstotek mašenja	36
Slika 26: Povezava začetnega (J_z), končnega (J_k) in povprečnega fluksa (J_p) s količino prečiščenih odpadnih vod [L]	37
Slika 27: Čas pranja in količina prečiščenih odpadnih vod	37
Slika 28: Z US 620 obremenjene odpadne vode (levo) in trajna obarvanost membran (desno)	37
Slika 29: Povprečni % mašenja in % mašenja modulov	38
Slika 30: Odstotek mašenja pri izstopnem tlaku 0 bar (izjema M_{3-4} prvi dan v prvem ciklu)	39
Slika 31: L_p polimernih polimernih modulov	39
Slika 32: L_p keramičnih modulov	40
Slika 33: Primerjava L_p membran pri izstopnem tlaku 0, bar in 0,2 bar v ciklu na začetku in koncu dneva	40
Slika 34: % mašenja membran pri izstopnem tlaku 0, bar in 0,2 bar v ciklu na začetku in koncu dneva	40

Slika 35: Primerjava onesnaženosti mrežice pred membranskih procesom pri manjši (levo) in večji obremenjenosti odpadnih vod (desno).....	42
Slika 36: Vtok v usedalnik	42
Slika 37: Učinek odstranjevanja KPK [%] na iztoku (1 in 2) pri analizi učinka pilotnega lamelnega usedalnika pri različnih zadrževalnih časih	44
Slika 38: Koncentracija SS standardnih vzorcev z različnimi koncentracijami tujih olj (Ultra Safe - US, Transtherm - T, Waylubric - W)	45
Slika 39: Odvisnost koncentracije SS [mg/L] od koncentracije centralnega mazalnega olja Transtherm.....	45
Slika 40: Učinek odstranjevanja SS [%] na iztoku (1 in 2) pri analizi učinka pilotnega konvencionalnega usedalnika pri različnih zadrževalnih časih	45
Slika 41: Učinek odstranjevanja SS [%] na iztoku (1 in 2) pri analizi učinka pilotnega lamelnega usedalnika pri različnih zadrževalnih časih	46
Slika 42: Primeri delcev: A - nekovinski, B - kovinski, C - vlakna.....	46
Slika 43: Porazdelitev deleža delcev po velikostnih razredih na vtoku v pilotni konvencionalni usedalnik (desno) pri $\tau = 1$ h	46
Slika 44: Porazdelitev deleža delcev po velikostnih razredih na vtoku v pilotni lamelni usedalnik (desno) pri $\tau = 1$ h	47
Slika 45: Učinek [%] odstranjevanja trdih delcev ($> 50 \mu\text{m}$) na iztoku (1 in 2) pri analizi učinka konvencionalnega usedalnika pri različnih zadrževalnih časih	47
Slika 46: Učinek [%] odstranjevanja trdih delcev ($> 50 \mu\text{m}$) na iztoku (1 in 2) pri analizi učinka lamelnega usedalnika pri različnih zadrževalnih časih	47
Slika 47: Učinek odstranjevanja SS [%] v konvencionalnem usedalniku pri $\tau = 1$ h	48
Slika 48: SS [mg/L] in pH vrednost vzorca vtoka v konvencionalni usedalnik pri $\tau = 1$ h	48
Slika 49: Učinek odstranjevanja SS [%] v lamelnem usedalniku pri $\tau = 1$ h.....	49
Slika 50: SS [mg/L] in pH vrednost na vtoku v lamelni usedalnik pri $\tau = 1$ h	49
Slika 51: Porazdelitev deleža delcev na iztoku 1 iz pilotnega konvencionalnega usedalnika pri $\tau = 1$ h.....	50
Slika 51: Porazdelitev deleža delcev na iztoku 2 iz pilotnega konvencionalnega usedalnika pri $\tau = 1$ h.....	50
Slika 52: Največji nekovinski (levo) in kovinski delec (desno) na iztoku iz pilotnega konvencionalnega usedalnika	50
Slika 53: Učinek odstranjevanja trdih delcev [%] v konvencionalnem usedalniku pri $\tau = 1$ h	51
Slika 54: Koncentracija trdih delcev [št/L] na vtoku v konvencionalni usedalnik pri $\tau = 1$ h	51
Slika 55: Povprečna porazdelitev deleža delcev na iztoku 1 iz pilotnega lamelnega usedalnika pri $\tau = 1$ h.....	52
Slika 55: Povprečna porazdelitev deleža delcev na iztoku 2 iz pilotnega lamelnega usedalnika pri $\tau = 1$ h.....	52
Slika 56: Filter vtoka (A) in največji nekovinski delec vtoka (B) v poskusu P26, največji nekovinski delec (C) in kovinski delec (D) na iztoku iz pilotnega lamelnega usedalnika	52
Slika 57: Učinek odstranjevanja trdih delcev [%] v lamelnem usedalniku pri $\tau = 1$ h....	53
Slika 58: Koncentracija trdih delcev [št/L] na vtoku v lamelni usedalnik pri $\tau = 1$ h	53

OKRAJŠAVE

Bü = Bühler

ČN = čistilna naprava

D-L 4052 = Die-Lubric 4052

D-L 7050 = Die-Lubric 7050

EPA = Agencija za varstvo okolja Združenih Držav Amerika (ang. USA Environmental Protection Agency)

IP = Ital Presse

KP = Koper

M1 = modul 1

M2 = modul 2

M3-4 = modul 3-4

M5 = modul 5

M6 = modul 6

MF = mikrofiltracija

NF = nanofiltracija

P1 do P37 = oznaka poskusa

RO = reverzna osmoza

SI = Spodnja Idrija

SS = suspendirane snovi

T 525 = Transtherm 525

UF = ultrafiltracija

US = usedljive snovi

US 620 = Ultra Safe 620

W 220 = Waylubric VG 220

WWTP = wastewater treatment plant

SIMBOLI

% mašenja = relativna razlika med začetnim in končnim fluksom [%]
A = površina [m^2], površina usedalnika
 A_c = površina [m^2], projektirana površina delca v smeri toka
 A_L = površina [m^2], površina lamelnega usedalnika
 A_m = površina [m^2], površina membrane
b = širina [m], širina usedalnika
 b_K = širina [m], širina konvencionalnega usedalnika
 b_p = širina [m], širina pilotnega usedalnika
 BPK_5 = koncentracija [mg/L], biokemijska potreba po kisiku
 C_D = Newtonov koeficient upora [/]
 D_k = dolžina [m], dolžina konvencionalnega usedalnika
 d_L = razdalja [m], pravokotna razdalja med dvema ploščama
 D_p = dolžina [m], dolžina pilotnega usedalnika
 F_g = sila [N], sila gravitacije
 F_u = sila [N], sila upora
 F_v = sila [N], sila vzgona
g = gravitacijska konstanta [$N \cdot (m \cdot kg)^2$]
h = dolžina [m], vertikalna dolžina poti
H = globina [m], globina vode v usedalniku
 H_i = višina [m], višina iztoka usedalnika
 H_k = višina [m], višina konvencionalnega usedalnika
J = fluks [$L / (m^2 \cdot h^1)$]
 J_k = fluks [$L / (m^2 \cdot h^1)$], fluks na koncu ločevanja
 J_p = fluks [$L / (m^2 \cdot h^1)$], fluks povprečni dnevni
 J_z = fluks [$L / (m^2 \cdot h^1)$], fluks na začetku ločevanja
k = faktor, faktor redčenja
KPK = koncentracija [mg/L], kemijska potreba po kisiku
 KPK_i = koncentracija [mg/L], kemijska potreba po kisiku, izmerjena vrednost
 KPK_v = koncentracija [mg/L], kemijska potreba po kisiku vzorca
L = dolžina [m], horizontalna dolžina poti
L/B = razmerje [/], razmerje dolžine in širine
L/H = razmerje [/], razmerje dolžine in višine
 L_p = permeabilnost membrane [$1 / (m^2 \cdot h \cdot bar)$]
 m_1 = masa [mg], masa filtra pred filtracijo
 m_2 = masa [mg], masa filtra po filtraciji
 n_i = število [/], število delcev v izbranem velikostnem območju
 O_v = površinska obremenitev [$m^3/h \cdot m^2$]
P = tlak [bar], hidravični padec tlaka
 P_i = tlak [bar], tlak retentata na izhodu iz modula
 P_m = tlak [bar], gradient tlaka skozi membrano [bar]
povprečni % mašenja = relativna razlika med začetnim in povprečnim fluksom [%]
 P_p = tlak [bar], tlak permeata
 P_v = tlak [bar], tlak odpadnih vod na vhodu v modul
Q = pretok [m^3/h], pretok odpadne vode
 Q_f = pretok [L/h], pretok filtrata
 Q_k = pretok [L/h], na koncu ločevanja
 Q_L = pretok [L/h], pretok v pilotnem konvencionalnem usedalniku
 Q_L = pretok [L/h], pretok v pilotnem lamelnem usedalniku
 Q_p = pretok [L/h], povprečni

Q_z = pretok [L/h], na začetku ločevanja
 r = polmer [m], polmer delca
 R = retenzija
 SS = koncentracija [mg/L], koncentracija suspendiranih snovi
 t_d = čas [h], čas poti delca
 T_k = temperatura [°C], temperatura na koncu ločevanja
 t_L = čas [h], čas ločevanja
 T_z = temperatura [°C], temperatura na začetku ločevanja
 V_e = volumen [m³], efektiven volumen delca
 V_f = volumen [L], volumen filtrata
 V_L = prostornina [m³], prostornina lamelnega usedalnika
 v_s = hitrost [m/s], hitrost usedanja
 V_u = volumen [m³], volumen usedalnika
 V_v = volumen [mL], volumen vzorca
 V_{vod} = volumen [L], volumen odpadnih vod prečiščenih v enem dnevu
 x_i = koncentracija [št. delcev/L], koncentracija trdih delcev v izbranem velikostnem območju
 α = separacijski faktor
 θ = nagnjenost lemel [°]
 ρ_d = gostota [kg/m³], gostota delca
 ρ_M = gostota [kg/m³], gostota medija
 τ = čas [h], zadrževalni čas
 ν = kinematična viskoznost [m²/s]

1 UVOD

Onesnaževanje vodnega okolja je eden izmed najbolj perečih okoljskih problemov in zaoljene odpadne vode sodijo med najpomembnejša onesnaževala. V industriji barvnih kovin nastajajo z mazivi, hidravličnimi olji, emulzijami, inhibitorji korozij ter biocidi obremenjene odpadne vode, ki se jih brez predhodne obdelave ne sme spustiti v okolje ali sanitarno kanalizacijo.

Za razumevanje obratovanja čistilne naprave je poznavanje njenih procesov in lastnosti odpadnih vod ključno. V podjetju Hidria Rotomatika, Alutec Koper je bila leta 2000 postavljena ultrafiltracijska čistilna naprava, projektirana za odpadne vode iz metalurških procesov. S širjenjem proizvodnje ter zaprtjem centralne čistilne naprave sta se sestava ter količina odpadnih vod spremenili. V odgovor na spremembe, je bila čistilna naprava dograjena z dodatnimi polisulfonskimi ter keramičnimi ultrafiltracijskimi moduli, pri čemer se procesa predčiščenja ni skladno nadgrajevalo.

Membranske tehnologije zaradi nizkih investicijskih in obratovalnih stroškov ter splošne uporabnosti izpodrivajo konvencionalne fizikalne in kemijske metode obdelave industrijskih odpadnih vod. Ena izmed najpomembnejših prednosti membranskih procesov je relativno konstanten permeat. Zaradi njihove selektivne propustnosti se emisija snovi, ne glede na variacije odpadnih vod, giblje v okviru mejnih vrednosti. Toda membranski procesi se od njihove vpeljave soočajo s težavami zaradi zmanjšanja pretoka, ki ga povzročata koncentracija preostanka in mašenje membran. Koncentracija preostanka je posledica naravne lastnosti membran in predvsem odvisna od sestave odpadnih vod, zaradi česar se večina raziskav usmerja v preprečevanje maščenja membran.

Namen diplomske naloge je bil definirati količine in vire odpadnih voda v podjetju po vpeljanih spremembah ter spremljati obratovanje čistilne naprave in ugotoviti morebitne nepravilnosti v procesu. Potrebne podatke sem pridobila s spremljanjem števcov, zasnovali smo tudi obrazce s pomočjo katerih smo skozi leto beležili nastajanje ter čiščenje odpadnih vod glede na vire nastanka. S pomočjo omenjenih podatkov in parametrov, ki se dnevno vpisujejo v obratovalni dnevnik čistilne naprave, sem ovrednotila vpliv obratovalnih pogojev, recirkulacije in sestave odpadnih vod na učinek ultrafiltracije.

V nadaljevanju sem se osredotočila na predlog modifikacije predčiščenja odpadnih vod. Predvidevali smo, da se moduli zaradi manj učinkovitega predčiščenja hitro mašijo zaradi vnosa trdih delcev ter prostega olja. Hiter padec fluksa zahteva pogostejše ter intenzivnejše čiščenje modulov, kar dodatno bremeni obratovanje čistilne naprave in zmanjšuje življenjsko dobo modulov. Kot ena izmed možnosti nadgradnje predčiščenja je bil predlagan lamelni usedalnik, ki s povečano površino usedanja predstavlja idealno rešitev v primeru pomanjkanja prostora. Zato je v sklopu diplome potekala tudi analiza učinkovitosti pretočnega lamelnega usedalnika v realnem sistemu kot ene izmed možnosti nadgradnje predčiščenja.

2 TEORETIČNE OSNOVE

2.1 Zakonodaja

»Zakon je splošni pravni akt, ki v pravni državi ureja pravice in dolžnosti pravnih subjektov, če te niso urejene že v ustavi.« (Zakonodaja, 2011) Zakoni in podzakonski predpisi predstavljajo varovalo, ki preprečuje, da bi bil vsak posameznik oziroma organizacija prepuščena lastni presoji in sama odločala o tem kar je prav ali narobe. Ker sta okolje in ekologija relativno mlada pojma v človeški zgodovini, ima zakonodaja in predvsem upoštevanje le-te še pomembnejšo vlogo. Zakonodaja se z vedno novimi znanstvenimi dognanji neprestano spreminja in dopolnjuje, zato ni presenetljivo, da je bila pot do postavitve zakonov, predpisov in uredb, ki so vezane na tematiko te diplome, t.j. čiščenje odpadnih vod, tako dolga.

Prve okoljske uredbe so se navezovale na zaščito zdravja in varnosti ljudi pred posledicami urbanizacije. Pred industrijsko revolucijo so se občasno pojavljale prepovedi, ki so se nanašale na varovanje okolja (npr. kralj Edward I je leta 1306 prepovedal uporabo premoga v odprtih pečeh v Londonu). Toda okoljske uredbe so postale bolj razširjene šele z industrijsko revolucijo (Kiss in Shelton, 1997). Pomemben korak naprej je leta 1810 naredil Napoleon z izdajo Napoleonovega odloka, ki se je nanašal na nezdravo okolje v tovarnah ter delavnicah in od občin zahteval upravljanje z le-temi (Kiss in Shelton, 1997). Šele ekonomske posledice brezskrbnega ravnanja z okoljem so zaradi pritiskov s strani tistih, katerih življenje je bilo odvisno od komercialno pomembnih virov (gozdov, divjadi, rib) pripeljale k njihovem varovanju. Evropska Unija ob ustanovitvi leta 1957 ni imela nobene okoljske politike in birokracije ter nobenega zakona vezanega na okolje (Jordan, 2005). Šele na koncu šestdesetih let so bile zaradi širjenja okoljskih gibanj nekatere, predvsem industrializirane države, v nacionalno zakonodajo prisiljene sprejeti tudi varovanje okolja (Kiss in Shelton, 1997). Tako je Evropska Unija (takrat imenovana Evropska Ekonomska Skupnost) s pridružitvijo Britanije leta 1973 sprejela nekaj okoljsko orientiranih politik, ki pa so bile usmerjene predvsem v zdravstveno varovanje (Jordan, 2005). Z leti so okoljska gibanja pridobivala vedno več podpore in do začetka devetdesetih let so, vsaj navidezno, vse države sveta sprejele okoljsko zakonodajo po evropskem ali ameriškem modelu (Kiss in Shelton, 1997).

O razvoju okoljske zakonodaje v Sloveniji moramo začeti govoriti o razvoju le-te v Jugoslaviji. Na območjih nekdanje Jugoslavije se je industrializacija v pravem pomenu besede začela šele po drugi svetovni vojni. Takrat je ravno Jugoslavija doživljala največjo hitrost industrijalizacije in urbanizacije na svetu (Carter in Turnock, 1996). V tem obdobju so se razvite države že začele ukvarjati z varstvom okolja in če bi skupaj z industrijalizacijo ter urbanizacijo v Jugoslavijo prišla tudi skrb za okolje, bi bilo stanje okolja dandanes morda drugače. Resen razvoj varstva okolja se je v Jugoslaviji začel šele v sedemdesetih letih 20. stoletja, pri čemer je Slovenija na koncu osemdesetih naredila korak več in se oddaljila od jugoslovanskega okrilja. Ustanovila je regionalne okoljske zahteve ter skupaj z nekaterimi avstrijskimi in italijanskimi regijami ter Hrvaško vstopila v regionalni okoljski program imenovan Alpe-Adria¹ (Carter in Turnock, 1996).

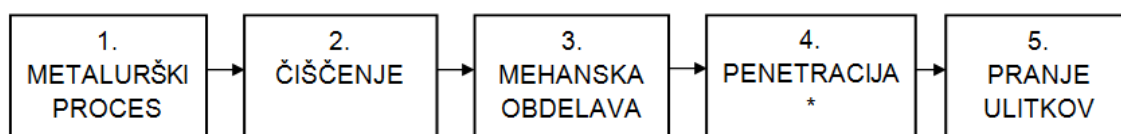
Slovenska zakonodaja je vezana na zakonodajo Evropske skupnosti. Krovni zakon, ki v Sloveniji ščiti okolje kot temeljni pogoj za trajnostni razvoj je Zakon o varstvu okolja. V

¹ Delovna skupnost Alpe Adria (1978) je bila že od začetka osredotočena na upravljanje in zaščito okolja, narave in kulturne dediščine.

okviru Zakona o varstvu okolja so določena temeljna načela varstva okolja, ukrepi, spremljanje stanja, različne informacije o instrumentih varstva okolja, javne službe, itd. Zakonu so podrejeni številni predpisi. Zaradi raznovrstnosti industrijskih obratov je v veljavi 40 uredb, ki določajo mejne vrednosti emisij glede na posebnosti odvajanja odpadni vod iz določenih dejavnosti. V Prilogi A so predstavljeni predpisi, ki zadevajo odpadne vode iz livarne barvnih kovin, ki je tema te diplomske naloge.

2.2 Predstavitev dejavnosti podjetja Hidria Rotomatika, Alutec Koper

Hidria Rotomatika, Alutec Koper (v nadaljevanju Alutec KP) je proizvajalec komponent za avtomobilsko industrijo. Komponente se izdelujejo iz aluminijevih zlitin po tehnologiji visokotlačnega litja. Ulitki se nato prodajo do končnih kupcev kot so Audi, Volkswagen, Bosch, Danfoss CC, Grundfos in JTEKT.



Slika 1: Shematski prikaz procesov v podjetju Hidria Rotomatika, Alutec Koper

Na sliki zgoraj (Slika 1) je prikazana shema proizvodnih procesov v Alutec KP. Pri vsakem od zgoraj naštetih procesov nastajajo odpadne vode, toda za obratovanje čistilne naprave so pomembni le v nadaljevanju opisani procesi. Četrty korak, penetracija, je potreben le za nekatere ulitke.

2.2.1 Metalurški proces

Visokotlačno litje je proces v katerem se talino pod visokim tlakom potisne v natančno obdelano votlino jeklene kokile. Visokotlačno litje omogoča ulivanje velikega števila ulitkov z gladkimi površinami, fino strukturo, točnimi merami in kar je najpomembneje, izdelujejo se serije ulitkov, ki so med seboj primerljivi v lastnostih, merah in videzu (Bezjak, 1997).

V grobem lahko metalurški proces razdelimo na dva podprocesa: (1) pripravo taline ter (2) litje. Pod pripravo taline sodita procesa taljenja aluminijevih zlitin ter razplinjevanje. Taljenje se izvaja v talilnih pečeh v katere vstopa vhodni material (ingoti) ter krožni material². Razplinjevanje sledi tik pred prenosom taline v vzdrževalne peči na livarskih strojih, saj je potrebno odstraniti raztopljen vodik in druge nečistoče. Poteka z dovajanjem inertnega plina (argona), ki se s pomočjo rotiranja enakomerno razporedi po celotni prostornini taline, medtem ko se na dvigajoče plinske mehurčke adsorbirajo vodik ter drugi vključki, ki se jih nato posname iz površine. Talino se nato prenese v vzdrževalne peči³. Pri ulivanju se talina ulije v livarsko formo, v kateri se talina strdi in obdrži obliko.

V Alutec KP od desetih obratujočih livarskih strojev, vsaj štiri obratujejo 24 h na dan 7 dni v tednu, razen v primeru menjave livarskega orodja ter morebitnih okvar. Potisni

² Krožni material predstavlja izmet procesa litja. Vhodni material ter krožni material se mešata v točno določenem razmerju, da so zahteve kakovosti materiala zadoščene.

³ Vzdrževalne peči so tiste, v katerih se s pomočjo električne ali plinske energije vzdržuje za ulivanje primerna temperatura taline.

tlaki strojev se gibljejo med 400 in 2240 bar. Vsak livarski stroj predstavlja eno delovno celico (Slika 21), ki jo sestavljajo tlačni livarski stroj, toplotno vzdrževalna peč z dozatorjem, mazalnik za mazanje livarskega orodja, grelno-hladilne naprave za vzdrževanje temperature orodja, odvzemalnik ulitkov, kad za hlajenje ulitkov ter obsekovalnik ulitkov, ki ne sodi več v metalurški proces temveč v proces 2 – čiščenje.

2.2.2 Čiščenje

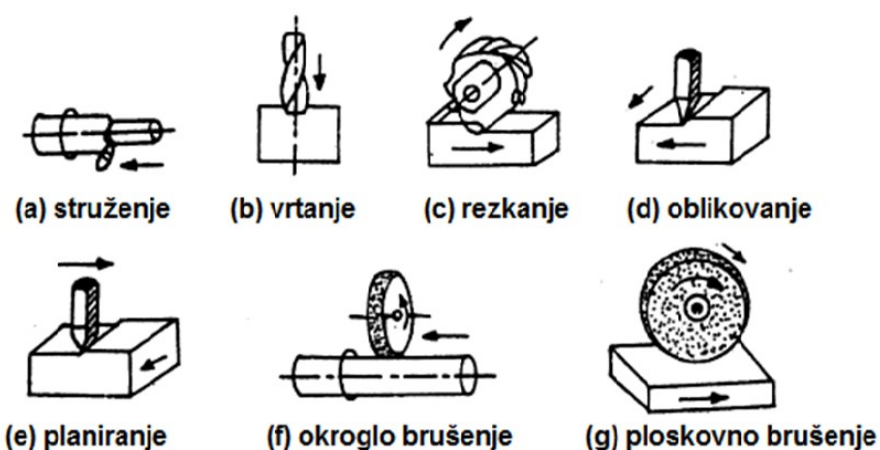
Termin čiščenje se navezuje na obsekovanje ter površinsko obdelavo ulitkov z rotovibriranjem ali peskanjem. V obsekovalni hidravlični stiskalnici se ulitku odstranijo vsi večji odvečni deli. V odvisnosti od zahtev kupca obsekovanju sledi rotovibriranje, t.j. čiščenje z vibriranjem ulitkov skupaj s plastičnimi brusnimi telesi v obliki piramide, ali peskanje, kjer se ulitke čisti s pomočjo curka jeklenega peska različne granulacije.

2.2.3 Mehanska obdelava

Za doseganje končne zahtevane oblike ter dimenzij izdelkov, litju ter čiščenju sledi mehanska obdelava. Mehanska obdelava predstavlja najbolj razširjen proces obdelave kovin (Groover, 2010), sam termin pa se navezuje na vse procese v katerih se z odstranjevanjem materiala oblikuje želena končna oblika ter površina produkta (Grzesik, 2008).

Mehanska obdelava ne obsega le enega temveč skupino procesov. Slika (Slika 2) ponazarja nekatere najpogostejše procese mehanske obdelave, ki so običajno razvrščeni po naslednji klasifikaciji (Rajput, 2008):

1. Enotočkovno (struženje, oblikovanje, planiranje, itd.) ali večtočkovno (rezkanje, vrtanje, grezenje, itd.) rezanje kovin
2. Brušenje in končna obdelava
3. Nekonvencionalna mehanska obdelava (ultrasonična, elektrokemijska, laserska, itd.)



Slika 2: Metode osnovnih mehanskih procesov (prirejeno po Rajput, 2008: str. 421)

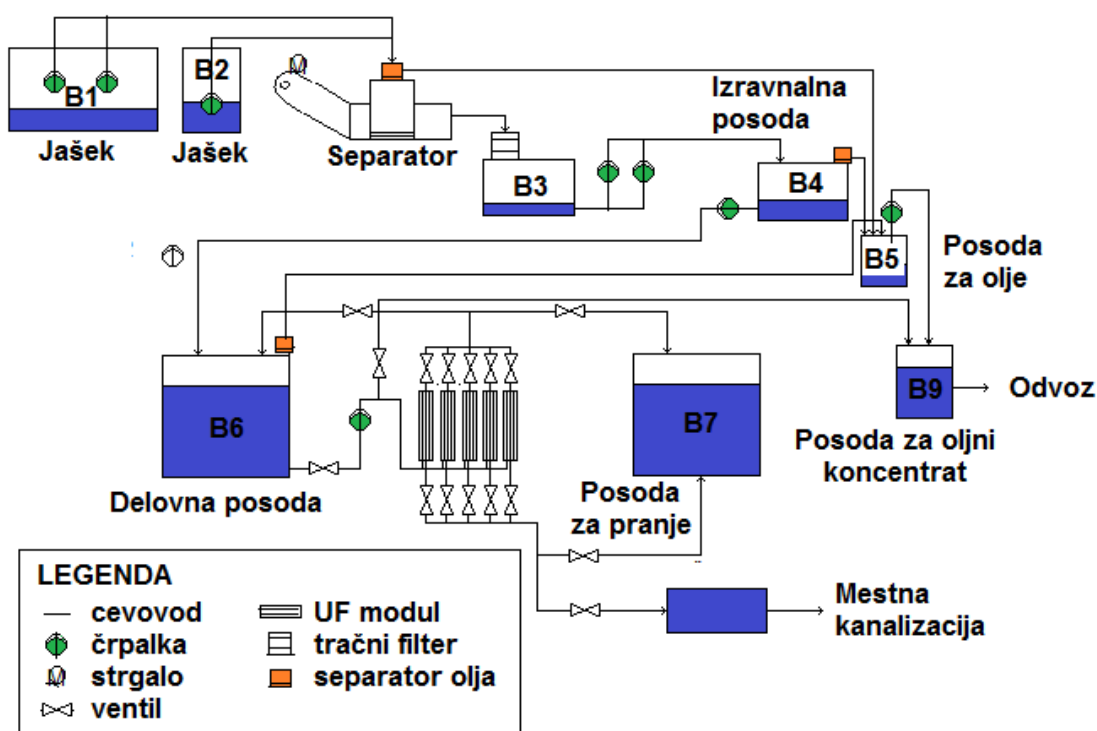
V Alutec KP je trenutno postavljenih štiriindvajset obdelovalnih strojev, z različnimi zgoraj omenjenimi procesi, velikostmi rezervoarjev (od 500 do 1000 L) ter koncentracijami hladilno obdelovalnih emulzij.

2.2.4 Pranje ulitkov

Izdelki morajo biti pred odpremo očiščeni in se, glede na njihovo velikost ter kupčeve zahteve po čistosti, perejo na enem izmed štirih pralnih strojev: ITF visokotlačni, ITF HPI, LPW ter MTM. Pralni stroji se medsebojno razlikujejo po obratovalni temperaturi vode, delovnih tlakih ter velikosti.

2.3 Čistilna naprava Alutec Koper

Na sliki (Slika 3) je predstavljena shema čistilne naprave v podjetju. Zaoljene odpadne vode, ki nastajajo v livarni se s pomočjo črpalk vodijo do zbirnega jaška B1. Odpadne vode, ki nastanejo pri pranju livarskega orodja, v procesih mehanske obdelave, pri pranju ulitkov v pralnih strojih ter sorodne odpadne vode iz Hidrie Rotomatike, Alutec Spodnja Idrija, z jaškom niso neposredno povezane. Zato se zbirajo v kubičnih zabojnikih in se nato spuščajo v zbirni jašek (Slika 4).



Slika 3: Shema obstoječe čistilne naprave Hidria Rotomatika, Alutec Koper

V jašku B2, ki se nahaja v čistilni napravi, se zbirajo razlite odpadne vode, ki se avtomatsko po določenem dvigu nivoja prečrpajo v usedalnik. Zaoljena odpadna vode se iz jaška B1 najprej prečrpa v separator oziroma usedalnik. V usedalniku je nameščeno strgalo za odstranjevanje usedenega blata ter črpalka, ki s pomočjo plavača s površine odvaja olje ter odpadno emulzijo v oljni separator. V oljnem separatorju se zbira olje, ki prostopadno odteče v posodo za olje B5, medtem ko se vodna faza vrača nazaj v usedalnik.

Emulzija se iz usedalnika preliva na tračni filter, kjer se odstranjujejo trdi delci, ki bi lahko poškodovali ultrafiltracijske membrane. S trdimi delci očiščena emulzija se zbere v posodi B3 ter se nato prečrpa v izravnalno posodo B4.

V izravnalni posodi B4 ponovno poteka posnemanje plavajočega olja v posodo za olje B5, od koder se zbrana olja prečrpajo v posodo za skladiščenje olja B9. Odpadna emulzija iz posode B4 se skozi filter vreče avtomatsko dopolnjuje delovno posodo B6 v odvisnosti od nivoja emulzije v B6. V B6 sta nameščena toplotna izmenjevalca (možno je hlajenje ter gretje emulzije) ter pH sonda. S pH sondo je povezana dozirna črpalka za doziranje natrijevega hidroksida, saj se z optimizacijo pH dosegajo večje učinkovitosti ločevanja. Iz delovne posode B6 črpalka v krogotoku potiska emulzijo skozi ultrafiltracijske module. V B6 se odpadna emulzija postopoma koncentrira in ko učinkovitost ločevanja, ki se meri s pretokom permeata, pade pod določen nivo, se ročno ali avtomatsko vklopi proces zgoščevanja, pri čemer se izklopi avtomatsko dopolnjevanje delovne posode. S koncentriranjem emulzije se pretok skozi module še dodatno znižuje, zato je zgoščevanje smiselno le do določenega padca pretoka permeata. Takrat se koncentrirano emulzijo, t.i. goščo, izpodrine iz ultrafiltracijskih modulov v B6 od koder se prečrpa v posodo za skladiščenje olja B9.

Ultrafiltracijski moduli se v odvisnosti od vhodnih vod ireverzibilno mašijo. Zmanjšuje se njihova učinkovitost, zaradi česar je redno čiščenje modulov nujno. Za čiščenje se uporablja mehka voda (0,01°dH) iz posode za pranje z ročno dodanimi pralnimi sredstvi. Po končanem čiščenju se pralne vode iz ultrafiltracijskih modulov izpodrine nazaj v B7 od koder se s črpalko prečrpajo v B9.

Permeat se po cevovodu odteka v posodo končne kontrole, kjer je postavljena pH sonda, ki preverja pH odpadne vode, ki se odvaja v mestno kanalizacijo.

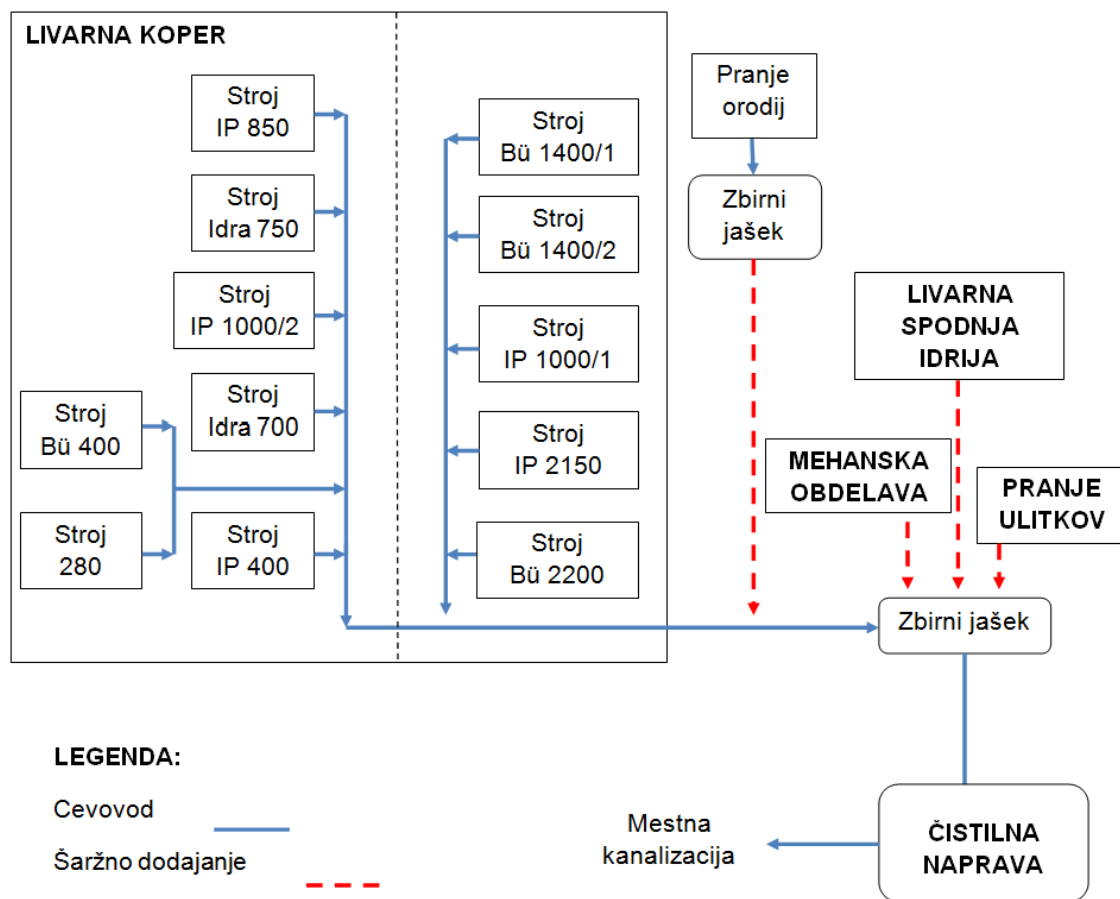
Zbrana olja ter gošča, ki se skladiščijo v B9, se v tovarnjak prečrpajo s strani pooblaščenega zbiralca odpadkov in odpeljejo na sežig.

Na čistilni napravi se uporabljajo 4 polimerni ter 2 keramična ultrafiltracijska modula.

Preglednica 1: Tehnični podatki polimernih ter keramičnih membran na čistilni napravi

Tehnični podatek	Polimerni modul	Keramični modul
<i>Sestava membran</i>	<i>Akilonitrilni ko-polimer</i>	<i>α-aluminij/cirkonij</i>
<i>Velikost por [nm]</i>	10	50
<i>Konstrukcija</i>	<i>Votla vlakna⁴</i>	<i>Cevna večkanalna</i>
<i>Površina [m²]</i>	6,1	0,23
<i>Maksimalna delovna temperatura [°C]</i>	45	150
<i>Maksimalni vstopni tlak [bar]</i>	2,1 (pri 25 °C)	10,0
<i>Maksimalni gradient tlaka skozi membrano [bar]</i>	2,1 (pri 25 °C)	6,0
<i>Maksimalni hidavlični padec tlaka [bar]</i>	1,7	n.a.
<i>Maksimalni povratni tlak iz strani permeata [bar]</i>	1,4	n.a.
<i>Dovoljen pH</i>	1,5 - 13	1 - 14

⁴ Ang. Hollow fiber



Slika 4: Prikaz poteka odpadnih vod do čistilne naprave Alutec Koper

2.4 Odpadne vode kovinskih industrij in njihova obdelava

Odpadna voda je voda, ki se po uporabi ali kot posledica onesnaženja padavin odvaja neposredno ali po kanalizaciji (Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo, 2012). Industrijska odpadna voda je voda, ki nastaja v industriji in po nastanku ni podobna komunalni odpadni vodi. V Uredbi o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in kanalizacijo (2012) se pod industrijsko odpadno vodo klasificira tudi mešanica industrijske odpadne vode s komunalno ali padavinsko odpadno vodo, odpadna voda, ki se zbira in odteka iz obratov ali naprav za predelavo, skladiščenje ali odstranjevanje odpadkov in s funkcionalnih prometnih površin ter hladilna odpadna voda.

2.4.1 Oljne odpadne vode

V preglednici spodaj (Preglednica 2) so opisane štiri kategorije olja, ki se pojavlja v odpadnih vodah. Procesni čiščenja zaoljenih odpadnih vod se običajno osredotočajo na prosto ter emulgirano olje.

Prosto olje. Prosto olje ima nižjo specifično težo od vode, zato se relativno hitro dvigne na površje od koder se nato odstrani z različnimi tehnikami.

Dispergirano olje. Teoretično se lahko dispergirano olje odstrani v gravitacijskem procesu, vendar so zadrževalni časi za doseganje zadovoljivega učinka izredno dolgi. Zato se za ločevanje dispergirane olja običajno uporabljajo floatacijske celice ali centrifugiranje (Stewart in Arnold, 2008).

Emulgirano olje. Stabilne oljno vodne emulzije nastajajo v mnogih industrijskih panogah in so definirane kot koloidne suspenzije ene ali več tekočin v drugi tekočini s kapljicami manjšimi od 20 μm . Emulzije niso termodinamično stabilne in lahko nastanejo le pod določenimi pogoji (temperatura, tlak ter sestava), vrsta nastale emulzije pa je funkcija viskoznosti, dielektrične konstante, relativne koncentracije ter specifične gostote obeh faz. Pomemben vpliv imata tudi vrsta emulgatorja (surfaktanta) ter pH vrednosti vodne faze (Coca in sod., 2010). V kovinski industriji je najpogostejša raba emulzij kot hladilno-mazalna sredstva, ki z aditivi pridobijo še sekundarni namen, npr. protikorozijske, protibakterijske in protipenilne lastnosti. Struktura emulgiranega olja je zaradi vpliva emulgatorja⁵ zelo stabilna, zaradi česar so številne konvencionalne metode manj učinkovite pri njihovi obdelavi (Kajitvichyanukul in sod., 2008). Šele po uničenju vezi med emulgatorjem in oljem bodo nastale kapljice dispergirane olja.

Preglednica 2: Kategorizacija olja glede na fizikalno obliko (Coca in sod., 2010: 3)

Kategorija	Opis	Premer kapljice
Prosto olje	v stabilnem okolju se prosto olje hitro dvigne na gladino odpadnih vod	$\geq 150 \mu\text{m}$
Dispergirano olje	fine kapljice olja, ki so stabilizirane zaradi električnega naboja brez prisotnosti surfaktantov	20 – 150 μm
Emulgirano olje	porazdelitev v odpadnih vodah je podobna kot pri dispergiranem olju, vendar je njegova stabilnost emulgiranega povečana zaradi interakcij z emulgatorji (predvsem surfaktanti), prisotnimi v vodi	$\leq 20 \mu\text{m}$
Raztopljeno olje	olje ni prisotno v obliki vidnih kapljic, temveč je raztopljeno (solvatacija) ali dispergirano v obliki ekstremno majhnih kapljic	$\leq 5 \mu\text{m}$

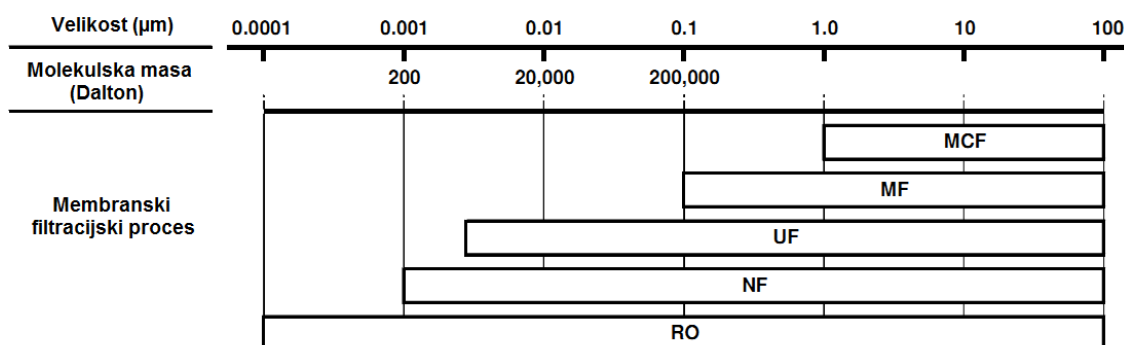
2.4.2 Suspendirane snovi

Količine suspendiranih snovi so v odpadnih vodah relativno nizke, toda če fizikalne karakteristike in elektronski naboj delcev privlači oljne kapljice, se delci vežejo na oljne kapljice (Stewart in Arnold, 2008). Kombinirana specifična teža aglomerata je primerljiva s specifično težo odpadne vode, kar pomeni, da je separacija obeh onemogočena. V takih primerih je primerna kemijska obdelava (preprečevanje nastanka aglomerata) ali predhodno odstranjevanje delcev (npr. filtriranje).

⁵ Emulgator znižuje medfazno napetost olja, zaradi česar se lahko izoblikujejo zelo majhne kapljice olja. Povečano razmerje med površino in volumnom oljnih kapljic še dodatno prispeva k stabilnosti emulzije.

2.5 Membranska separacija

Membrana je tanek film materiala s selektivno permeabilnostjo, na osnovi katere poteka ločevanje delcev in molekul različnih velikosti (Slika 5). Nadzor delovanja preko avtomatiziranega sistema ter kontinuirano ali pol-kontinuirano obratovanje brez dodatnih reagentov in toplil so najpomembnejše prednosti membranskih procesov. Širok spekter rabe, od čiščenja odpadnih vod, do priprave vod za prehrabne in tehnološke namene, botruje aplikaciji številnih membranskih procesov, pri čemer so mikrofiltracija (MF), ultrafiltracija (UF), nanofiltracija (NF) ter reverzna osmoza (RO) daleč najpogostejši (Berk, 2009). Kljub vsem prednostim membranskih procesov, je njihova aplikacija zaradi variabilne kemijske in termične obstojnost membran ter mašenja do določene mere otežena.



Slika 5: Pregled membranskih procesov (EPA, 2005: 2-3)

2.5.1 Materiali, moduli in sistemi

V odgovor na raznoliko rabo membranskih procesov se za proizvodnjo membran uporabljajo različni materiali. Oblikovani so bili številni sistemi membranske separacije, prilagojeni specifičnim lastnostim medija in zahtevam kakovosti permeata.

Materiali. Membrane so lahko narejene iz sintetičnih polimerov, obstajajo pa tudi t.i. keramične in kovinske membrane. Izbira materiala vpliva na obliko in delovne parametre membran. Polimerne membrane so v primerjavi s keramičnimi in kovinskimi veliko bolj občutljive, posledično so dovoljeni delovni tlaki in temperature nižje. Na propustnost vpliva tudi površinski naboj membran: lahko se jih opredeli kot hidrofilne ter hidrofobne (EPA, 2005). Za konstrukcijo MF in UF membran se uporabljajo različni materiali, najpogosteje acetatna celuloza (ang. cellulose acetat), poliviniliden (ang. polyvinilidene fluoride), polisulfon (ang. polysulfone), polietersulfon (ang. polyethersulfone) in polipropilen (ang. polypropilen). Vsi omenjeni materiali so hidrofobni. Membrane za NF in RO so v večini primerov narejene iz acetatne celuloze in poliamidnih materialov (EPA, 2005).

Moduli. Membrane so zaradi izboljšanja njihove učinkovitosti začeli vgrajevati v t.i. module. Ravno ekonomičnost in učinkovitost modulov je botrovala komercialnemu razcvetu membranske tehnologije v šestdesetih in sedemdesetih letih prejšnjega stoletja (Baker, 2004). Izvedbe modulov se razdelijo na dve skupini, ravne in cevne (Roš in sod., 2005), obstaja pa pet osnovnih oblik modulov. Ploskovno zgrajeni moduli in spiralno naviti moduli sodijo med ravne membrane, cevni, kapilarni in votlovlaknasti moduli pa so osnovani kot cevaste membrane. V splošnem se v MF in UF uporabljajo membrane z votlimi vlakni, v NF in RO pa spiralno zavite membrane (Baker, 2004).

Struktura membran. Učinkovitost membran determinira tudi njihova struktura. Lahko so trdne ali tekoče, trdne pa se nadalje delijo na simetrične in asimetrične (Baker, 2004). Simetrične membrane so narejene iz enega materiala (homogena struktura), gostota in struktura por je skozi prečni prerez membrane enakomerna (EPA, 2005). Asimetrične membrane imajo lahko homogeno ali heterogeno strukturo, gostota materiala pa se v prečnem prerezu membrane spreminja (EPA, 2005). Asimetrične membrane so v primerjavi s simetričnimi bolj odporne, omogočajo višje pretoke, njihovo čiščenje je veliko bolj enostavno (Baker, 2004), zato v veliki meri nadomeščajo simetrične. Ravno razvoj asimetričnih membran je povečal njihovo aplikativnost, saj je omogočil uporabo membran v industrijske namene (Roš in sod., 2005).

2.5.2 Osnovni koncepti membranske filtracije

Fluks in selektivnost. Glavna kriterija učinkovitosti membranskih sistemov sta fluks (ang. flux) in selektivnost membrane (Roš in sod., 2005). Fluks je definiran kot volumen na enoto površine in časa:

$$J = \frac{V_f}{A_m \cdot t} = \frac{Q_f}{A_m} \quad (1)$$

J = fluks [L/ (m² · h¹)]

V_f = volumen [L], volumen filtrata

Q_f = pretok [L/h], pretok filtrata

A_m = površina [m²], površina membrane

t = čas [h], čas ločevanja

Selektivnost membrane se lahko izrazi kot retenzija (R) ali separacijski faktor (α).

Tlak. Tlak predstavlja gonilno silo transporta materiala skozi membrane v štirih prej omenjenih membranskih procesih, toda njihov proces separacije je različen (Berk, 2009). MF in UF sta pristna membranska procesa, ki v splošnem slonita na enem samem kriteriju, t.j. velikosti por. Nasprotno se delci pri RO ločijo na molekularni ravni na osnovi njihovih kemijskih lastnosti. Proces NF se bistveno ne razlikuje od RO (Berk, 2009).

Pri obravnavanju tlaka v membranskih procesih je razlikovanje med hidravličnim padcem tlaka in gradientom tlaka skozi membrano (P_m) nujno. P_m se nanaša na razliko med tlakom na strani retentata in tlakom na strani permeata na poljubni točki vzdolž membrane, z največjo vrednostjo na vtoku in najmanjšo na iztoku (Bylund, 1995). Zmanjšanje P_m poteka linearno, zato se lahko v procesu dinamične filtracije izračuna kot povprečje tlaka vhodne odpadne vode ter retentata po naslednji enačbi (Berk, 2009):

$$P_m = \frac{P_v + P_i}{2} - P_p \quad (2)$$

P_m = tlak [bar], gradient tlaka skozi membrano

P_v = tlak [bar], tlak odpadnih vod na vhodu v modul

P_i = tlak [bar], tlak retentata na izhodu iz modula

P_p = tlak [bar], tlak permeata

Fluks, torej učinkovitost membranske separacije, je funkcija P_m . Zelo visoke vrednosti P_m na vходу hitro zamašijo membrane in izkušnje so pokazale, da je separacija najučinkovitejša pri nizkih vrednostih P_m (pri konvencionalni dinamični filtraciji le na majhnem območju pri iztoku) (Bylund, 1995). Da bi bili doseženi optimalni pogoji na celotni površini modula, je bil vpeljan sistem filtracije z enotnim P_m , ki vključuje hitro kroženje permeata s tokom vhodnih vod (Slika 6 – B).

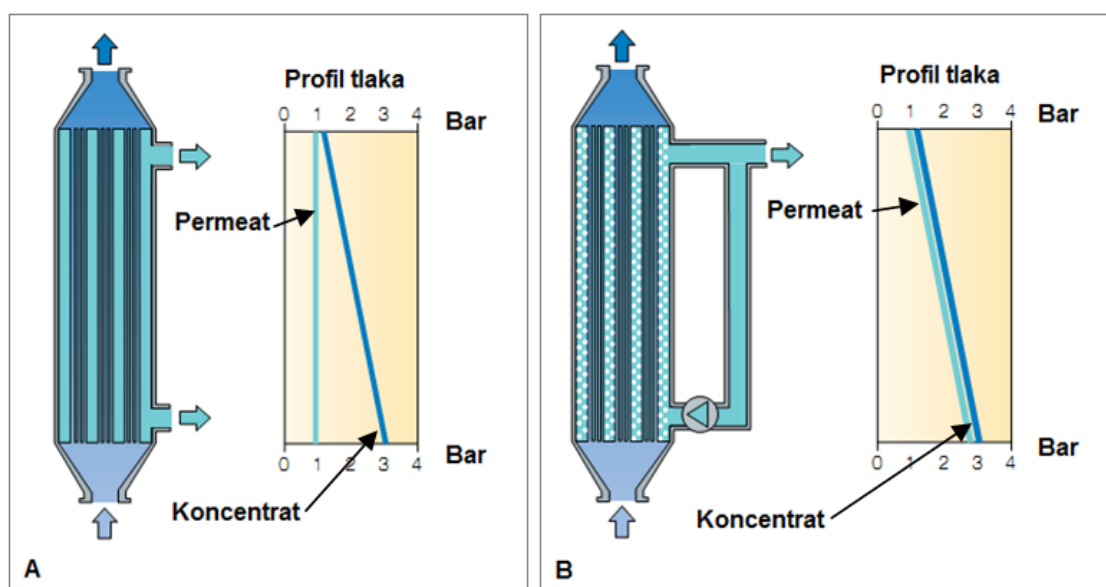
Hidravlični padec tlaka (P) definira razliko med tlakom vstopnih vod in retentatom po Enačbi 3. Z večanjem vrednosti P se povečuje tudi hitrost medija skozi modul (Bylund, 1995). Od hitrosti medija je odvisna tudi moč strižnih napetosti na membrani, ki zmanjšujejo učinek koncentracijske polarizacije in mašenje membrane.

$$P = P_v - P_i \quad (3)$$

P = tlak [bar], hidravlični padec tlaka

P_i = tlak [bar], tlak retentata na izhodu iz modula

P_v = tlak [bar], tlak odpadnih vod na vходу v modul



Slika 6: Padec tlaka med (A) konvencionalno dinamično filtracijo in (B) filtracijskim sistemom z enotnim gradientom tlaka skozi membrano (Bylund, 1995: 127)

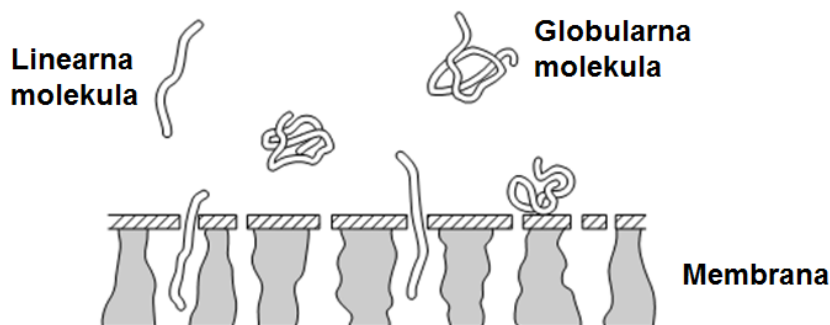
Permeabilnost membran. Permeabilnost ali propustnost membrane, L_p , je funkcija strukture membrane, ki vključuje porazdelitev velikosti por in poroznost membrane ter viskoznost permeata. Z delovanjem se permeabilnost membrane zaradi koncentracijske polarizacije ter mašenja zmanjšuje.

2.6 Ultrafiltracija

Membranska UF je proces med NF in MF, v katerem se pod tlakom odstranjujejo makromolekule ter koloidi. Povprečna velikost por je v območju 0,05 μm do 1 nm (Roš in sod., 2005).

2.6.1 Učinkovitost UF membran

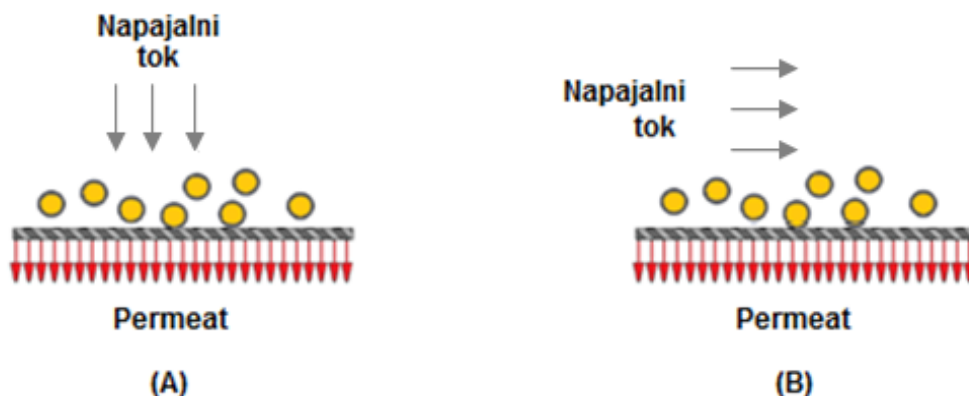
Učinkovitost UF membran je ovrednotena z izključitveno molekulsko maso (ang. molecular weight cut-off), toda na separacijo oz. ločevanje vplivajo tudi številni drugi faktorji. Med pomembnejše velja omeniti obliko molekule. Linearne molekule membrano preidejo, medtem ko se kroglaste molekule z enako molekulsko maso zadržijo (Slika 7). V povezavi s prejšnjim faktorjem igra vlogo tudi pH vrednost vhodnih vod, saj le ta vpliva na konfiguracijo molekul (predvsem polielektrolitov).



Slika 7: Vpliv oblike molekule na učinkovitost ultrafiltracije (prirejeno po Baker, 2004: 240)

2.6.2 Sistem filtracije

Obstajata dva načina izvedbe membranskih procesov in sicer statična filtracija (ang. dead-end filtration) ter dinamična filtracija (ang. crossflow filtration). Termina se navezujeta na smer napajalnega toka: pri statični filtraciji napajalni tok teče čelno skozi membrane, pri dinamični filtraciji pa je usmerjen prečno na membrane (Slika 8).



Slika 8: Razlika med statično (A) in dinamično (B) filtracijo

2.6.3 Upad fluksa in mehanizmi mašenja

Upad fluksa (ang. flux decline) predstavlja najpomembnejšo oviro vsesplošne aplikacije ultrafiltracijskih procesov, kar je moč zaslediti v številnih študijah (Matthiason, 1983, Van den Berg in Smodlers, 1990, Vela in sod., 2006, Guo in sod., 2012). Zmanjša se produktivnost čistilne naprave (zmanjšuje se pretok permeata), povečajo se stroški obratovanja čistilne naprave (povečevanje delovnega tlaka vhodnih vod, pogostejše in intenzivnejše čiščenje membran), vpliva pa tudi na življenjsko dobo ter selektivnost membran. Upad fluksa je odvisen od lastnosti vhodnih vod, koncentracije mašilnih komponent, kemije vode (pH, ionska moč), lastnosti membran, temperature ter delovnih parametrov (začetni pretok permeata, hitrost prečnega pretoka). Pri opisovanju upadanja gostote toka je potrebno razlikovati med dvema vzrokoma za zmanjšanje membranskega toka, koncentracijsko polarizacijo ter kopičenjem materiala.

Koncentracijska polarizacija je naravna posledica selektivnosti membrane, zaradi katere se delci ali raztopljene snovi akumulirajo ob površini membrane (Field, 2010), kjer se koncentracija nekaterih večjih raztopljenih snovi poveča 20 do 50 krat v primerjavi s koncentracijo v vhodnih vodah (Baker, 2004). Koncentracijska polarizacija na selektivnost membrane vpliva na dva načina (Berk, 2009): (1) s spremembo toka permeata proti retentatu zaradi povečanja osmotskega povratnega tlaka (spremenjen tok je posledica visoke koncentracije pri membrani, fenomen, ki se pri UF redkeje pojavi zaradi prisotnosti snovi z večjo molekularno maso) in/ali (2) z ustvarjanjem dodatnega upora proti membrani zaradi koncentrirane, bolj viskozne plasti.

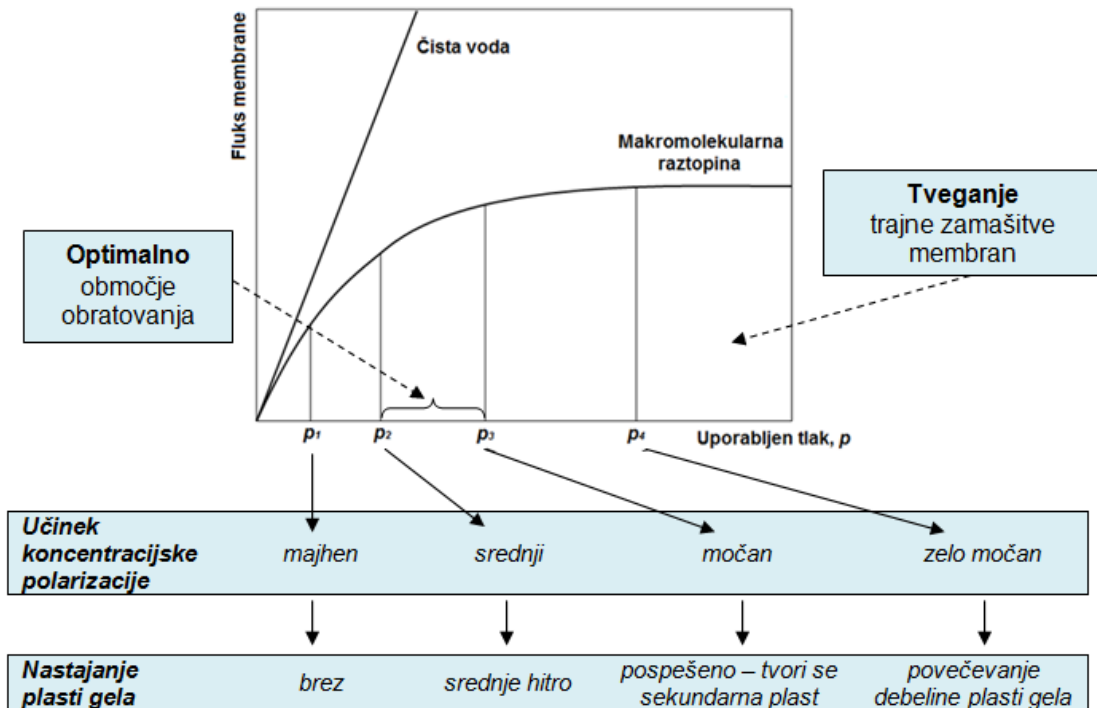
Kopičenje materiala, t.i. mašenje, je drugi vzrok zmanjšanja fluksa, do katerega pride zaradi interakcije med mašilnimi komponentami in membrano. Interakcija poteče v, na ali ob membrani in se lahko opiše z enim izmed naslednjih mehanizmov mašenja (Field, 2010; Guo in sod., 2012):

(1) **Adsorpcija:** Rezultat specifičnih interakcij med membranami ter delci ali raztopljenimi snovmi. V primerih, ko je stopnja adsorpcije odvisna od koncentracije določene mašilne komponente, jo koncentracijska polarizacija še dodatno povečuje (Field, 2010).

(2) **Zapiranje por:** Pore predstavljajo aktivno področje membrane zato ni presenetljivo, da je ravno mehanizem zapiranja por najpomembnejša oblika mašenja. Koloidi v velikostnem območju med 3 in 20 nm so najpomembnejši faktorji mašenja, delci večji od 0,45 μm pa so v primerjavi z raztopljenimi snovmi relativno nepomembni (Howe in Clark, 2002). Na sliki (Slika 10) so prikazani trije mehanizmi zapiranja por, ki vodijo v redukcijo gostote toka zaradi njihove delne ali popolne zamašitve.

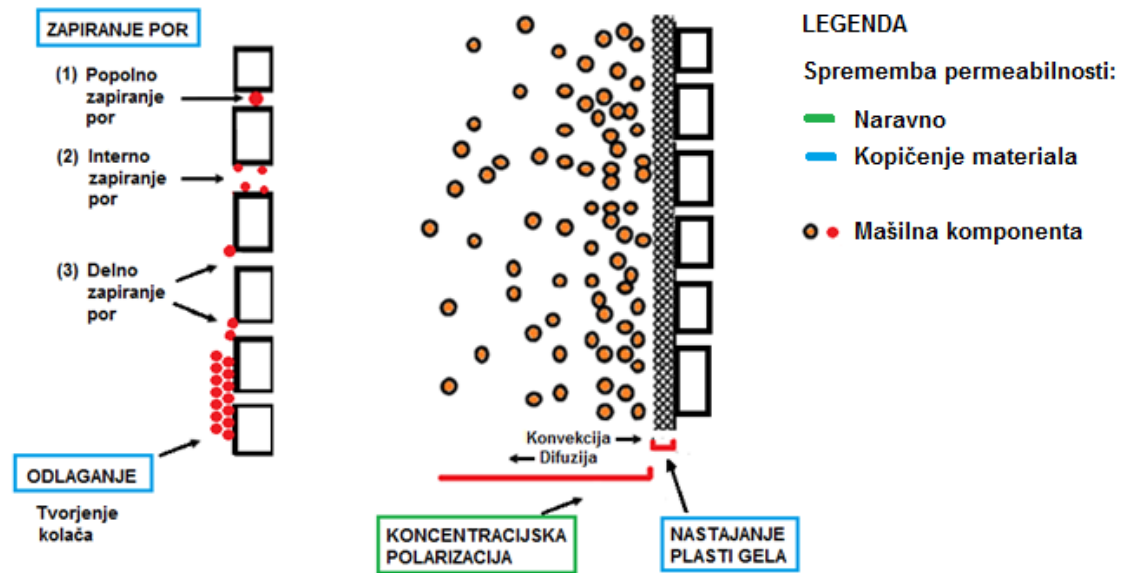
(3) **Odlaganje ali depozicija:** V primeru večjih količin delcev fazi zapiranja por sledi odlaganje delcev. Nastane t.i. pogača, ki dodatno povečuje hidravlično upornost.

(4) **Nastajanje plasti gela:** Kljub temu, da je koncentracijska polarizacija naravna posledica permeabilnosti membrane, nastajanje plasti gela uvrščamo med mašilne mehanizme. Koncentracija določenih makromolekul se lahko povečuje le do določene meje in ko je ta meja presežena, začne v neposredni bližini membrane nastajati plast gela (Field, 2010). Kakor je ponazorjeno na naslednji sliki (Slika 9), fluks v tej točki ne raste več ne glede na povišanje tlaka.



Slika 9: Vpliv tlaka na fluks UF membrane in formacijo sekundarne plasti gela. (Baker, 2004: 245)

(5) **Biolško mašenje:** Definirano je kot nezaželena akumulacija mikroorganizmov, do katere pride zaradi prenosa, rasti in metabolizma celic bakterij (ekstracelularne polimerni produkti, ki se prenesejo v vodno fazo) ali flokul na membranah (Guo in sod, 2012).



Slika 10: Prikaz mehanizmov zmanjševanja fluksa (prirejeno po Van den Berg in Smodlers, 1990: 104 ter Field, 2010: 12)

2.6.4 Zmanjševanje mašenja

Kakor je bilo že poudarjeno na mašenje membran vpliva več faktorjev. S predčiščenjem odpadnih vod se je mašenju do določene stopnje mogoče izogniti, bodisi z odstranjevanjem potencialno adsorbiranih molekul, bodisi s spreminjanjem njihovih lastnosti (Wang in sod., 2008). Mašenje se lahko zmanjša tudi z vpeljavo bolj agresivnega spiranja ali s povečanjem strižnih sil v cevkah s povečanjem pretoka odpadnih vod (dinamična filtracija) (Bourgeois in sod., 2001). V nadaljevanju so predstavljene najpogosteje uporabljene tehnike preprečevanja mašenja membran.

2.6.4.1 Predčiščenje

V nadaljevanju so opisane osnovne lastnosti najpogostejših metod predčiščenja pri obdelavi vode z ultrafiltracijo. Preglednica o njihovih mehanizmih ter vplivih na mašenje je v Prilogi B.

Koagulacija. Koagulacija je najuspešnejša in najpogostejša metoda obdelave odpadnih vod pred membransko filtracijo (Huang in sod., 2009). Toda večina študij se je nanašala na čiščenje površinskih (Choksuchart in sod., 2002, Chen in sod., 2007, Konieczna in sod., 2009, Begamoscoa in sod., 2011) ter komunalnih vod (Kabsch-Korbutowicz, 2006, Delgado Diaz in sod., 2012). Koagulacija se je v vseh primerih izkazala kot ustrezna izbira, pri čemer je potrebno poudariti naslednje: (1) učinkovitost preprečevanja mašenja je izredno povezana z izbiro koagulantov in frekvenco doziranja, saj se lahko v nasprotnem primeru doseže ravno nasprotni učinek, t.j. povečano mašenje, (2) v primerjavi s konvencionalno sedimentacijo nastajajo občutno večje količine blata, (3) ustreznost aplikacije je odvisna od onesnaženosti vod (onesnaženost vod v večini študij je relativno majhna v primerjavi z obremenjenimi industrijskimi odpadnimi vodami).

Adsorpcija. Termin adsorpcija predstavlja procese prenosa snovi iz tekoče na trdno fazo s pomočjo aktivnega oglja, sintetičnih polimerov ali adsorbentov na osnovi silicijevih spojin (Roš in Zupančič, 2010). Aktivno oglje je daleč najpogosteje uporabljen adsorbent zaradi njegove cenovne prednosti in možnosti regeneracije.

Oksidacija. Oksidacija se nanaša na doziranje primerne količine plinskega ali tekočega oksidanta (običajno ozon) z namenom odstranjevanja organskih in tudi anorganskih snovi. Oksidacija je izredno učinkovita pri preprečevanju biomašenja, saj uspešno zatira rast mikroorganizmov. You in sod. (2007) so dokazali učinkovitost kontinuirane rabe ozona pri oksidaciji organsko obremenjenih odpadnih vod. Največjo slabost oksidacije predstavljajo poškodbe membran, nastanek stranskih produktov dezinfekcije in nevarnost pri delu.

Predfiltracija. Namen predfiltracije je odstranjevanje večjih delcev in maščob in s tem preprečevanje tvorbe pogače ali plasti gela (Huang in sod., 2009). V odvisnosti od kakovosti vhodnih vod in specifikacij proizvajalcev membran, se velikosti por predfiltror gibljejo med 100 in 3000 μm (Shammas in Wang, 2008). Možnosti za izbiro je veliko: od zrnatih medijev (npr. peščeni filtri) z ali brez dodatkov koagulantov, do papirnatih ali kovinskih filtrov. V nekaterih primerih se en tip membranske filtracije uporablja kot predfiltracija drugemu tipu, npr. povezava MF in UF, NF in RO.

2.6.4.2 Uravnavanje pH

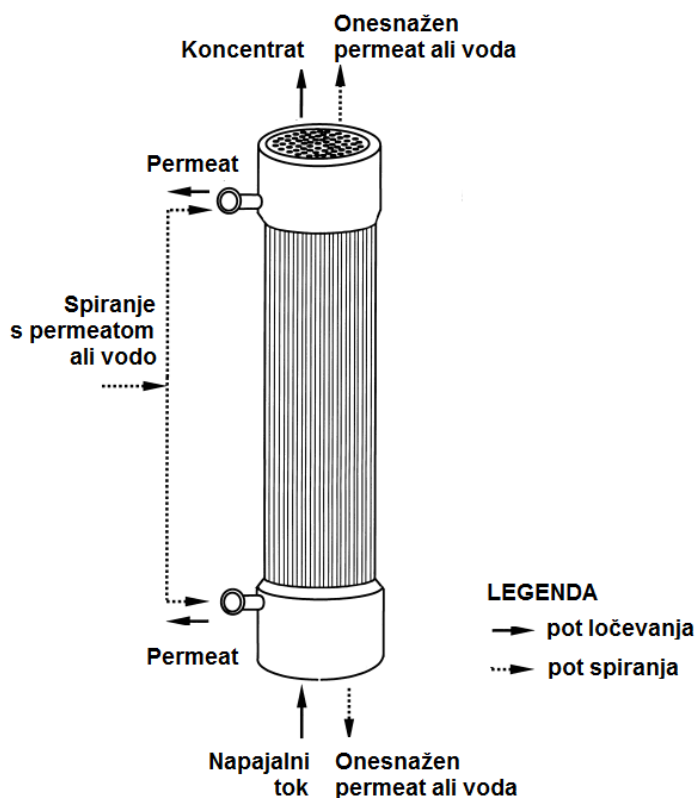
Uravnavanje pH je izredno pomembno pri hidrofobnih mašilih, ki se adsorbirajo na ultrafiltracijske membrane in zmanjšujejo premer por (Brinck in sod., 2000). Pri hidrofobnih membranah se tveganje za adsorpcijo povečuje s povečevanjem hidrofobnosti snovi. pH vrednost vpliva tudi na topnost ter konfiguracijo makromolekul.

2.6.4.3 Čiščenje membran

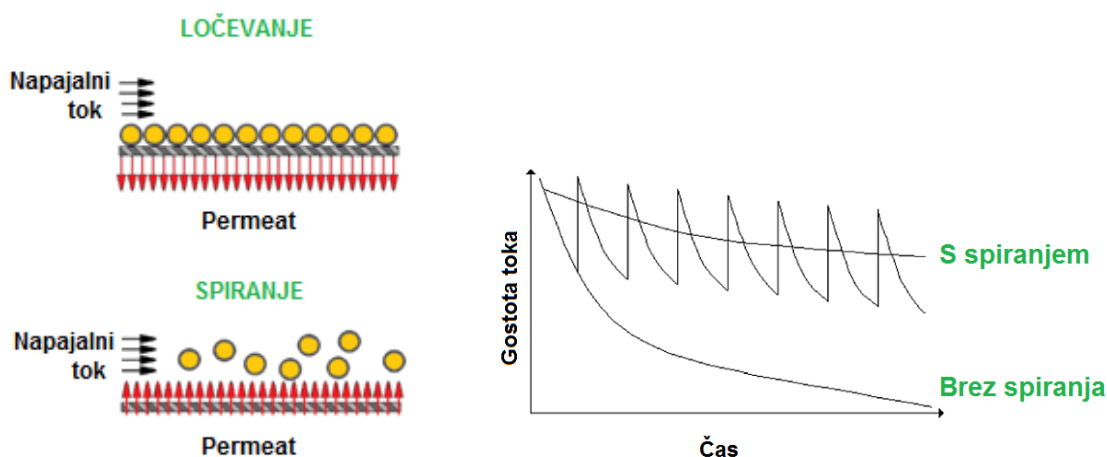
Izbira metode čiščenja membran je odvisna predvsem od kemijskih in fizikalni lastnosti membran, procesa ter mašilnih komponent.

Mehansko čiščenje. Lahko se uporabi le pri nekaterih vrstah modulov (npr. cevastih), pri čemer se v cevi dovajajo gumijaste kroglice, katerih premer je minimalno večji od premera cevi (Baker, 2004).

Hidravlično čiščenje oziroma povratno spiranje. Povratno spiranje (ang. backwashing) je najenostavnejša metoda čiščenja, pri kateri se za odstranjevanje mašila uporablja protitočni tok permeata ali vode, ki pod povišanim tlakom vdirajo iz zunanje (permeat) na notranjo stran membrane (Slika 11, desno zgoraj). Protitočni tok lahko odstrani nekatera mašila (predvsem trde delce) in začasno poveča gostoto toka (Field, 2010), toda sam postopek lahko poškoduje membrane in se praviloma uporablja pri bolj odpornih kapilarnih ter keramičnih modulih (Baker, 2004). V kolikor je membrana bolj zamašena se permeatu lahko dodajo manjše koncentracije pralnih sredstev (npr. nizke koncentracije klora), t.i. kemijsko povratno spiranje.



Slika 11: Prikaz povratnega spiranja (levo Bourgeois in sod., 2001: 79)



Slika 12: Mehanizem ločevanja in spiranja in pričakovan vpliv povratnega spiranja na gostoto toka (prirejeno po Field, 2010: 16)

Kemijsko čiščenje. Membrane se daljše časovno obdobje spira z demineralizirano vodo, ki se ji doda čistilna sredstva. Izbira čistilnega sredstva je odvisna od mašila (Preglednica 3) ter odpornosti membrane.

Električno čiščenje. Ta specifična metoda se lahko uporablja le na električnoprivodnih membranah in posebnih moduli z elektrodami. Na membrano deluje električno polje, zaradi česar se delci in molekule z nabojem premikajo v smeri električnega polja (Roš in sod., 2005). Metoda se lahko uporablja med ločevanjem, električno polje pa deluje v predhodno definiranih intervalih.

Preglednica 3: Pregled procesa čiščenja v odvisnosti od vrste mašilne komponente (prirejeno po Guo in sod, 2012)

Mašilna komponenta	Proces mašenja	Čiščenje
Trdi delci Anorganski ali organski delci/ koloidi	Zapiranje vlaken Zapiranje por Tvorjenje pogače na površini	Povratno spiranje
Raztopljene komponente Organske Makromolekule	Nastajanje plasti gela na membrani Tvorjenje pogače na membrani	Kemijsko čiščenje z alkalnimi raztopinami, ki jim sledi vroča raztopina reagenta
Majhne molekule – običajno hidrofilne	Adsorpcija (glikoli npr. protipenilni agensi) Zapiranje por	Kemijsko čiščenje s kislimi raztopinami
Anorganske Kovinski hidroksidi, kalcijeve soli, itd.	Precipitacija (sprememba pH)	Kemijsko čiščenje s kislimi raztopinami
Mikrobiološki organizmi Alge, bakterije	Biološko mašenje	Kemijsko čiščenje z biocidi

Pri opisu mašenja se pogosto uporabljata tudi termina ireverzibilni ter reverzibilni fenomen mašenja, ki sta bila omenjena že v prejšnjem poglavju. Razlikovanje med

ter delcem, zato se lahko končna hitrost izrazi s preračunavanjem sil, ki na delec delujejo (Gregory in sod., 1999):

$$F_u = F_g - F_v \quad (4)$$

F_u = sila [N], sila upora
 F_g = sila [N], sila gravitacije
 F_v = sila [N], sila vzgona

$$F_u = C_D \cdot A_C \cdot \rho_M \cdot \frac{v_s^2}{2} = V_e \cdot g \cdot (\rho_M - \rho_d) \quad (5)$$

C_D = Newtonov koeficient upora [/
 v_s = hitrost [m/s], hitrost usedanja
 ρ_d = gostota [kg/m³], gostota delca
 ρ_M = gostota [kg/m³], gostota medija
 A_C = površina [m²], projektirana površina delca v smeri toka
 V_e = volumen [m³], efektivni volumen delca
 g = gravitacijska konstanta [N · (m · kg)²]

iz Enačbe 5 se v_t izrazi kot:

$$v_t = \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot (\rho_M - \rho_d) \cdot r}{3 \cdot C_D \cdot \rho_d}} \quad (6)$$

r = polmer [m], polmer delca

Usedanje vsakega delca v konvencionalnem pravokotnem usedalniku poteka po horizontalni (Enačba 7) in vertikalni komponenti (Enačba 8). Posledično je hitrost medija definirana enako kot površinska obremenitev (Enačba 9). V idealnem primeru se posedejo delci, katerih končna hitrost usedanja je enaka ali presega hitrost medija oz. površinsko obremenitev odpadne vode (Gregory in sod, 1999).

$$L = \frac{t \cdot Q}{H \cdot b} \quad (7)$$

L = dolžina [m], horizontalna dolžina poti
 Q = pretok [m³/h,] pretok odpadne vode
 t_d = čas [h], čas poti delca
 H = globina [m], globina vode
 b = širina [m], širina usedalnika

In vertikalni komponenti,

$$h = v_s \cdot t_d \quad (8)$$

h = dolžina [m], vertikalna dolžina poti
 v_s = hitrost [m/s], hitrost usedanja

2.7.2 Učinek usedalnikov

Učinek usedalnikov je odvisen od njegovih dimenzij (površine, volumna), izvedbe vtoka ali iztoka in lastnosti odpadnih vod (Roš in sod, 2005). Iz teoretičnega stališča je odstranjevanje diskretnih delcev odvisno le od O_v , torej neodvisno od globine usedalnika ter zadrževalnega časa. Toda v praksi zmanjšanje globine vodi do nastanka turbulenc, medtem ko zadrževalni čas variira zaradi motenj na vtoku in iztoku, pojava tokov (razlike v gostoti, konvekcija in veter) ter slepih prostorov (ang. dead space) (Casey, 1997). Zato sta za določanje učinka usedalnikov pomembna parametra površinska obremenitev, ki jo določa površina bazena, in zadrževalni čas, ki je odvisen od njegovega volumna.

Površinska obremenitev (O_v). Površinska obremenitev (Enačba 9) predstavlja razmerje med pretokom in površino usedalnika. Hitrost usedanja delca v_0 , ki ga je možno odstraniti, je odvisna od O_v (Arceivala in Asolekar, 2007). V praksi je površinska obremenitev večja od teoretične, odgovarjajoče izračunanem v_0 , saj so dejanski pogoji v bazenu drugačni zaradi turbulenc in neenakomernega zadrževalnega časa. Na učinkovitost usedalnikov vplivajo različni faktorji, npr. vrste delcev v odpadnih vodah, temperatura odpadne vode in starost delcev (Spellman, 2011).

$$O_v = \frac{Q}{A} \quad (9)$$

O_v = površinska obremenitev [$\text{m}^3/\text{h m}^2$]
 Q = pretok [m^3/h], pretok odpadne vode
 A = površina [m^2], površina usedalnika

Zadrževalni čas (τ). Je razmerje med prostornino usedalnika in pretokom odpadne vode. Teoretično se zadrževalni čas določi po Enačbi 10, okvirno pa se lahko določi tudi praktično in sicer kot čas, ki je potreben za polnjenje usedalnika (Pizzi, 2005). Rendell (1999) zagovarja obratovalni zadrževalni čas med 1 do 2 uri pri maksimalnem pretoku, medtem ko predvideni zadrževalni čas po nekaterih avtorjih (Spellman in Whiting, 2005) sega tudi do 3 h. Dejstvo je, da mora biti zadrževalni čas zadosten, da se vse usedljive snovi odstranijo. Toda ni nujno, da daljši zadrževalni čas izboljša učinek odstranjevanja. Zaradi nastanka anaerobnih pogojev in razgradnje snovi se lahko doseže ravno nasprotni učinek (Roš in sod., 2005).

$$\tau = \frac{V_u}{Q} \quad (10)$$

τ = čas [h], zadrževalni čas
 V_u = volumen [m^3], volumen usedalnika

Konstrukcija vtoka in iztoka ter pojav turbulenc. Konstrukcija vtoka in iztoka igra pomembno vlogo, saj vpliva na razporeditev toka in nastanek turbulenc. Prevelika vtočna hitrost lahko povzroči dvigovanje že usedenih delcev in spiranje usedljivih snovi iz usedalnika. Na vtoku je potrebno hitrost zmanjšati in jo razporediti enakomerno skozi bazen, podobni pogoji morajo biti vzpostavljeni tudi na iztoku usedalnika (Roš in sod., 2005).

Razmere pretoka določa Reynoldsovo število (Re): v splošnem velja, da se z gotovostjo trdi, da je za $Re > 600$ tok laminaren in za $Re > 2000$ je tok turbulenten (Casey, 1997). Za pravokotne usedalnike velja:

$$Re = \frac{Q \cdot B \cdot H}{B \cdot H \cdot B + 2H} = \frac{Q}{v} \quad (11)$$

v = kinematična viskoznost [m^2/s]

Kinematična viskoznost je odvisna od gostote medija. Gostota zaradi raznovrstne sestave odpadnih vod ni konstantna, toda iz enačbe se lahko razbere, da se vrednost Re zmanjša v kolikor se poveča širina in/ali dolžina usedalnika.

Lastnosti odpadnih vod. Usedanje snovi se lahko poslabša zaradi staranja odpadnih vod, saj se zaradi mikrobiološke razgradnje zmanjšuje pH odpadnih vod in nastajajo plini, ki povzročajo splavljanje trdih snov. Na usedanje vplivajo tudi lastnosti delcev (delci z veliko površino se usedajo počasneje) in temperatura odpadnih vod, od katere je odvisna viskoznost odpadnih vod (Roš in sod., 2005). Pri nižjih temperaturah je kljub zmanjšanemu delovanju mikroorganizmov učinek usedanja slabši.

2.7.3 Odstranjevanje snovi v usedalniku

V usedalniku se odstranjujejo trdi in plavajoči delci. Značilni učinki odstranjevanja snovi v primarnih usedalnikih so 90-95 % za trde usedljive snovi, 50-65 % za suspendirane snovi in 20 do 35 % za BPK_5 (Roš in sod., 2005).

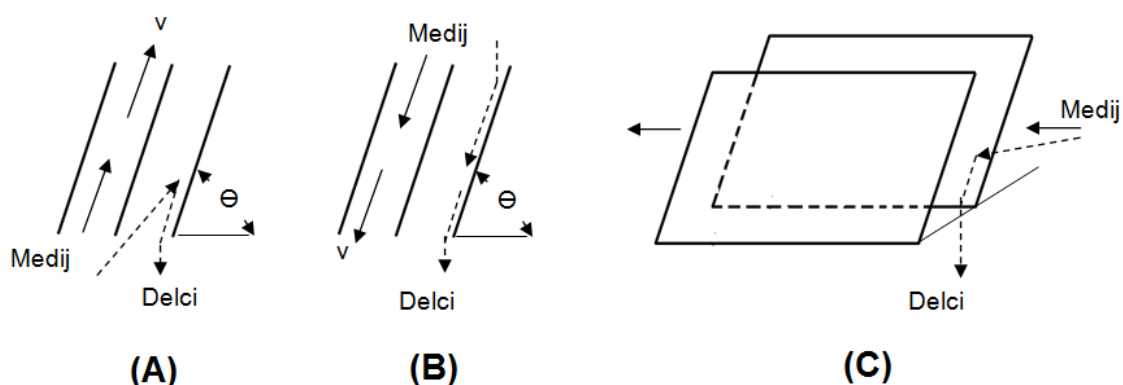
Trdi delci so bili zaradi svoje splošne prisotnosti v vseh virih vod klasificirani že leta 1952 (Rudolf in Balmat). Oblikovane so bile naslednje kategorije: (1) usedljivi delci ($> 100 \mu m$), (2) supra-koloidni delci ($1-100 \mu m$), (3) koloidni delci ($0,001 \mu m$ do $1 \mu m$) in (4) raztopljeni delci ($< 0,001 \mu m$). Usedljivi delci se usedajo mirno, v za obratovanje ČN sprejemljivem zadrževalnem času. Usedanje preostalih delcev (koloidov in raztopljenih delcev) je prepočasno, da bi se odstranili v sprejemljivem zadrževalnem času. Kakor je bilo že v principu usedanja omenjeno, lahko delce razdelimo tudi glede na njihovo težnjo po kosmičenju, vsebnost le teh pa prav tako vpliva na učinek usedalnika. Pesek in mivka so glavni predstavniki zrnatih delcev, organske snovi pa so v odvisnosti od njihove velikosti, relativne gostote in oblike običajno nagnjeni h kosmičenju (Roš in Zupančič, 2010).

Med plavajoče delce sodijo maščobe, prosto olje in druge snovi, ki se nanje adsorbirajo. Na njihovo odstranjevanje vpliva oblika usedalnika in lastnosti odpadnih vod (pri višjih temperaturah in kislem pH so olja in maščobe nagnjene k ostajanju v suspenziji, namesto da bi se dvignile na gladino). Pri počasnem laminarnem toku se delež maščob in olj usede z blatom, preostanek plavajočih delcev pa se dvigne na površino (Roš in Zupančič, 2010).

2.7.4 Paralelni lamelni usedalnik

Učinek usedanja delcev je odvisen od površine usedanja. Posledično se lahko učinek usedalnikov izboljša s povečanjem površine, kar je botrovalo oblikovanju lamelnih usedalnikov. Prvi za čiščenja vode namenski lamelni usedalniki so bili oblikovani v petdesetih letih prejšnjega stoletja z namenom zmanjšanja zadrževalnega časa odpadnih vod ter velikosti konvencionalnih usedalnikov (Gregory in sod., 1999).

Glede na tok odpadnih vod so bile oblikovane tri vrste lamelnih usedalnikov: (A) protitočni, kjer se odpadna voda dovaja pod lamelnimi moduli, (B) sotočni, kjer odpadna voda doteka navzdol in (C) skozitočni, kjer odpadna voda teče horizontalno skozi lamele (Gregory in sod., 1999) (Slika 14). V primeru izredno obremenjenih odpadnih vod z majhnim zadrževalnim časom so lahko sotočni usedalniki problematični zaradi dviganja že usedenih delcev. Z delci obremenjene vode so problematične tudi pri protitočnih usedalnikih, saj se delci odlagajo na površje spodnje plošče. Delci zdrsnejo na dno šele takrat, ko se njihova velikost dovolj poveča, da sila gravitacije premaga silo lepenja. Zato imata pri teh usedalnikih naklon in sprotno čiščenje izreden pomen. Pri skozitočnih usedalnikih odpadna voda teče horizontalno skozi lamele in ne vpliva na že usedene delce, strižne sile pa še dodatno prispevajo k čiščenju lamel.



Slika 14: Osnovni tipi lamelnih usedalnikov glede na tok medija (odpadna voda): (A) protitočni, (B) sotočni in (C) skozitočni (oblikovano po Gregory in sod., 1999)

Med pomembnejše faktorje pri dimenzioniranju lamelnega usedalnika spadajo: (1) razmerje med dolžino in razdaljo med lamelami, (2) razmerje med širino in razdaljo med lamelami in (3) naklon lamel (Ziolo, 1996). Prva dva faktorja determinirata primerno razdaljo med lamelami (razdalja pri manj obremenjenih vodah je lahko precej manjša od razdalje, ki jo je potrebno imeti pri bolj obremenjenih vodah), naklon pa je pomemben zaradi površine usedanja in drsenja delcev (samočistilne sposobnosti lamel).

3 EKSPERIMENTALNI DEL

Eksperimentalni del diplomskega dela sem razdelila na tri sklope. V prvem delu sem izoblikovala obrazce s pomočjo katerih smo vpeljali sistem spremljanja odpadnih vod. V drugem delu sem se osredotočila na definiranje trenutnega stanja čistilne naprave (študija mašenja membran in analiza konvencionalnega usedalnika) v odvisnosti od podatkov, ki smo jih pridobili s spremljanjem odpadnih vod v prvem delu. Na koncu sem primerjala učinkovitost delovanja konvencionalnega usedalnika v primerjavi z učinkovitostjo delovanja skozitočnega lamelnega usedalnika.

3.1 Definiranje trenutnega stanja odpadnih vod

Opis predvidenih količin in sestave odpadnih vod sem zasnovala na podatkih iz leta 2012. Podatke sem pridobila s spremljanjem števec, zasnovala sem tudi obrazce s pomočjo katerih smo vpeljali sistem beleženja generiranja ter čiščenja odpadnih vod glede na vire nastanka.

Kakor je bilo že omenjeno, se lahko odpadne vode klasificira glede na vir nastanka, in sicer na odpadne vode iz livarne (metalurški proces in čiščenje), odpadne vode iz mehanske obdelave ter odpadne vode, ki nastanejo pri pranju ulitkov. V Prilogi C so shematsko prikazana naslednja sredstva:

- sredstva, ki jih v proces dodajamo in predstavljajo osnovno sredstvo v posameznem tipu odpadnih (označeni zeleno),
- sredstva, ki v proces vstopajo zaradi nepravilnosti, npr. puščanja (označeni rdeče) in
- sredstva, ki se uporabljajo v pripravi tehnoloških vod in ne vplivajo na obremenitev ČN (označeni rumeno).

V odvisnosti od predvidene prisotnosti sredstev v odpadnih vodah sem le-te razvrstila v dve skupini: redna ter izredna sredstva. Na osnovi te razvrstitve sem pripravila standardne raztopine (poglavje 3.5) s katerimi sem želela preveriti vpliv posameznih olj na določanje SS. V nadaljevanju so opisane njihove najpomembnejše lastnosti, medtem ko so njihove tehnične lastnosti definirane v Prilogi D.

Redna sredstva zastopata dve vrsti maziv za orodje: Die-Lubric 7050 (v nadaljevanju D-L 7050) ter Die-Lubric 4052 (v nadaljevanju D-L 4052). Mejne vrednosti koncentracij vodnih raztopin obeh maziv se gibljejo med 1,0 ter 1,9 %. Obe mazivi sta emulziji z neionogenim emulgatorjem (polisiloksan), toda mazivu D-L 4052 je dodan tudi vosek. Vosek vpliva na mazalno sposobnost maziva in je zaželena komponenta le pri litju določenih ulitkov na starejših strojih, saj vpliva na nadaljnje operacije in na končno kakovost ulitka. Polisiloksani so najnovejši zaščitni premazi visoke zmogljivosti. Vključujejo vrste anorganskih ali organsko-anorganskih hibridnih siloksanskih premazov z visoko zaščito proti ultraviolečni svetlobi, toploti, izpostavljenosti kemikalijam in oksidaciji (Mower, 2003).

Med izredna sredstva sem uvrstila Ultra Safe 620, Transtherm 525 in Waylubric VG 220.

Ultra Safe 620 (US 620). US 620 sodi med novejšje generacije hidravličnih sredstev narejenih na osnovi vodnih raztopin glikolov in je daleč najpomembnejše izredno sredstvo, saj po izkušnjah vodje ČN vpliva na mašenje membran. Sodi v t.i. HFC

skupino, za katero je značilno vsaj 35 prostorninskih odstotkov vsebnosti vode. Se dobro meša z vodo, zato ga v procesih predčiščenja ne moremo odstraniti.

Transtherm 525 (T 525). Sintetično olje, ki se uporablja v nizkotlačnih zaprtih obtočnih sistemih za prenos toplote, t.i. grelnih napravah. Grelne naprave imajo oljne lovilnike, toda trenutno se pri rednem čiščenju ulovljeno olje izprazni v lovilni bazen.



Slika 15: Lovilnik olja (Transtherm 525) pod grelno napravo

Waylubric VG 220 (W 220). Uporablja se za mazanje centralnega mazalnega sistema. Je izredno viskozno sredstvo z nizko vrednostjo gostote.

3.2 Študija delovanja čistilne naprave

3.2.1 Definiranje mašenja membran

S spremljanjem parametrov predstavljenih v preglednici (Preglednica 4), sem želela določiti vpliv delovnih parametrov (temperatura, pH), recirkulacije (dinamični sistem z recirkulacijo retentata v delovno posodo B6) ter sestave odpadnih vod na fluks oz. zmanjšanje permeabilnosti membran. Pri študiji delovanja ČN bom uporabljala termin cikel, ki se nanaša na čas obratovanja ČN od začetka ločevanja do konca zgoščevanja. Cikel običajno traja tri dni.

Preglednica 4: Parametri za določanje učinkovitosti obratovanja ČN

Parameter	Oznaka	Enota	Merilo
Temperatura vstopnih vod začetna končna	T_z T_k	°C	Vgrajen termometer
pH vstopnih vod	pH	/	Vgrajen pH meter
Tlak tlak na izhodu tlak na vhodu tlak permeata	P_i P_v P_p	bar	Vgrajen manometer
Pretok permeata povprečni dnevni začetni končni	Q_p Q_z Q_k	L/h	Vgrajen rotameter
Fluks povprečni dnevni začetni končni	J_p J_z J_k	L / (m ² h)	Izračun po Enačbi 1

3.2.1.1 Vpliv delovnih pogojev in sestave odpadnih vod

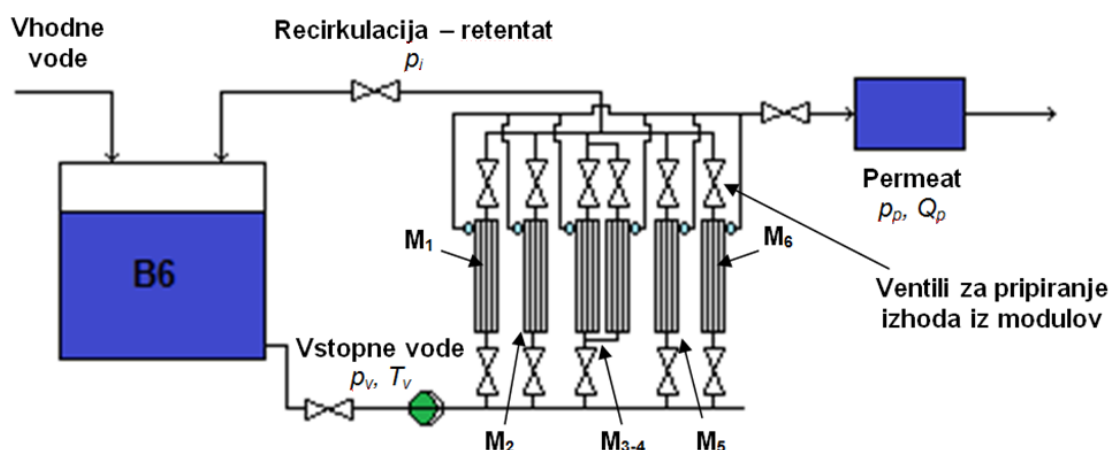
Za definiranje mašenja v daljšem časovnem obdobju sem uporabila podatke iz obratovalnega dnevnika ČN, v sklopu katerega se dnevno vpisujejo podatki iz priloge E. Priloga E vsebuje tudi izračune fluksa. Povprečno vrednost fluksa (J_p) sem definirala s pomočjo povprečnega dnevnega pretoka (Q_p) po naslednji enačbi:

$$Q_p = \frac{V_{vod}}{t_L} \quad (12)$$

V_{vod} = volumen [L], volumen odpadnih vod prečiščenih v enem dnevu
 t_L = čas [h], čas ločevanja

3.2.1.2 Vpliv izstopnega tlaka

Vpliv izstopnega tlaka sem umestila v svoje poglavje, saj sem se v njem osredotočila na primerjavo zmanjševanja permeabilnosti membran tekom dneva med obratovanjem ČN pri dveh izstopnih tlakih. Izstopni tlak lahko na ČN dosežemo s pripranjem izhoda posameznega modula (Slika 16). Parametre posameznega modula (Q_{M_i} , p_i) sem določala s tehniko izločevanja modulov iz obtoka. Meritve so zaradi obratovanja čistilne naprave potekale ob različnih časovnih korakih.



Slika 16: Shema povezave modulov

Poskus sem razdelila na dva dela. Tri cikle (9 dni obratovanja ČN) sem spremljala parametre pri vstopnem tlaku 1,8 bar in izstopnem tlaku 0,0 bar (izhod iz modulov je bil odprt). V naslednjih treh ciklih (ponovno 9 dni obratovanja ČN) sem izhode iz modulov priprla takoj po dnevnem pranju in nastavila izstopni tlak ca. 0,2 bar.

Na podlagi izmerjenih parametrov sem izračunala P_m (Enačba 2) in J (Enačba 1). Permeabilnost membrane (L_p) sem definirala po enačbi:

$$L_p = \frac{J}{P_m} \quad (13)$$

L_p = permeabilnost membrane [$1/(m^2 \cdot h \cdot bar)$]

Relativno razliko med začetnim in končnim fluksom sem poimenovala % mašenja:

$$\% \text{ mašenja} = \frac{J_z - J_k}{J_z} \times 100\% \quad (14)$$

J_z = fluks [L/ (m² · h¹)], fluks na začetku ločevanja

J_k = fluks [L/ (m² · h¹)], fluks na koncu ločevanja

Za analizo sem uporabila tudi povprečni % mašenja:

$$\text{povprečni \% mašenja} = \frac{J_z - J_p}{J_z} \times 100\% \quad (15)$$

Meritve in izračuni so podani v obratovalnem dnevniku v prilogi F.

3.2.2 Analiza konvencionalnega usedalnika na ČN

Zadrževalni čas in površinsko obremenitev sem izračunala po Enačbi 10 in Enačbi 9, pri čemer sem uporabila povprečni dnevni pretok, ki je podan glede na izkušnje vodje čistilne naprave.

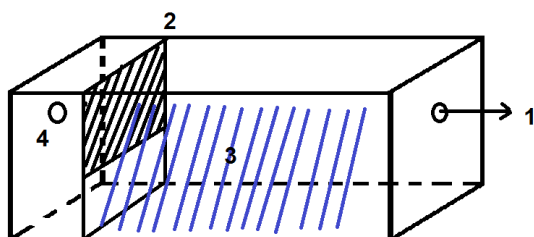
Preglednica 5: Tehnični podatki za obstoječi konvencionalni usedalnik

Parameter	Oznaka	Enota	Vrednost
Širina	b_K	[m]	1,30
Dolžina	D_K	[m]	1,40
Višina	H_K	[m]	1,20
Pretok	Q	[L/h]	2000
Zadrževalni čas	τ	[h]	1 h

3.3 Preverjanje učinkovitosti pretočnega lamelnega usedalnika

3.3.1 Pilotni usedalnik - tehnične lastnosti ter umestitev v sistem

Po definiranju trenutnega stanja sem se osredotočila na možnosti nadgradnje trenutnega usedalnika z lamelami. V obstoječi sistem sem povezala usedalnik (Slika 17), ki je prevzel funkcijo separatorja (Slika 18). Del pilotnega usedalnika predstavlja mobilna enota lamel (skozitočni sistem). Za določanje učinkovitosti lamelnega usedalnika sem izvedla primerjalne poskuse z istim pilotnim usedalnikom brez mobilne enote lamel.



Slika 17: Shematski prikaz pilotne naprave: 1. iztok, 2. grobo sito, 3. lamele, 4. vtok

Spremljala sem parametre pri treh pretokih, ki sem jih določila v odvisnosti od zadrževalnega časa po naslednji enačbi (Arceivala in Asolekar, 2007):

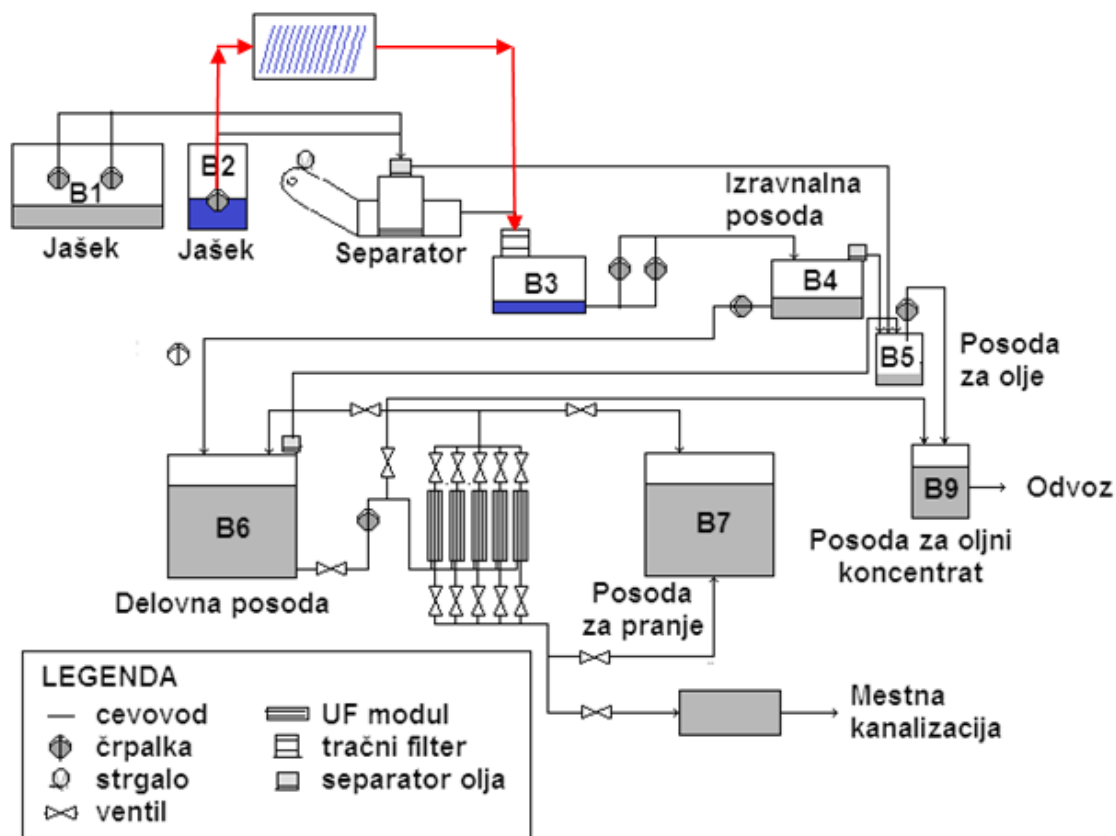
$$Q = \frac{V}{\tau} \quad (16)$$

Q = pretok [m^3/h], pretok odpadne vode
 V_L = prostornina [m^3], prostornina lamelnega usedalnika
 τ = čas [h], zadrževalni čas

Za izračun efektivne površinske obremenitve usedalnika z lamelami sem uporabila enačbo (Casey, 1997):

$$O_v = \frac{Q}{A} \cdot \left(\frac{\frac{d_L}{\sin\theta}}{H_i + \frac{d_L}{\tan\theta + \sin\theta}} \right) \quad (17)$$

H_i = višina [m], višina iztoka usedalnika
 θ = nagnjenost lamel [$^\circ$]
 d_L = razdalja [m], pravokotna razdalja med dvema ploščama
 A_L = površina [m^2], površina lamelnega usedalnika



Slika 18: Umestitev pilotne naprave v sistem ČN

Preglednica 6: Tehnični podatki pilotnega usedalnika

Parameter	Oznaka	Enota	Vrednost
Širina	b_p	[m]	0,50
Višina vtoka	H_v	[m]	0,42
Višina iztoka	H_i	[m]	0,34
Dolžina	D	[m]	1,00
pravokotna razdalja med lamelama	d_L	[m]	0,015
Nagnjenost plošče	Θ	[°]	50
Širina lamel	b_L	[m]	0,50

3.3.2 Vzorčenje

Vzorčenje odpadnih vod sem osnovala po ciklih. Cikel vzorčenja predstavlja odvzem treh vzorcev. Vzorce vhodnih odpadnih vod (vtok Slika 17 – 4) sem odvzela kot pretočno sorazmerne sestavljene vzorce s časovnim korakom 20 min, medtem ko vzorci iztoka 1 in 2 (Slika 17 – 1) predstavljajo trenutni vzorec.

Preglednica 7: Razpored vzorčenja v odvisnosti od zadrževalnega časa

τ [h]	Vzorec	Čas vzorčenja po pričetku poskusa [min]	Število vzorcev	V posameznega vzorca [L]
1	Vtok	20, 40, 60, 80, 100, 120	6	Ca. 0,330
	Iztok 1	120	1	2000
	Iztok 2	180	1	2000
2	Vtok	20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180	9	Ca. 220
	Iztok 1	180	1	2000
	Iztok 2	240	1	2000
3	Vtok	20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240	12	Ca. 170
	Iztok 1	240	1	2000
	Iztok 2	300	1	2000

3.3.3 Zaključek poskusa

Po vsakem ciklu sem usedalnik izpraznila in ga očistila s primernimi čistilnimi sredstvi ter visokotlačnim pralnim strojem. Da bi preprečila kontaminacijo odpadnih vod pri naslednjem vzorčenju, sem očistila tudi lamele in cevi po katerih je odpadna voda vstopala in izstopala iz usedalnika.

3.4 Izvedba laboratorijskih analiz

3.4.1 Kemijska potreba po kisiku

Reagenti:

- Demineralizirana voda
- Standardne KPK steklene kivete s predpripravljenimi reagenti za določanje KPK do 3500 mg/L

Pripomočki:

- Termoreaktor
- Fotometer WTW PhotoLab S12
- Pipete (2 mL, 5 mL, 10 mL)
- Bučke (100 mL)

Princip: Parameter kemijska potreba po kisiku definira količino kisika, ki je potrebna za kemijsko oksidacijo biološko razgradljivih in nerazgradljivih organskih snovi v vzorcu. Princip metode sloni na oksidaciji vzorca z žvepleno kislino in kalijevim dikromatom v prisotnosti srebrovega sulfata in živosrebrnega (II) sulfata pri temperaturi 145°C, pri čemer se meri absorbanco nastalega Cr (II) pri valovni dolžini 600 nm ± 20 nm.

Odvzem in hranjenje vzorcev: Vzorce sem odvzela v čiste polipropenske plastenke ter jih do analize hranila v temi v hladilniku na temperaturi med 2 °C in 6 °C, pri čemer je bil čas hranjenja največ 3 h.

Priprava laboratorijskega vzorca: Za analizo sem zaradi visokih vrednosti KPK pripravila razredčene vzorce (faktor 20 do 40).

Postopek: KPK sem določala s fotometrom proizvajalca WTW, s katerim sem s komercialno dostopnimi v naprej pripravljenimi reagenti sledila standardni metodi (SIST ISO 15705) ter priloženim navodilom proizvajalca. V kivete s predpripravljenimi reagenti sem prenesla 2 ml razredčenega vzorca, jih zaprla ter previdno premešala in vstavila v na 145°C segret termoreaktor. Po 120 min sem kivete odstranila iz termoreaktorja in jih pred analizo ohladila (60 min na sobni temperaturi). Sledilo je očno preverjanje turbidnosti vzorca in merjenje absorbance pri ustrezni valovni dolžini.

Izračun rezultatov: Fotometer je bil kalibriran za KPK, zaradi česar sem vrednost KPK prebrala neposredno iz ekrana. Izmerjeno vrednost sem nato pomnožila s faktorjem redčenja.

$$KPK_v = k * KPK_i \quad (18)$$

KPK_v = koncentracija [mg/L], kemijska potreba po kisiku vzorca

k = faktor redčenja

KPK_i = koncentracija [mg/L], kemijska potreba po kisiku, izmerjena vrednost

3.4.1.1 Določevanje usedljivih delcev z Imhoff-ovim lijem

- Pripomočki:**
- Imhoff-ov lij
 - Stojalo za Imhoff-ov lij

Princip: Volumetrično odčitavanje volumna delcev, ki se po določenem času usedejo na dno izključno zaradi vpliva gravitacije.

Odvzem in hranjenje vzorcev: Vzorce sem odvzela v čiste polipropenske plastenke ter jih takoj po vzorčenju prenesla v Imhoff-ov lij.

Postopek: Dobro premešan vzorec sem prelila v Imhoff-ov lij do oznake 1 L. Po 45 minutah sem lij previdno zavrtela okoli svoje osi, da se na dno spustijo tudi tisti delci, ki so se prilepili na stene lija. Nato sem počakala še 15 min in odčitala volumen usedljivih delcev.

Izračun rezultatov: Odčitavanje iz skale na Imhoff-ovem liju (mL/L).

3.4.2 Določevanje suspendiranih snovi

- Reagenti:**
- Demineralizirana voda

- Pripomočki:**
- vakuumska črpalka
 - 75 mL čaše
 - pinceta
 - Analitska tehtnica Mettler Toledo
 - filtri s steklenimi vlakni Whatman 934-AH (propustnost delcev manjših od 1,5 µm)
 - petrijevke za prenos vzorcev
 - peč
 - desikator

Princip: Princip metode sloni na filtriranju določene prostornine vzorca skozi filtre iz steklenih vlaken (v nadaljevanju filtre) z uporabo vakuumske črpalke (SIST EN 827). Filtre se nato posuši na 105 °C ± 2 °C, čemur sledi določevanje mase ostanka, suspendiranih snovi (v nadaljevanju SS), na filtru (SIST EN 827).

Odvzem in hranjenje vzorcev: Vzorce sem hranila v prosojnih plastenkah, ki jih nisem napolnila do vrha, da sem z mešanjem vzorca zagotovila odzem reprezentativnega laboratorijskega vzorca (SIST EN 827). Vzorce sem hranila največ 4 dni v temi v hladilniku na temperaturi med 2 °C in 6 °C (čas hranjenja posameznega vzorca je natančneje opredeljen v Prilogi G).

Priprava laboratorijskega vzorca: Vzorce sem pred analizo klimatizirala na sobno temperaturo.

Postopek: Za določevanje suspendiranih snovi sem uporabila modificirano standardno metodo SIST EN 827:2005. 75 mL čaše sem sprala z demineralizirano vodo in jih 60 min sušila v peči na 105°C. Vzorec v plastenki sem dobro premešala in hitro v predhodno stehtane in označene čaše prenesla delež vzorca, da sem določila njegovo maso. Zaradi močne onesnaženosti vzorčenih odpadnih vod sem prostornino vzorca

določala le gravimetrično ne glede na prostornino. Filtre sem prenesla v označene petrijevke in jih pustila mirovati 15 min ob tehtnici (doseganje vlažnost v prostoru) in jih nato stehtala. Sledilo je filtriranje vzorcev ter spiranje čaš ter steklenega lija z vsaj dvakrat po 20 mL demineralizirane vode. Pri filtriranju bolj onesnaženih vzorcev sem količino vode za spiranje povečala, da sem minimirala izgube vzorca. Po končanem postopku filtriranja sem filtre prenesla v petrijevke. Priprte petrijevke sem sušila v predhodno segreti peči na 105 °C in jih po 130 min prenesla v desikator, da so se ohladili. Filtre sem nato stehtala.

Izračun rezultatov: Vsebnost suspendiranih snovi se določi z naslednjo enačbo (SIST EN 827):

$$SS = \frac{1000 \cdot (m_2 - m_1)}{V_v} \quad (19)$$

SS = koncentracija [mg/L], koncentracija suspendiranih snovi

m_2 = masa [mg], masa filtra po filtraciji

m_1 = masa [mg], masa filtra pred filtracijo

V_v = volumen [mL], volumen vzorca, pri gravimetričnem določanju volumna se upošteva 1 g = 1 mL

3.4.3 Določevanje števila in velikosti delcev

Pripomočki:

- kot pri določevanju suspendiranih delcev (priprava filtra)
- mikroskop Jomesa

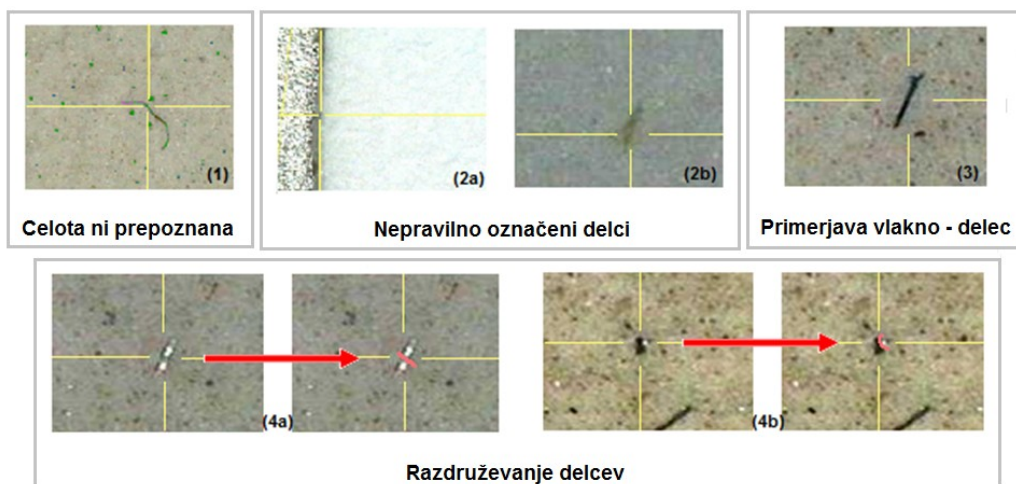
Princip: Filtre se analizira z mikroskopom Jomesa s programom za avtomatsko analizo delcev. Analiza kovinskih delcev se izvaja z dvojnimi posnetki zelene površine. Prvi posnetek posname vso svetlobo, ki se odbija od površine filtra (vse delce na filtru). Pri drugem posnetku je prisoten polarizacijski filter, posneti so le tisti materiali (kovine), ki sami odbijajo svetlobo. Sledi prekrivanje slik ter definiranje kovinskih ter nekovinskih delcev. Program samodejno prepozna tudi razliko med nekovinskimi delci in vlakni, ki so delci veliki vsaj 100 µm, medtem ko je razmerje med njegovo dolžino in širino vsaj 1:10 (ISO 4406). Program delce razporedi v velikostne razrede glede na premer in vrsto. Velikostni razredi so definirani pred izvedbo analize v odvisnosti od zahtev.

Odvzem in hranjenje vzorcev: Filtre, ki sem jih pripravila za določevanje SS, sem do analize z mikroskopom hranila v petrijevkah v desikatorju (čas hranjenja vzorcev je natančneje opredeljen v Prilogi G).

Priprava laboratorijskega vzorca: Glej poglavje 3.4.2.

Postopek: Po postavitvi filtra sem nastavila parametre slike (svetlost 55 %, povečava 1,7, maksimalen fokus) ter parametre vrednotenja. Posnemanje filtra je potekalo avtomatsko. Kljub avtomatskem prepoznavanju delcev se pogosto pojavljajo napake, zaradi česar sem vse delce do najmanjše definirane velikosti pregledala in morebitne napake ročno popravila. Delovno okno programa za analizo delcev je predstavljeno v Prilogi H. Slika 19 prikazuje možne napake, ki nastanejo pri avtomatskem prepoznavanju delcev: (1) Vlakna/delci niso pravilno združeni, ker jih program ni prepoznal kot celoto, (2) Nepravilno označeni delci – a) rob filtra, ki je bil označen kot delec, b) zatemnjen del filtra, ki je bil označen kot delec, (3) Razlikovanje med vlakni ter nekovinskimi delci, (4) Razdruževanje delcev – a) dva kovinska delca sta bila

napačno označena kot celota, rdeča črta prikazuje mesto ročne delitve, b) kovinski ter nekovinski delec se dotikata in sta bila skupaj označena kot en delec, rdeča črta prikazuje mesto ročne delitve. Po pregledu sem popravke potrdila. Podatki se izpišejo v obliki poročila.



Slika 19: Možne napake pri avtomatski razvrstitvi delcev

Izračun rezultatov: V poročilu se je izpisalo končno število delcev. Koncentracijo delcev sem izračunala po naslednji enačbi:

$$x_i = \frac{1000 \cdot n_i}{V_v} \quad (20)$$

x_i = koncentracija [št. delcev/L], koncentracija trdih delcev v izbranem velikostnem območju

n_i = število [/], število delcev v izbranem velikostnem območju

V_v = volumen [mL], volumen vzorca

3.5 Standardne raztopine

Za slepi vzorec sem uporabila 1,5 % raztopino maziva D-L 7050 (redna kemikalija). Standardne raztopine sem pripravila iz 1,5 % raztopine maziva D-L 7050 ter dodatka ene izmed izrednih kemikalij v različnih koncentracijah (Preglednica 8).

Preglednica 8: Koncentracije ter oznake pripravljenih standardnih raztopin

Izredna kemikalija	Oznaka	Koncentracija
Transtherm 525	T 525 1	0,3%
	T 525 2	0,5%
	T 525 3	1,0%
Waylubric	W 220 1	0,1%
	W 220 2	0,3%
	W 220 3	0,5%
Ultra Safe 620	US 620 1	1,0%
	US 620 2	2,0%
	US 620 3	3,0%

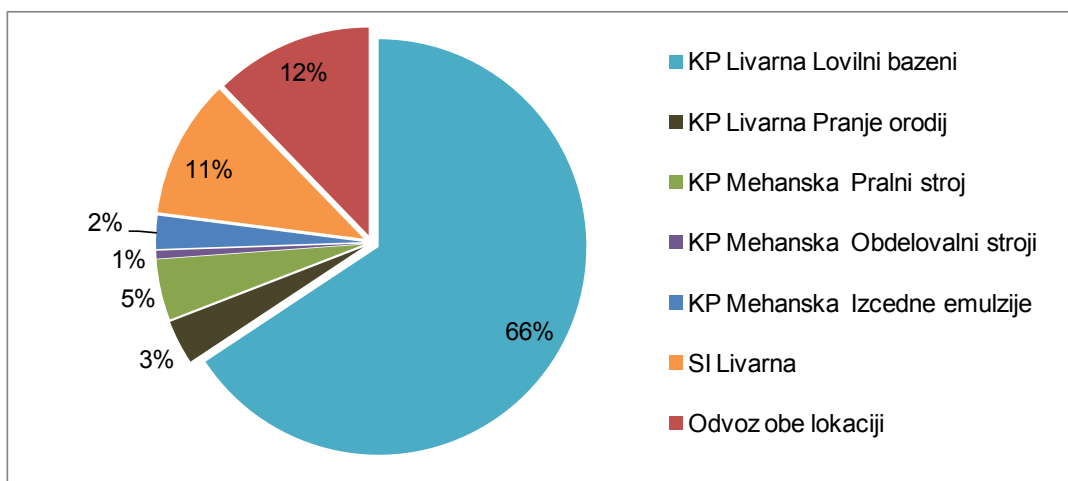
4 REZULTATI IN RAZPRAVA

Rezultate in razpravo bom podala po enakem vrstnem redu, kot je potekal eksperimentalni del diplome.

4.1 Definiranje trenutnega stanja odpadnih vod

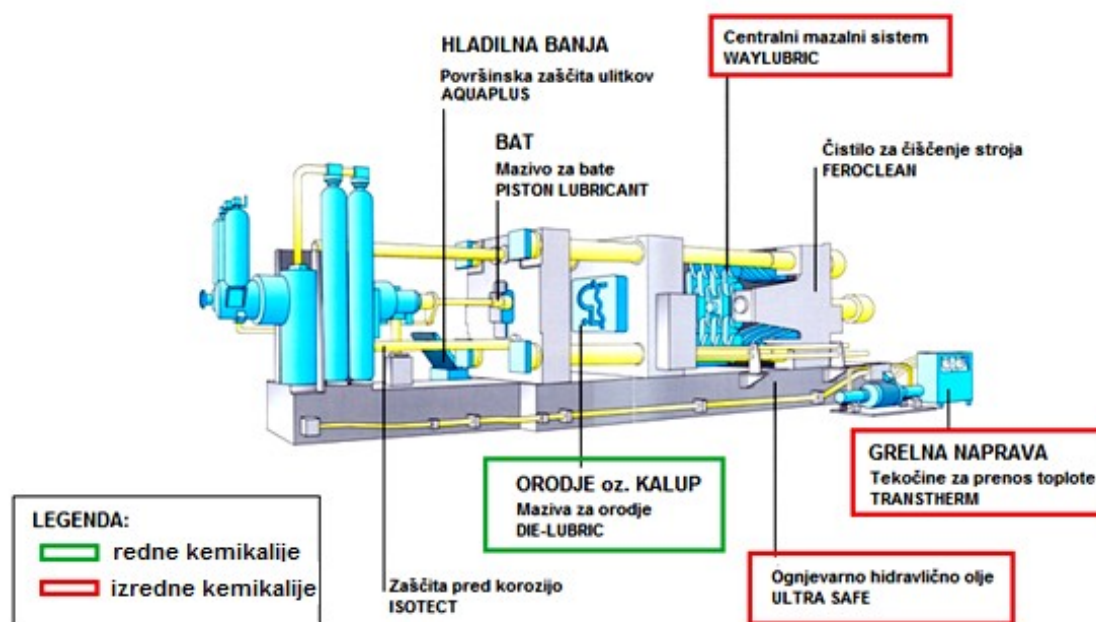
Od leta 2009 do leta 2012 se je količina odpadnih vod povečala za več kot 140 %. Glede na trenutne trende generiranja odpadnih vod bi bilo treba prečistiti slabih 5000 m³, dnevno ca. 15 m³.

Na čistilni napravi se je v obdobju treh let prečistilo 83 % vseh odpadnih vod, največ leta 2009 (92,5 %) in najmanj leta 2011 (68,9 %). Delež odpadnih vod, ki ga na ČN ne moremo prečistiti, se odstrani s strani pooblaščenega odvoznika odpadkov. Graf (Slika 20) prikazuje predvideno sestavo odpadnih vod v letu 2013. Od 12 % odpadnih vod za odvoz jih le slabih 5 % nastane zaradi obratovanja čistilne naprave.



Slika 20: Viri odpadnih vod in njihov količinski delež

Na osnovi podatkov o količinah nastalih odpadnih vod po oddelkih, sem se v nadaljevanju osredotočila na analizo odpadnih vod iz livarne Koper, saj le-te predstavljajo slabih 75 % vseh odpadnih vod, ki se trenutno čistijo na ČN. Na sliki (Slika 21) je shematsko prikazana livarska celica s poudarkom na sredstvih, ki vstopajo v proces litja. V idealnem primeru bi odpadne vode iz livarne vsebovale le delež razredčenega maziva za orodje, ki ni izparelo na orodju, ter kovinske delce. Toda v bazene zaradi puščanj in manj ustreznega ravnanja z odpadnimi olji (npr. praznjenje oljnih lovilnikov izpod grelnih naprav v lovilne bazene, Slika 15) vstopajo tudi druga zaščitna in mazalna sredstva.



Slika 21: Shema livarske celice ter kemikalije, ki vstopajo v proces (prirejeno po Petrofer Chemie, 2012: 2)

4.2 Študija delovanja čistilne naprave

4.2.1 Analiza mašenja membran

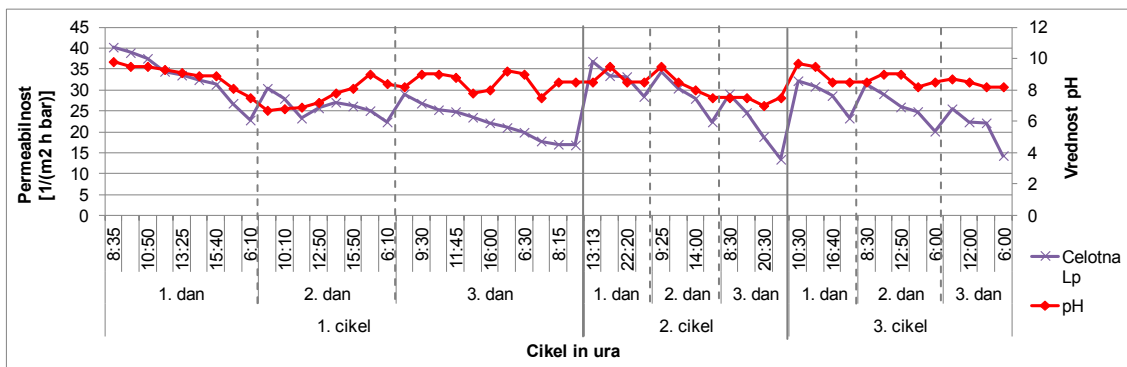
Analiza mašenja membran je problematična, saj je prisotnih veliko spremenljivk, ki bi lahko vplivale na mašenje membran. Zato bom ugotovitve podala posamično po spremenljivkah.

4.2.1.1 Vpliv delovnih pogojev in sestave odpadnih vod

V sklopu analize mašenja membran sem se osredotočila na naslednje parametre: temperatura odpadnih vod, cikel ČN in sestava odpadnih vod. Za analizo zmanjšanja permeabilnosti membran sem uporabljala izraz mašenje, saj permeabilnosti membran zaradi nepopolnih podatkov (na ČN ni praksa vpisovanje podatkov o tlaku na vtoku, iztoku in permeatu v obratovalni dnevnik) nisem mogla izračunati.

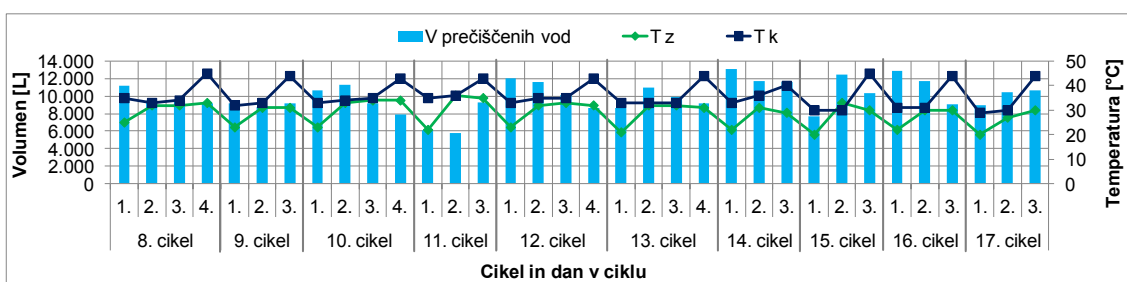
pH vrednost. pH vrednost odpadnih vod se uravnava z doziranjem tehnične raztopine NaOH. Toda ravno pri analizi vpliva izstopnega tlaka na fluks membran smo imeli težave z dozirno črpalko, kar je omogočilo spremljanje vpliva pH vrednosti na L_p membran. Prvi dan 1. cikla je bila pH vrednost iz 9,8 po izklopu dozirne črpalke spustila na pH 6. Ta dan smo zabeležili največji padec L_p v prvem dnevu cikla, vendar je bila končna permeabilnost primerljiva s končno permeabilnostjo v prvem dnevu 3. cikla. V drugem dnevu istega cikla je bila vrednost pH še vedno nizka, kar se je odražalo tudi na pretoku in L_p , ki sta bila izrazito nizka v primerjavi z drugima dvema cikloma. V tem ciklu morda ravno zaradi vpliva pH ne moremo govoriti o značilnem trinivojskem padcu, ki je prisoten v drugih dveh. Toda nihanje pH je bilo prisotno tudi v drugem in tretjem ciklu, kar ni dodatno vplivalo na zmanjšanje L_p . Tudi končne vrednosti fluksa so

primerljive ne glede na pH vrednost. S podatki na voljo težko opredelim ali nižje pH vrednosti, t.j. med 7 in 8, bistveno vplivajo na fluks. Za nadaljnje analize bi bilo s stališča porabe NaOH smiselno preveriti vpliv pH vrednosti s spreminjanjem fluksa v daljšem časovnem obdobju pri konstantnem pH.



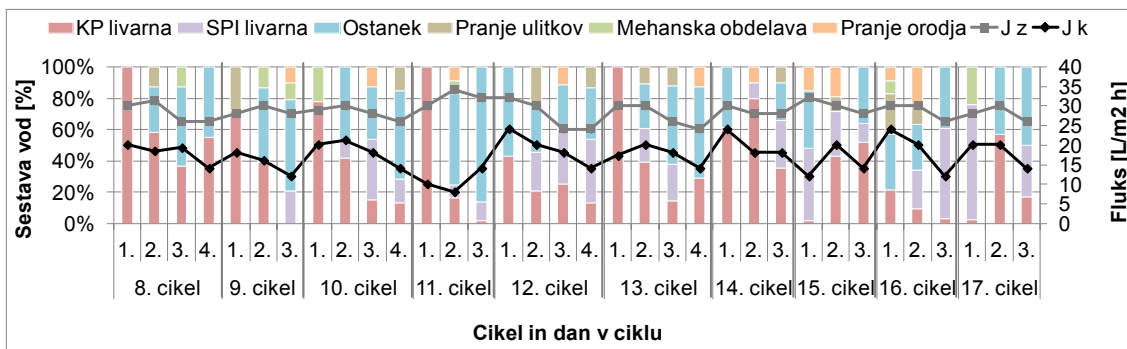
Slika 22: Permeabilnost med delovanjem vseh modulov pri izstopnem tlaku 0 bar in pH odpadnih vod

Temperatura (T). Temperatura se zaradi procesa ločevanja povečuje. Toda želela sem preveriti ali nizke začetne vrednosti T vplivajo na volumen permeata v prvem dnevu cikla. Slika 23 ponazarja, da temperatura odpadnih vod na začetku ločevanja (T_z) primarno ne vpliva na učinkovitost ločevanja. V vseh ciklih sta T_z in temperatura odpadnih vod na koncu ločevanja (T_k) primerljivi, medtem ko količina prečiščenih odpadnih vod precej variira. Možni razlogi so opisani v nadaljevanju.

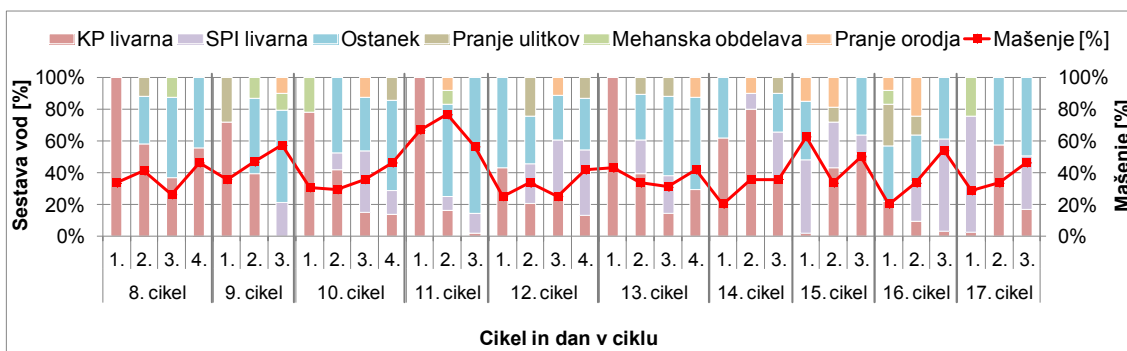


Slika 23: Vpliv začetne (T_z) in končne (T_k) temperature odpadnih vod na količino prečiščenih odpadnih vod

Recirkulacija in sestava odpadnih vod. Na grafu spodaj (Slika 24) je razvidno padanje fluksa na koncu ločevanja (J_k) tekom cikla. Padanje J_k je posledica koncentracijske polarizacijske v ciklu zaradi koncentriranja odpadnih vod v delovni posodi. Relativno razliko med J_k in fluksom na začetku ločevanja (J_z), ki sem jo označila kot odstotek mašenja, prikazuje naslednji graf (Slika 25). V kolikor je upad fluksa prvi dan cikla izrazito visok, to nakazuje na večjo obremenjenost odpadnih vod.



Slika 24: Vpliv sestave odpadnih vod na fluks (J) odpadnih vod

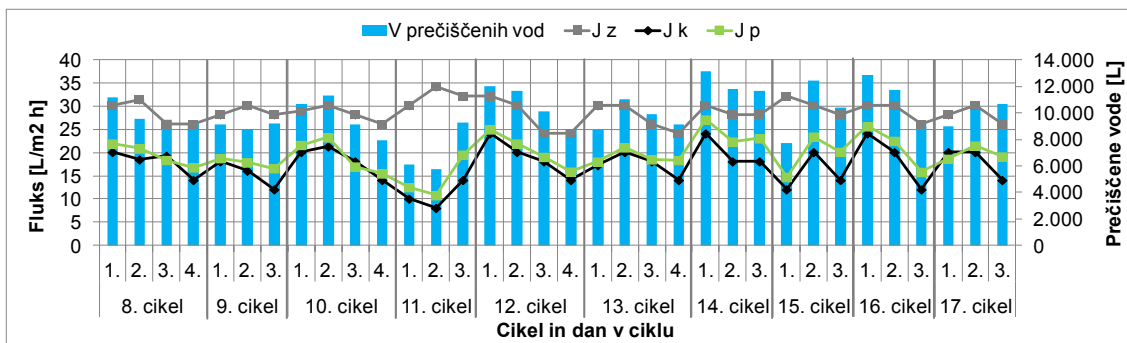


Slika 25: Vpliv sestave odpadnih vod na odstotek mašenja

11. cikel odstopa na obeh omenjenih grafih. Velika razlika J_z in J_k nakazuje na povečano obremenjenosti odpadnih vod. V tem času smo v odpadnih vodah opazili povečano vsebnost US 620 (odpadne vode so obarvane rdeče). Fluks se je naslednji dan po kratkem pranju povrnil (Slika 27), vendar se je tekom dneva ponovno izredno zmanjšal, zaradi česar predvidevam, da je bilo mašilo v odpadnih vodah še vedno prisotno. Tretji dan je bila vrednost J_k večja. Ostanek⁶ v drugem in tretjem dnevu dokazuje, da je vir mašila livarna Koper. Trditev, da US 620 predstavlja glavno mašilo v tem ciklu, potrjujejo tudi dejstva, da se v času mirovanja ostanka mašilo ni odstranilo iz odpadnih vod. Mašila ne morejo predstavljati prosta olja in maščobe, saj bi se v tem času separirali v dopolnjevalni posodi, kjer so montirani dodatni posnemalci olja. Izključim lahko tudi prisotnost trdih delcev, ki bi se med mirovanjem posedli na dno in v naslednjem dnevu ne bi vstopili v membrane. Mašilo je mešljivo z vodo, kar je ena izmed glavnih značilnosti US 620, zaradi katere zaobide vse procese predčiščenja. US 620 je vodna raztopina glikola in aditivov. Glikol je v literaturi znan povzročitelj mašenja membran, saj se zaradi svoje velikosti in naboja adsorbira na površino membrane in v pore.

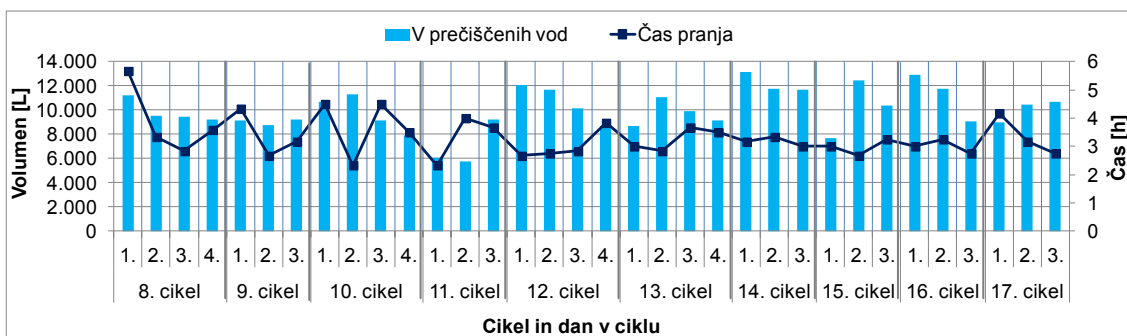
Čiščenje membran. Z analizo grafa (Slika 26), bi lahko zaključili, da količina prečiščenih odpadnih vod ni prvenstveno odvisna od J_z . Seveda bi bila taka poenostavitev napačna, saj je J_z odvisen od predhodnega čiščenja membran (torej obremenjenosti odpadnih vod prejšnjega dne) in obremenjenosti prvih odpadnih vod, ki v membrane vstopajo. Zaključek pranja modulov se odlaga, dokler se ne dosežejo zahteve po pretoku 1000 l/h pri 0,8 bar. V kolikor je v tem času dosežena zgornja mejna vrednost temperature (44 °C) in je za doseganje pretoka 1000 l/h potreben višji tlak, se postopek pranja ponovi (običajno po zgoščevanju). Trajanje pranja je odvisno tudi od T, zato se pozimi navadno podaljša.

⁶ Ostanek predstavljajo odpadne vode, ki so do naslednjega dne ostale v dopolnjevalni posodi (se niso uspele prečistiti).



Slika 26: Povezava začetnega (J_z), končnega (J_k) in povprečnega fluksa (J_p) s količino prečiščenih odpadnih vod [L]

Predvidevali smo, da je pranje po zgoščevanju daljše. Teoretično pri enakomerni obremenjenosti odpadnih vod sledi postopno daljšanje cikla pranja do zadnjega dneva, ko so zaradi zgoščevanja moduli bolj onesnaženi. Toda te trditve graf (Slika 27) ne podpira, kar potrjuje neenakomerno obremenjenost odpadnih vod. Le 12. cikel prikazuje idealno povezavo trajanja pranja in cikla ČN.



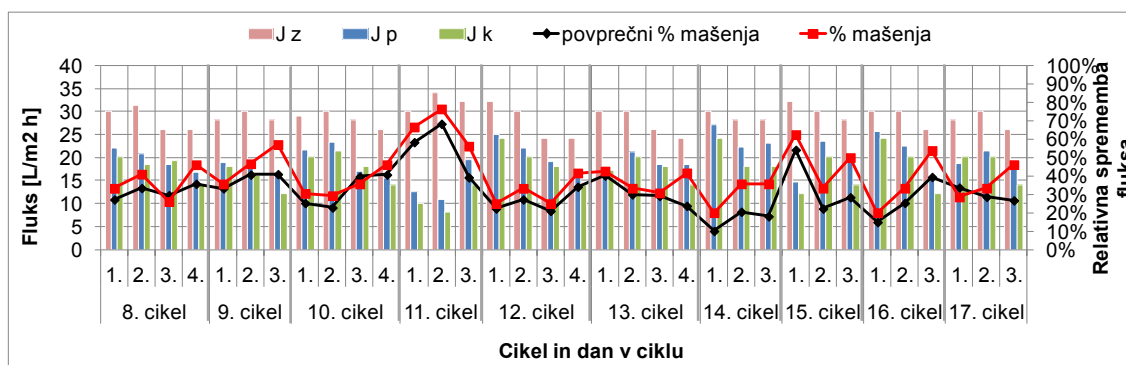
Slika 27: Čas pranja in količina prečiščenih odpadnih vod

V 10. ciklu in 11. ciklu je prisotno izredno podaljšanje pranja sredi cikla, kar razlagam kot vpliv povečane obremenjenosti odpadnih vod. Odstopanje 11. cikla je bilo že prej obrazloženo. Visoke vrednosti J_z v drugem in tretjem dnevu (Slika 24) dokazujejo večinsko odstranitev mašila, vendar se je fluks zaradi njegove vsebnosti v odpadnih vodah hitro zmanjšal. Toda Slika 28 (desno) prikazuje trajno obarvanost membran zaradi US 620. Z dnevnim kemičnim pranjem z bazičnimi kemijskimi sredstvi je ne moremo odstraniti, zato predvidevam, da US 620 deloma tudi trajno zamaši membrane.



Slika 28: Z US 620 obremenjene odpadne vode (levo) in trajna obarvanost membran (desno)

Hitrost zmanjšanja fluksa. Najboljši način za natančno spremljanje hitrosti zmanjšanja fluksa je večkrat dnevno spremljanje spremembe pretoka in tlaka v enakih časovnih korakih, kar je v primeru nedigitalnega spremljanja izredno zamudno. Zato sem za analizo hitrosti zmanjšanja fluksa vpeljala dodaten faktor, povprečni % mašenja, ki predstavlja relativno razliko med začetnim (J_z) in povprečnim (J_p) fluksom. Primerjava povprečnega % mašenja in % mašenja nudi dodatno pomoč pri razumevanju zmanjšanja fluksa. Ni pomemben samo odstotek relativne spremembe temveč tudi razlika med njima. Večja kot je razlika, počasneje se je fluks zmanjševal in obratno.



Slika 29: Povprečni % mašenja in % mašenja modulov

Tudi v tem primeru se prav tako pokaže izrazito odstopanje 11. cikla, ki prikazuje hitro in drastično zmanjšanje permeabilnosti membran.

Velika razlika med povprečnim % mašenja in % mašenja v 14. ciklu sovpada z izrazito učinkovitostjo ločevanja (volumen prečiščenih vod je visok), vendar so razlogi za to ponovno nedoločljivi. Predvidevam, da so bile odpadne vode iz livarne relativno neobremenjene (možna so tudi puščanja vode, zaradi katerih se odpadne vode razredčijo) in se je fluks zmanjševal predvsem zaradi koncentracijske polarizacije.

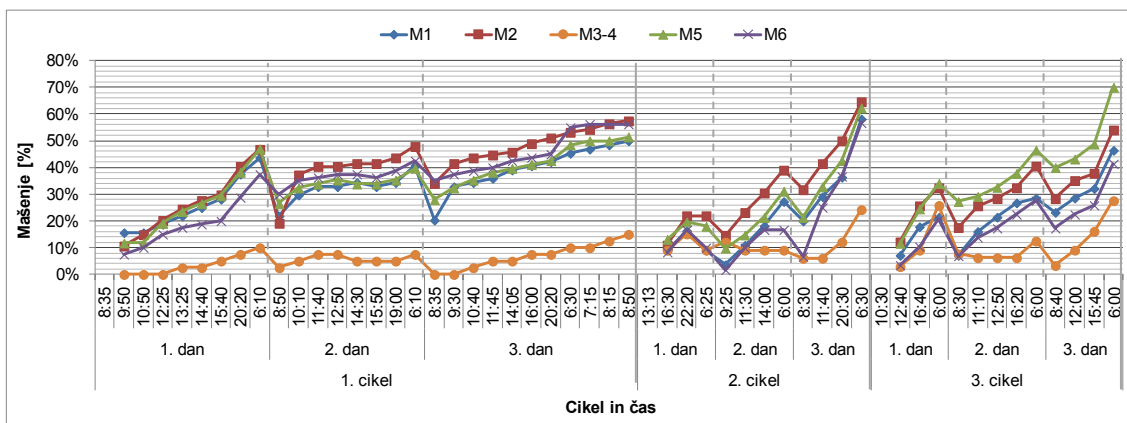
Pri večini ciklov se v zadnjem dnevu opazi povečanje razlike med povprečnim % mašenja in % mašenja. Z aktiviranjem zgoščevanja se izklopi dopolnjevanje delovne posode. Takrat se začnejo odpadne vode koncentrirati, zaradi česar se začne fluks postopoma zmanjševati, kar se izraža tudi na zgornjem grafu (Slika 29).

4.2.1.2 Vpliv izstopnega tlaka

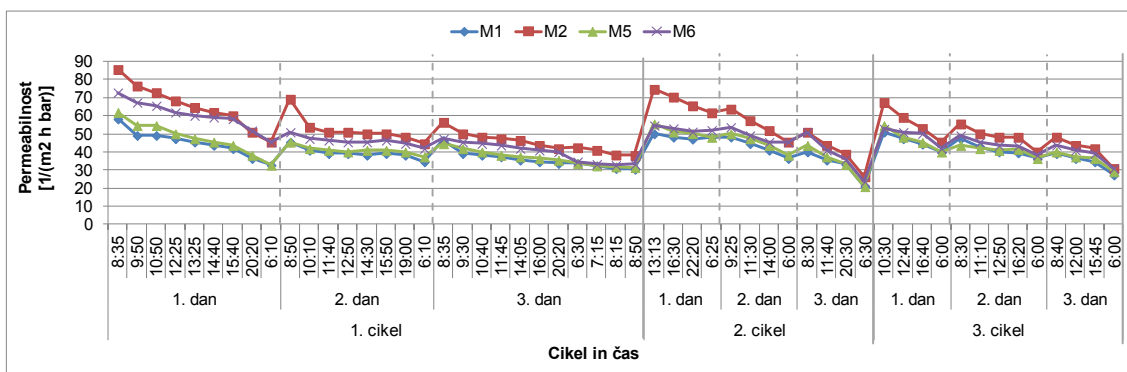
Analizo mašenja sem nadaljevala z dnevno spremljanjem parametrov, s katerimi sem lahko določala permeabilnost membran. Na čistilni napravi je vzpostavljen sistem s konstantnim tlakom, ki ga uravnava črpalka za cirkulacijo vhodne odpadne vode. Nihanje P_m tekom dneva je minimalno in v vseh primerih na račun zamašene mrežice, zaradi katere se zmanjša tlak vhodnih odpadnih vod.

V sklopu diplomskega dela smo izpeljali analize pri dveh različnih vrednostih P_m . Za študijo sem uporabila običajni vstopni tlak 1,8 bar ter izstopni tlak 0,0 bar in 0,2 bar. Smiselno bi bilo narediti še več meritev z nižjim vstopnimi tlakom in spremljati vpliv P_m na fluks, saj so nekatere študije pričale o boljši učinkovitosti obratovanja pri nižjem vstopnem tlaku.

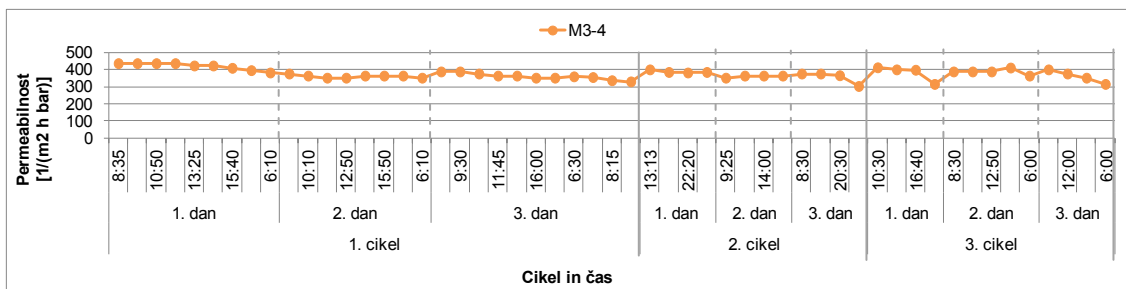
Primerjava keramičnih in polimernih modulov. Grafi spodaj (Slika 30, Slika 32, Slika 31) prikazuje razlike med keramičnimi in polimernimi moduli. Polimerni moduli imajo več kot 26-krat večjo površino od keramičnih, toda pri enakih delovnih pogojih pretok permeata polimernih modulov po pranju modulov ni 26-krat večji temveč le 3 do 4-krat. L_p keramičnih modulov se dnevno minimalno zmanjšuje in po zgoščevanju ne doseže 30 %, kar pomeni, da na keramične module koncentracijska polarizacija ali mašenje vplivata manj kot na polimerne. Toda manjši vpliv koncentracijske polarizacije lahko pripisujem tudi dejstvu, da so velikosti por pri polimernih moduli manjše. Nadalje, polimerne membrane zaradi večje površine prečistijo več odpadnih vod, zaradi česar je možnosti za mašenje več. S stališča pretoka in količine prečiščenih odpadnih vod so polimerne membrane kljub povečanemu mašenju boljše. Toda prednosti keramičnih membran, t.j. visoki delovni tlaki in temperature, zaradi omejitev procesa, ki je prilagojen šibkejšemu členu (polimernim membranam), ne moremo v celoti izkoristiti. Pri višjih delovnih tlakih bi lahko tudi s keramičnimi membranami dosegali višje pretoke, toda obratovanje pri višjih temperaturah bi zahtevalo dodatno modifikacijo procesa s katerimi bi bile mejne vrednosti emisije toplote dosežene.



Slika 30: Odstotek mašenje pri izstopnem tlaku 0 bar (izjema M_{3-4} prvi dan v prvem ciklu)



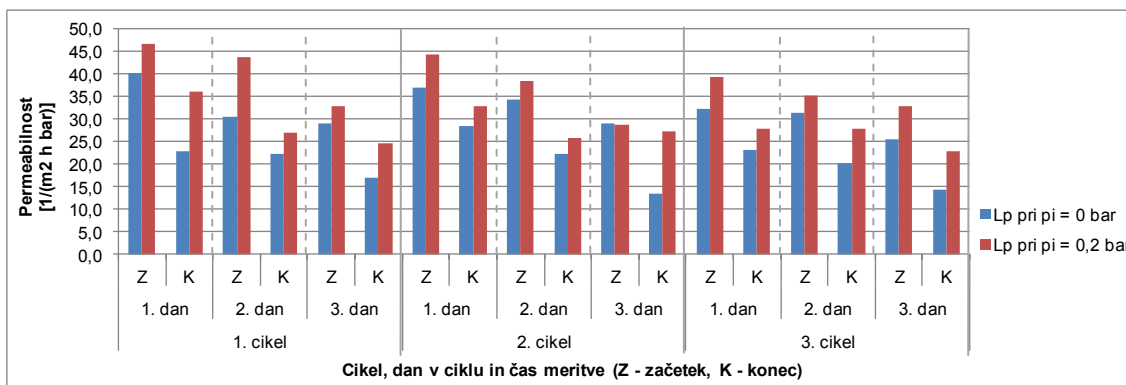
Slika 31: L_p polimernih polimernih modulov



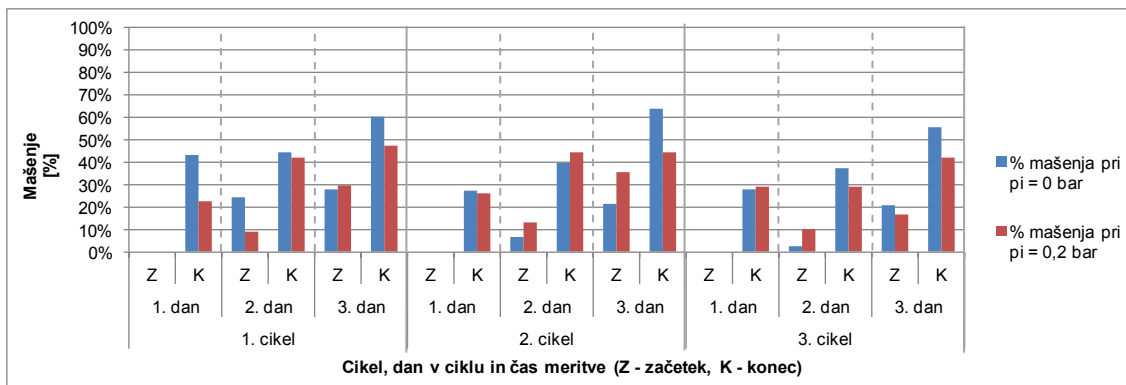
Slika 32: L_p keramičnih modulov

Primerjava permeabilnosti. V naslednji fazi diplomskega dela sem primerjala spremembo permeabilnosti modulov in % mašenja zaradi zmanjšanja gradienta tlaka skozi membrano (P_m). Z zmanjšanjem P_m se povečajo strižne sile v modulu, zaradi česar se zmanjšuje vpliv koncentracijske polarizacije. Posledično se preprečuje ali vsaj preloži nastajanja plasti gela, kar bi se teoretično moralo zrcaliti na boljši učinkovitosti ločevanja.

Na slikah (Slika 33 in Slika 34) je razlika med L_p in % mašenja pri različnih izstopnih tlakih jasna, pri čemer je treba upoštevati, da so bile odpadne vode v drugem ciklu pri tlaku 0,2 bar izrazito obremenjene z že omenjenim US 620. L_p membran pri izstopnem tlaku 0,2 bar je bila tako na začetku kot na koncu dneva višja, s čimer smo potrdili zgornjo trditvev. Volumen prečiščenih odpadnih vod je bil v treh ciklih pri obratovanju z izstopnim tlakom 0,2 bar višji za ca. 3,5 %.



Slika 33: Primerjava L_p membran pri izstopnem tlaku 0, bar in 0,2 bar v ciklu na začetku in koncu dneva



Slika 34: % mašenja membran pri izstopnem tlaku 0, bar in 0,2 bar v ciklu na začetku in koncu dneva

4.2.1.3 Komentar rezultatov analize mašenja

Analiza mašenja je pokazala, da je fluks najbolj odvisen od cikla (recirkulacije) in sestave odpadnih vod. Najlažje se sledi vplivu odpadnih vod iz livarne Koper, saj je delež le-teh običajno največji. Potrdili smo, da najpomembnejše mašilo predstavlja US 620. V času obdelave z US 620 obremenjenih odpadnih vod se je mašenje povečalo tudi do 80 %. Odpadne vode iz drugih virov niso bistveno vplivale na spremembo fluksa. Le pri obdelavi večjih količin odpadnih vod iz mehanske obdelave, ki vsebujejo 5 do 15 % emulzije je opazno daljše pranje, kar priča o hujši ireverzibilni zamašitvi membran zaradi obdelovalnih emulzij.

Z minimalnim zmanjšanjem P_m (povečanje vrednosti p_i iz 0,0 bar na 0,2 bar) smo dokazali višje vrednosti L_p in posledično večjo učinkovitost delovanja ČN. Z dodatnim pripiranjem iztoka ali zmanjšanjem tlaka vtoka, obstaja možnost dodatnega povečanja L_p , pri čemer je potrebno upoštevati mejne vrednosti delovnih parametrov predpisanih s strani proizvajalca modulov (Preglednica 1).

Časovni koraki meritev v drugem delu analize mašenja membran s spremljanjem spreminjanja permeabilnosti membran tekom dneva niso bili enakomerni in pogosti (v času merjenja je bilo obratovanje ČN okrnjeno), da bi lahko prepoznali nenaden padec L_p , ki bi bil nakazal na zamašitev s trdimi delci. Toda po izkušnjah operaterja ČN se je ob čiščenju odpadnih vod iz rotovibriranja (vsebujejo velike količine majhnih trdih delcev) propustnost membran drastično zmanjšala takoj po začetku ločevanja. Takrat je bila povrnitev L_p zelo težavna in je zahtevala poseben postopek kemijskega čiščenja. Nadalje, analize so pokazale, da najpomembnejši faktor zmanjšanja L_p membran predstavlja koncentracijska polarizacija zaradi recirkulacije odpadnih vod. Sestava odpadnih vod je zelo pestra in kljub natančnem spremljanju odpadnih vod, ki se čistijo na ČN ponovno ne moremo govoriti o izrazitih vplivih enega vira odpadnih vod. Toda ponovno je bil dokazan izrazit vpliv enega mašila, US 620.

4.2.2 Predčiščenje

Sistem predčiščenja na ČN je sestavljen iz več segmentov. Primarna naloga konvencionalnega usedalnika je odstranjevanje prostega olja. Odstranjevanje delcev je drugotnega pomena, saj v nadaljevanju sledi predfiltracija s papirnatim tlačnim filtrom, filtracija z vrečnimi filtri (nameščeni na vtoku iz izravnalne posode B4 v delovno posodo B5) ter mrežica (Slika 35) vgrajena pred moduli. Tračni in vrečni filter sta postavljena za preprečevanje vstopa trdih delcev (predvsem lahkih aluminijevih ostružkov) in drugih nečistoč, ki bi lahko vplivale ali celo onemogočile membranski separacijski proces. Toda po pregledu modulov smo ugotovili, da so aluminijevi ostružki blokirali nekatere cevke in zmanjšali učinkovitost modulov. Nadalje, pri čiščenju mrežice večkrat opazimo s prostim očesom vidne trde delce. Te ugotovitve nakazujejo, da sistem predčiščenja ne deluje optimalno.



Slika 35: Primerjava onesnaženosti mrežice pred membranskih procesom pri manjši (levo) in večji obremenjenosti odpadnih vod (desno)

Pri pregledu morebitnih nepravilnosti v sistemu sem najprej preverila parametre, ki so za projektiranje usedalnikov pomembni, saj se je pretok odpadnih vod od postavitve ČN povečal tudi do 300 %. Pri zadrževalnem času 1 h je vrednost O_v usedalnika na ČN 1,10 m³/ m² h, kar je ustrezno glede na povprečne vrednosti (med 0,5 in 2 m³/ m² h), ki sta jih predlagala Spellman in Whiting (2005).

Zaradi relativno nizkega razmerja dolžine in širine (ker je širina daljša od višine, je razmerje L/B pomembnejše od L/H) je verjetnost za slabo porazdelitev toka velika, kar lahko vpliva na resuspenzijo že usedenih delcev. Za enakomerno razporeditev toka, je vtok odpadnih vod razporejen na tri dele (Slika 36).



Slika 36: Vtok v usedalnik

V kolikor bi želeli prečistiti vse generirane odpadne vode, bi morale kapacitete ČN doseči 15 m³/ dan. Dopolnjevanje čistilne naprave se vrši šaržno (ca. 10 m³ dnevno) in sicer v dopoldanski izmeni. Dopolnjevanje traja povprečno 5 h, s povprečnim pretokom 2000 l/h in zadrževalnim časom 1,1 h. Za doseganje primerljivih pogojev, bi morali polnjenje usedalnika podaljšati na ca. 8 h.

Preglednica 9: Izračuni za obstoječi konvencionalni usedalnik

Parameter	Oznaka	Dimenzija	Vrednost
Razmerje dolžine in višine	L/H	/	1,17
Razmerje dolžine in širine	L/B	/	1,08
Površinska obremenitev pri $\tau = 1$ h	O_v	m ³ /(h m ²)	1,10

4.3 Analiza učinkovitosti lamelnega usedalnika

Primerjava razmerij L/H in L/B vgrajenega konvencionalnega in pilotnega usedalnika brez lamel pokaže neujemanje le-teh s stališča dimenzij. Obe razmerji sta pri pilotnem usedalniku za ca. 100 % večji. O_v pri enakem τ (1 h) je zaradi prej omenjenih razmerij v pilotnem usedalniku manjši za ca. 60 %. Teoretično je pilotni usedalnik bolj učinkovit od obstoječega. Posledično moramo rezultate čiščenja odpadnih vod v pilotnem usedalniku brez lamel upoštevati le kot primerjalo sredstvo za prikaz učinkovitosti vgrajenih lamel in ne kot prikaz dejanskega stanja vgrajenega konvencionalnega usedalnika.

Primerjava vrednosti O_v lamelnega in konvencionalnega usedalnika pri enakem τ pokaže 20-krat večjo kapaciteto lamelnega usedalnika.

Preglednica 10: Izračuni za pilotni konvencionalni usedalnik

Parameter	Oznaka	Enota	Vrednost
Razmerje dolžine in višine	L/H	/	2,38
Razmerje dolžine in širine	L/B	/	2,00
Pretok pri $\tau = 1$ h	Q_{b1}	[L/h]	ca. 200
Pretok pri $\tau = 2$ h	Q_{b2}	[L/h]	ca. 100
Pretok pri $\tau = 3$ h	Q_{b3}	[L/h]	ca. 70
Površinska obremenitev $\tau = 1$ h	O_{vb1}	[m ³ /h m ²]	0,40
Površinska obremenitev $\tau = 2$ h	O_{vb2}	[m ³ /h m ²]	0,20
Površinska obremenitev $\tau = 3$ h	O_{vb3}	[m ³ /h m ²]	0,14

Preglednica 11: Izračuni za pilotni usedalnik z lamelami

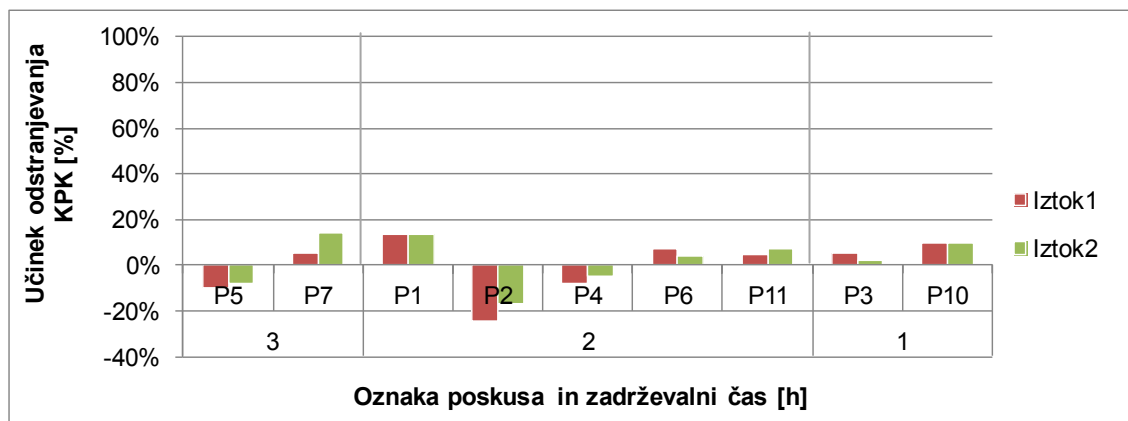
Parameter	Oznaka	Enota	Vrednost
Pretok pri $\tau = 1$ h	Q_{L1}	[m ³ /h]	ca. 0,2
Pretok pri $\tau = 2$ h	Q_{L2}	[m ³ /h]	ca. 0,1
Pretok pri $\tau = 3$ h	Q_{L3}	[m ³ /h]	ca. 0,07
Površinska obremenitev pri $\tau = 1$ h	O_{VL1}	[m ³ /h m ²]	0,02
Površinska obremenitev pri $\tau = 2$ h	O_{VL2}	[m ³ /h m ²]	0,01
Površinska obremenitev pri $\tau = 3$ h	O_{VL3}	[m ³ /h m ²]	0,007

4.3.1 Preliminarne analize

Najprej sem izvedla preliminarne teste, s pomočjo katerih sem želela primerjati učinkovitost usedalnikov pri različnih τ . V usedalniku se odstranjujeta predvsem dve frakciji, trdi in plavajoči delci ter olje. Za učinkovitost odstranjevanja trdih delcev (usedljivih in suspendiranih) sem izbrala metodo določanja SS, mikroskopiranje ter sedimentacijo z Imhoff-ovim lijem. Odstranjevanje prostega olja sem želela dokazati z določanjem KPK in ekstrakcijo. Učinkovitost delovanja usedalnikov sem v sklopu preliminarnih analiz preverjala pri treh zadrževalnih časih, da bi dobila iztočnico za nadaljnje analize.

Kemijska potreba po kisiku (KPK). Rezultati učinkovitosti odstranjevanja KPK so bili zelo presenetljivi. Maksimalna učinkovitost je bila 14 %, v nekaterih primerih celo negativna. Rezultate pripisujem dejstvu, da so vrednosti KPK v odpadnih vodah v livarni zelo visoke zaradi raztopljenih snovi (emulzij). Ker se vrednosti gibljejo med

20.000 in 80.000 mg/L, sem laboratorijske vzorce pripravljala z 20 do 40-kratnim redčenjem, priprava takega reprezentativnega laboratorijskega vzorca pa je podvržena napaki. Nadalje, vloga usedalnikov ni v odstranjevanju raztopljeni snovi, zato ni presenetljivo, da se oba faktorja zrcalita v nizki ali celo negativni učinkovitosti odstranjevanja KPK. Preliminarni testi KPK so pokazali, da bi se bilo bolj previdno osredotočiti na druge analize učinka usedalnika.



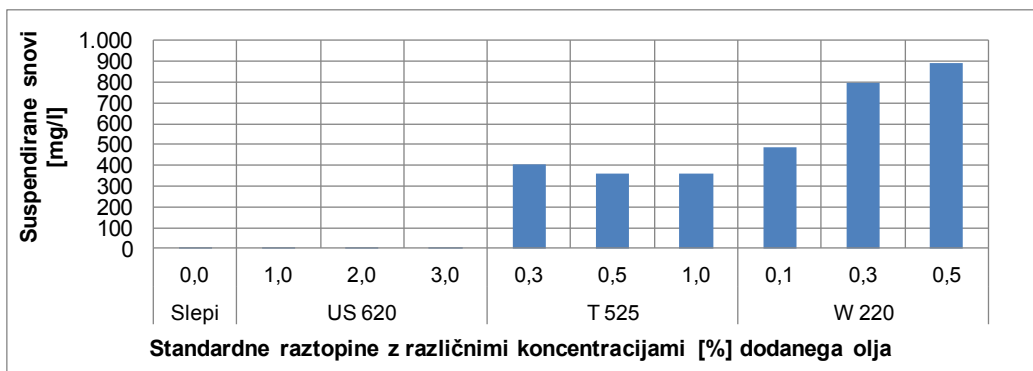
Slika 37: Učinek odstranjevanja KPK [%] na iztoku (1 in 2) pri analizi učinka pilotnega lamelnega usedalnika pri različnih zadrževalnih časih

Ekstrakcija. Po neuspelem poskusu določanja učinka odstranjevanja organskih snovi s pomočjo KPK, sem želela določiti učinkovitost odstranjevanja olja in maščob s pomočjo standardizirane metode ekstrakcije z n-heksanom (EPA 1664). Tudi ta metoda se je za odpadne vode iz livarne izkazala kot problematična. Zaradi izredne stabilnosti emulzij je bila ločitev olja kljub različnim uporabljenim tehnikam (dodajanje NaCl, ultrazvočna ledena kopel, centrifugiranje) onemogočena.

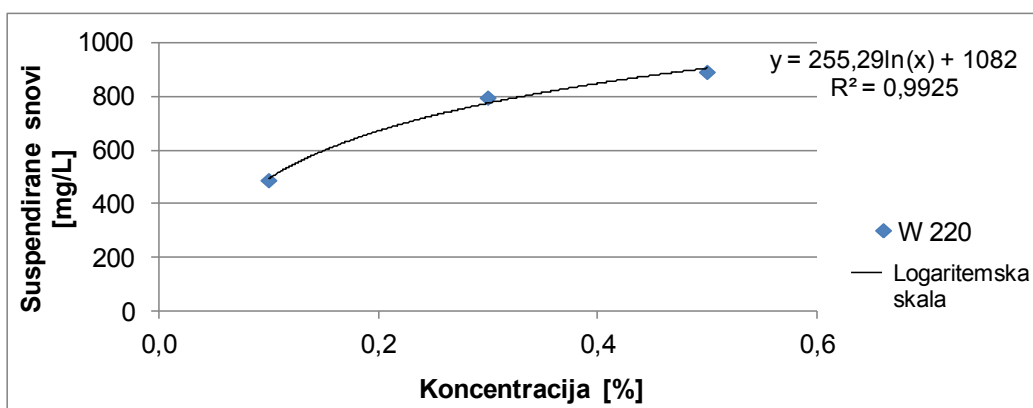
Usedljive snovi (US). Teoretično se usedljivi delci v odpadne vode prenesejo le iz livarne, saj se pri praznjenju kubičnih zabojskih preverja količina usedljivih snovi na dnu zabojsnika in prepreči iztekanje le-teh. Koncentracija usedljivih delcev je bila v vseh preliminarnih analizah manjša od meje detekcije (< 0,1 mL/L). Razlog za tako nizko vrednost usedljivih snovi v vzorcu vhodnih odpadnih vod bi lahko bil v predhodnem odlaganju le-teh v lovilnih bazenih in zunanjem zbirnem jašku ali v stabilizaciji delcev zaradi njihove interakcije s prostim oljem in maščobami, t.i. aglomerati. Specifična teža aglomerata je primerljiva s specifično težo odpadnih vod, zaradi česar se delci ne usedejo, olja in maščobe pa se ne dvignejo na površje in od tam odstranijo s posnemalnikom olja. Interakcijo bi lahko preprečili s kemijsko obdelavo ali predhodnim filtriranjem odpadnih vod, vendar bi s tem lahko povečali stroške obratovanja zaradi povečanih količin odpadnega blata ali porabe filtrov.

Suspendirane snovi (SS). S slepimi testi (deionizirana voda) sem preverila vpliv povišanja ali zmanjšanja mase filtra zaradi postopka analize in rezultati so pokazali, da lahko vpliv zanemarim. V nadaljevanju sem se osredotočila na analizo standardnih raztopin. Ugotovila sem, da mazivo (slepi vzorec) in US 620 ne vplivata na analizo SS. Delež vsebnosti T 525 ostane na filtru, vendar je neodvisen od njegove koncentracije v raztopini. Vrednost SS W 220 je znatna že pri zelo nizkih koncentracijah in se logaritemsko povečuje. Predvidevam, da je vzrok za logaritemsko povečevanje SS v tem, da ima W 220 v primerjavi s preostalimi olji, izredno visoko viskoznosti (220 mm²/s pri 40 °C) in so bile izgube pri filtriranju zaradi ostanka na filtrnem aparatu večje.

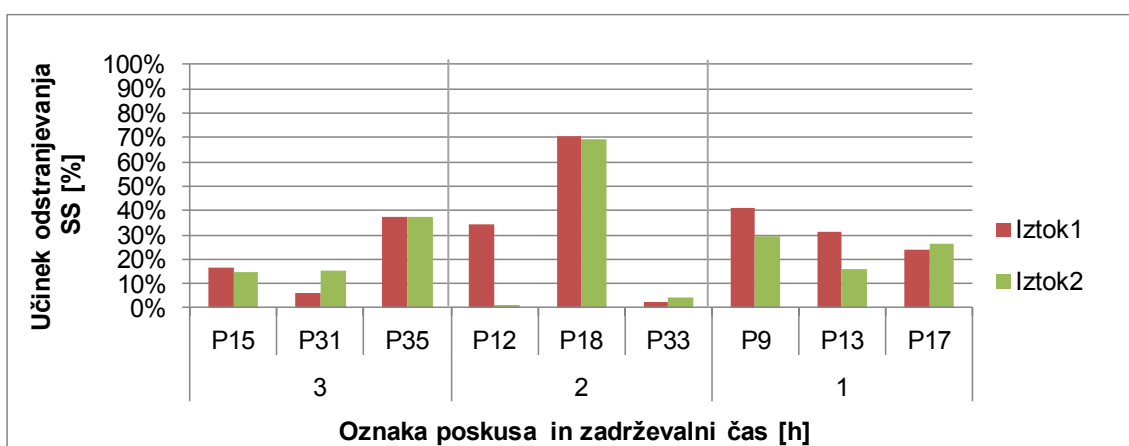
Slepi vzorec predstavlja teoretično sestavo odpadnih vod iz livarne (mazivo mešano z vodo). Koncentracija SS slepega vzorca je zelo nizka (povprečna vrednost 6,5 mg/L), medtem ko se vrednosti odpadnih vod iz livarne gibljejo od 200 do 160000 mg/L. Povišanje SS je na račun vstopa trdih delcev, olj ter maščob. Trdi delci nastajajo v vseh procesih (predvsem pri peskanju) in se prenašajo iz enega prostora v drugi z različnimi vektorji (viličarji, ljudje, ulitki, po zraku ...). Olja v proces vstopajo zaradi puščanj, čiščenja lovilcev pod grelnimi napravami in menjave orodja na livarskih strojih.



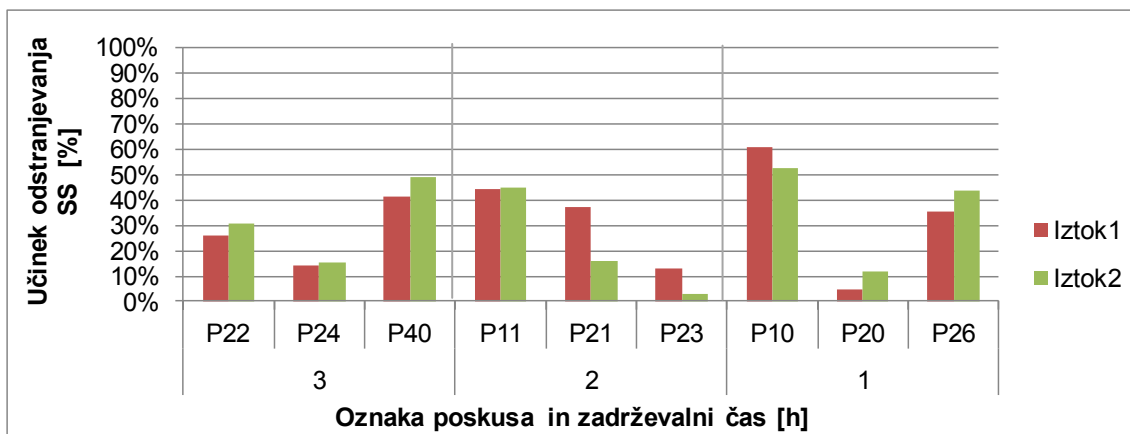
Slika 38: Koncentracija SS standardnih vzorcev z različnimi koncentracijami tujih olj (Ultra Safe - US, Transtherm - T, Waylubric - W)



Slika 39: Odvisnost koncentracije SS [mg/L] od koncentracije centralnega mazalnega olja Transtherm

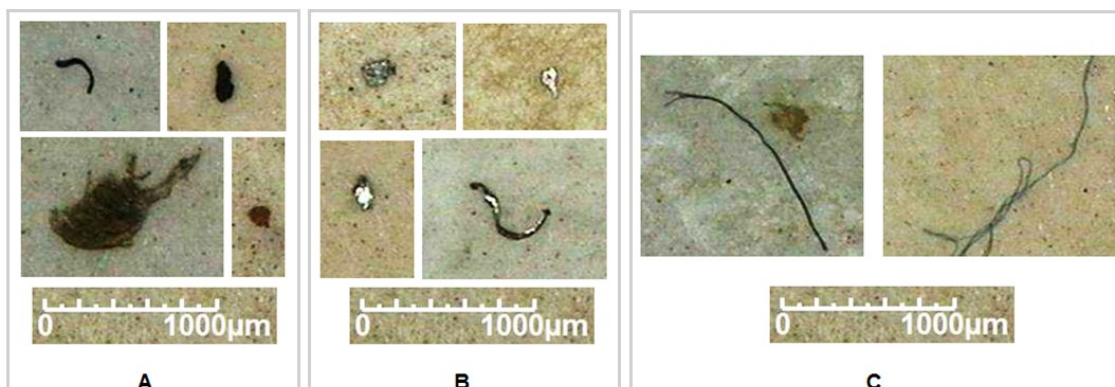


Slika 40: Učinek odstranjevanja SS [%] na iztoku (1 in 2) pri analizi učinka pilotnega konvencionalnega usedalnika pri različnih zadrževalnih časih

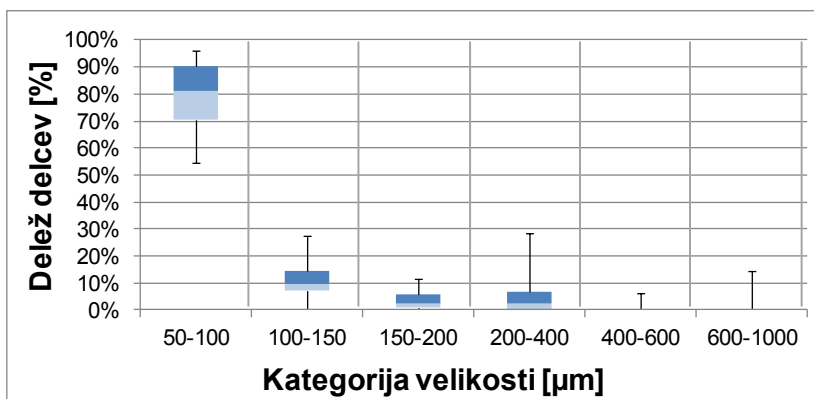


Slika 41: Učinek odstranjevanja SS [%] na iztoku (1 in 2) pri analizi učinka pilotnega lamelnega usedalnika pri različnih zadrževalnih časih

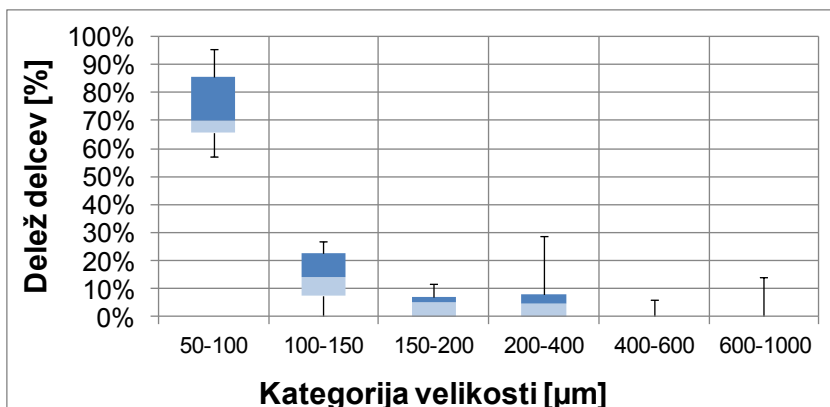
Velikost in koncentracija delcev. Rezultati analize s sedimentacijskim lijem so ovrgli prisotnost usedljivih delcev ($< 0,1 \text{ mL/L}$), kar sem želela potrditi z mikroskopiranjem. Analizirala sem le delce večje od $50 \mu\text{m}$ in jih uvrstila v tri kategorije: kovinski delci, nekovinski delci ter vlakna (Slika 42). Analiza vhodnih vod iz livarne (Slika 43 in Slika 44) je pokazala pretežno prisotnost delcev v kategoriji velikosti med 50 in $100 \mu\text{m}$, toda prisotni so bili tudi delci večji od $100 \mu\text{m}$ (med 10 in 30%). Pri analizi bolj obremenjenih vod sem se soočala s težavami zaradi aglomeracije plavajočih (maščobe in olja) in trdih delcev (Slika 58 – A in B). Take aglomerate nisem mogla ločiti in so definirani kot en delec. Rezultati analiz porazdelitve trdih delcev so zbrani v Prilogi I.



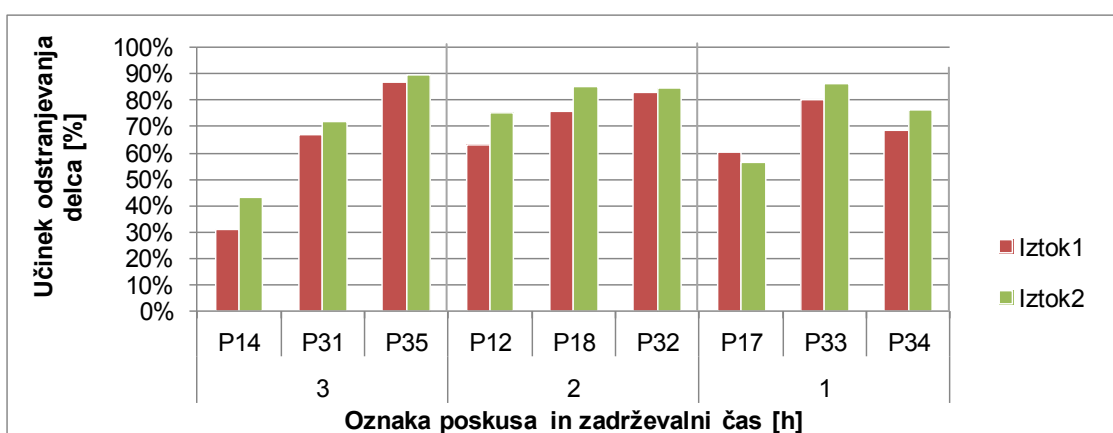
Slika 42: Primeri delcev: A - nekovinski, B - kovinski, C - vlakna



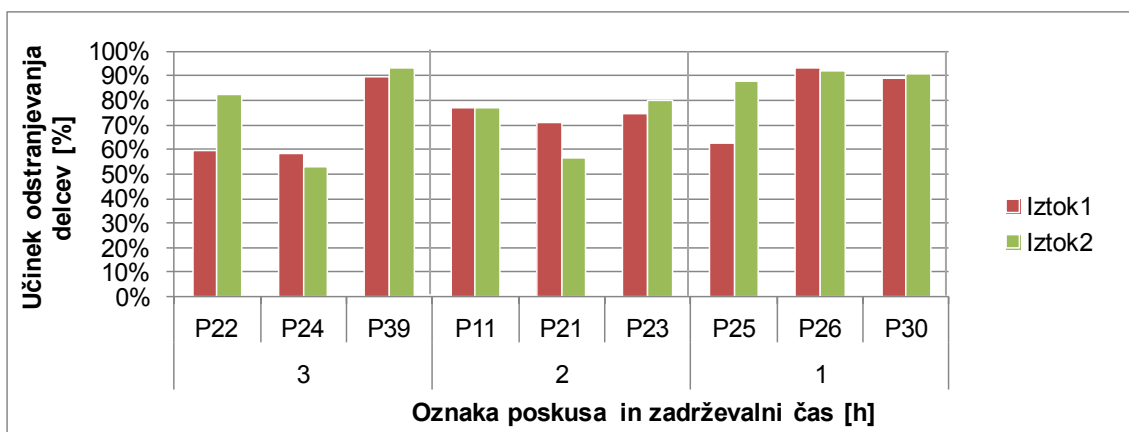
Slika 43: Porazdelitev deleža delcev po velikostnih razredih na vtoku v pilotni konvencionalni usedalnik (desno) pri $\tau = 1 \text{ h}$



Slika 44: Porazdelitev deleža delcev po velikostnih razredih na vtoku v pilotni lamelni usedalnik (desno) pri $\tau = 1$ h



Slika 45: Učinek [%] odstranjevanja trdih delcev (> 50 µm) na iztoku (1 in 2) pri analizi učinka konvencionalnega usedalnika pri različnih zadrževalnih časih



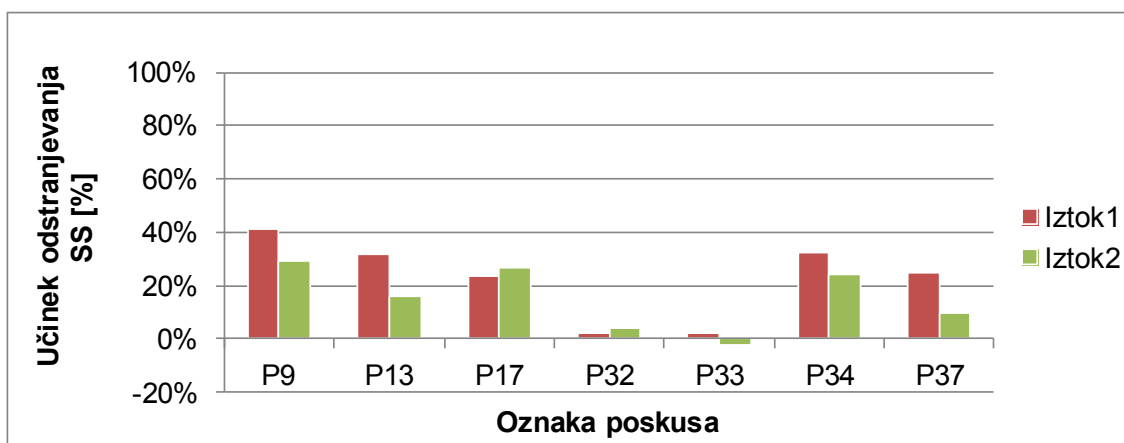
Slika 46: Učinek [%] odstranjevanja trdih delcev (> 50 µm) na iztoku (1 in 2) pri analizi učinka lamelnega usedalnika pri različnih zadrževalnih časih

Zaradi pestrega spektra vhodnih odpadnih vod, sem se pred pričetkom preliminarnih analiz odločila le za analizo odpadnih vod iz livarne, saj predstavlja 75 % vseh odpadnih vod. Toda kljub temu se je sestava vhodnih odpadnih vod zelo spreminjala tekom poskusa, kar je razvidno predvsem pri analizi SS (Slika 40 in Slika 41). Na rezultate bolj vpliva obremenjenost odpadnih vod kot različni zadrževalni časi, zaradi česar smo se odločili za zmanjšanje števila spremenljivk. V nadaljnjih analizah sem se

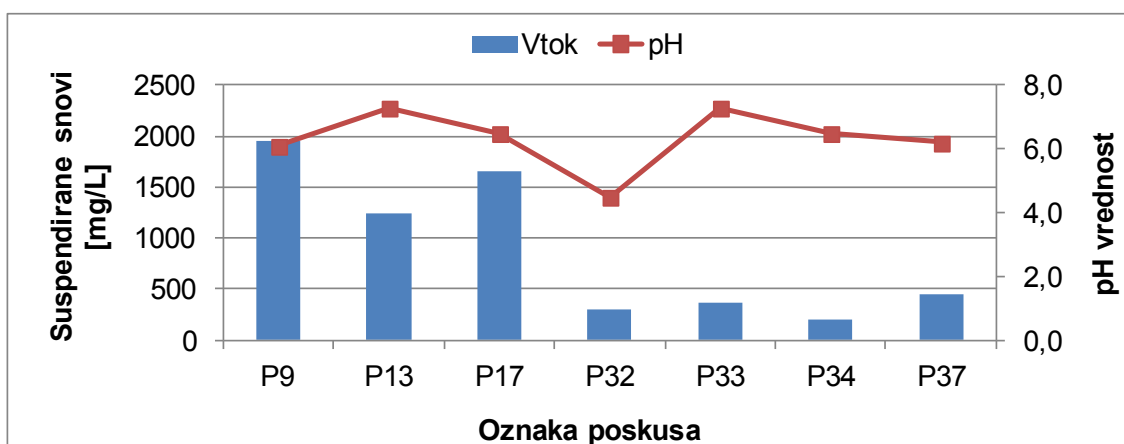
osredotočila na vsebnost SS in koncentracijo trdih delcev pri zadrževalnem času, ki je primerljiv z zadrževalnim časom v obstoječem usedalniku na ČN (1 h).

4.3.2 Suspendirane snovi

Konvencionalni usedalnik. Učinek odstranjevanja SS v konvencionalnem usedalniku se giblje med ca. 2 in 40 %. V poskusu P33 je bil učinek na iztoku 2 negativen, kar pripisujem bodisi napaki pri vzorčenju bodisi pri pripravi laboratorijskega vzorca. S primerjavo grafov (Slika 47 in Slika 48) se zariše povezava med onesnaženostjo vhodnih vod ter učinkom odstranjevanja SS. Pri obremenitvi manjši od 400 mg/L je učinek manjši od 13 % (odstopanje pri poskusu P34, kjer je učinek odstranjevanja izredno visok glede na minimalno onesnaženje vhodnih vod), medtem ko učinek čiščenja bolj obremenjenih vod (nad 1000 mg/L) sega med 16 in 41 %, povprečno 28 %.



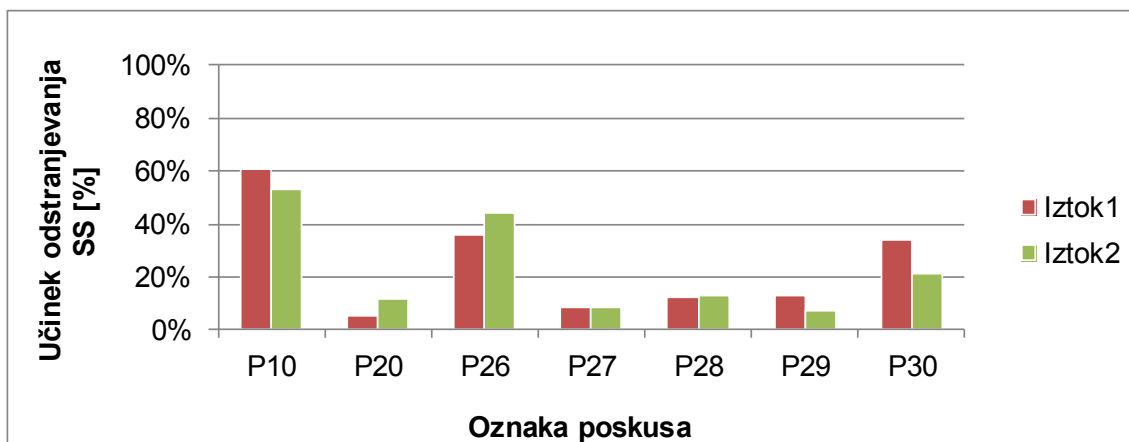
Slika 47: Učinek odstranjevanja SS [%] v konvencionalnem usedalniku pri $\tau = 1$ h



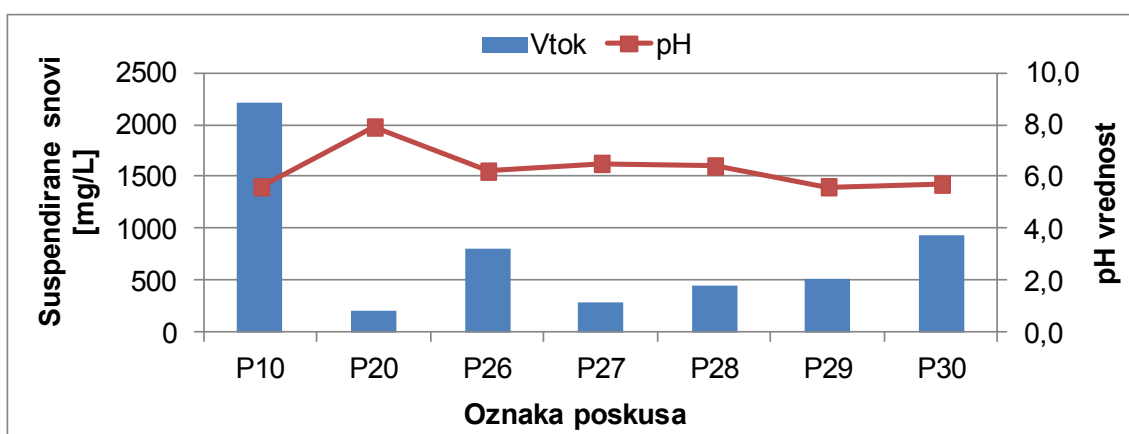
Slika 48: SS [mg/L] in pH vrednost vzorca vtoka v konvencionalni usedalnik pri $\tau = 1$ h

Lamelni usedalnik. Razpon učinka odstranjevanja SS v lamelnem usedalniku (Slika 49) je večji kot v konvencionalnem in sega od 5 do 60 %. Pri čiščenju manj obremenjenih odpadnih vod (pod 500 mg/L) je učinek obeh usedalnikov primerljiv, pod 13 %, toda nihanja vrednosti so manjša, kar nakazuje na bolj konstanten proces ločevanja v lamelnem usedalniku. Pri čiščenju bolj obremenjenih vod (nad 500 mg/L) je razlika med

obema usedalnikoma bolj izrazita. Učinek odstranjevanja v lamelnem usedalniku se giblje med ca. 20 in 60 %, povprečno 41,3 %.



Slika 49: Učinek odstranjevanja SS [%] v lamelnem usedalniku pri $\tau = 1$ h



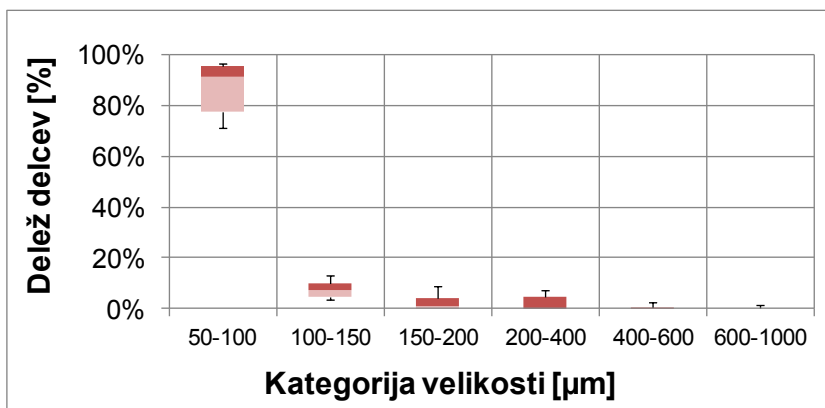
Slika 50: SS [mg/L] in pH vrednost na vtoku v lamelni usedalnik pri $\tau = 1$ h

Sinteza. Razpon učinka odstranjevanja SS v obeh usedalnikih je širok, pri čemer je opazno boljše odstranjevanje SS v lamelnem usedalniku pri bolj obremenjenih vodah. Toda učinek odstranjevanja SS obeh sistemov ne dosega predvidenega učinka odstranjevanja suspendiranih snovi v literaturi, ki znaša med 50 in 65 % (Roš in Zupančič, 2010). Pri tem je potrebno upoštevati dejstvo, da se predvideni učinki nanašajo na komunalne vode. Nizka učinkovitost odstranjevanja SS iz industrijskih odpadnih vod je lahko rezultat več faktorjev: relativno nizke obremenjenosti odpadnih vod s SS (močno obremenjene odpadne vode z raztopljenimi snovmi, ki se odstranjujejo v nadaljnjih procesih), emulgacije prostega olja zaradi vsebnosti emulgatorjev v odpadnih vodah ali predhodna floatacija v zunanjem zbirnem jašku.

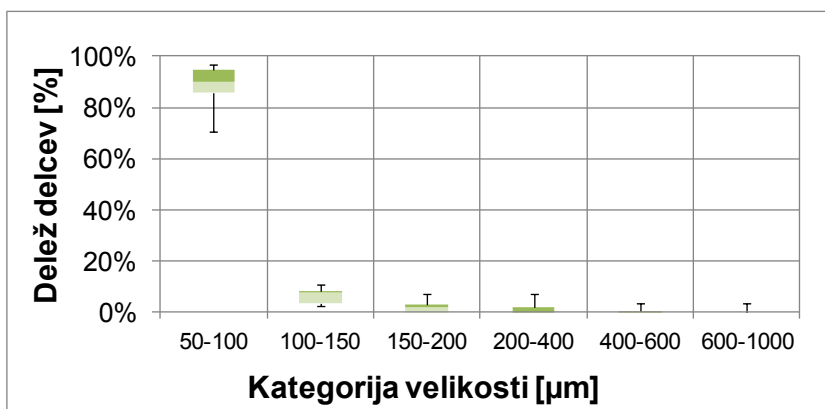
Pri odstranjevanju olj in maščob igra pomembno vlogo tudi pH vrednost, saj imajo pri nižjih pH vrednostih olja in maščobe težnjo ostati v suspenziji. pH vrednosti odpadnih vod v livarni se gibljejo med pH 4,5 in 8,0. Grafi (Slika 47 do Slika 50) ne potrjujejo korelacije med pH vrednostjo in učinkom odstranjevanja SS. Veliko bolj je opazen vpliv obremenjenosti odpadnih vod, ki zabriše morebitni vpliv pH vrednost, kar pa ne pomeni, da lahko vpliv pH vrednosti zanemarimo.

4.3.3 Trdi delci

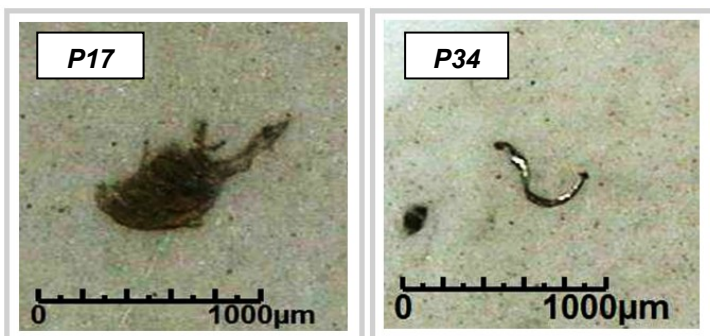
Konvencionalni usedalnik. Porazdelitev delcev se po usedanju spremeni v primerjavi z vhodnimi odpadnimi vodami (Slika 43 - levo). Delež delcev v kategoriji 50 do 100 μm se poveča na račun odstranjevanja večjih delcev. Kljub vsemu se na iztoku še vedno pojavljajo tudi večji delci (velikost največjega nekovinskega delca je bila 950 μm , velikost največjega kovinskega pa 570 μm - Slika 53). Razlaga zakaj se tako velik kovinski delec ni usedel je v njegovi obliki. Aluminijev ostružek ima veliko površino v primerjavi z volumnom, zaradi česar vzgon in sila medija premagata silo gravitacije in preprečita usedanje.



Slika 51: Porazdelitev deleža delcev na iztoku 1 iz pilotnega konvencionalnega usedalnika pri $\tau = 1 \text{ h}$

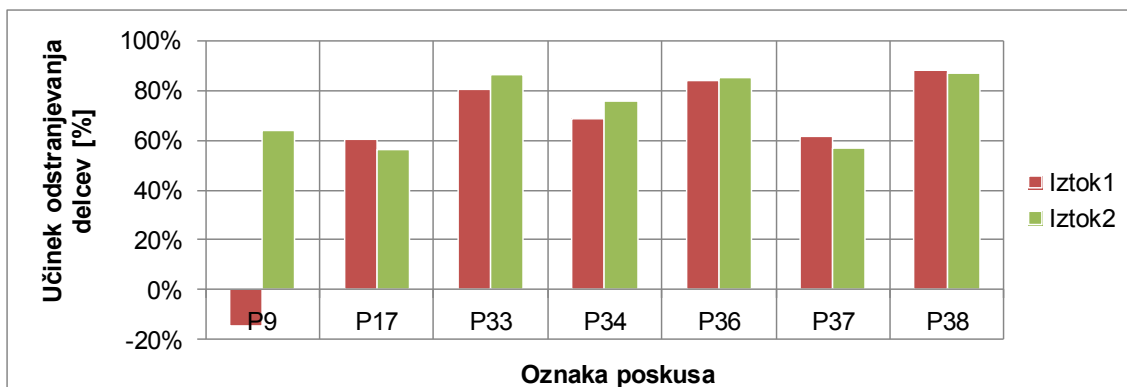


Slika 52: Porazdelitev deleža delcev na iztoku 2 iz pilotnega konvencionalnega usedalnika pri $\tau = 1 \text{ h}$

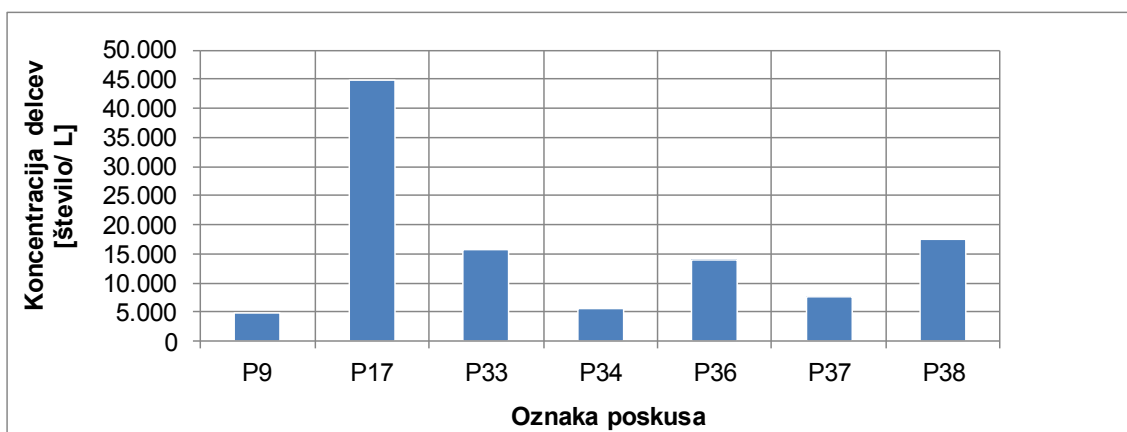


Slika 53: Največji nekovinski (levo) in kovinski delec (desno) na iztoku iz pilotnega konvencionalnega usedalnika

V poskusu P9 je bil učinek na iztoku 1 negativen, kar ponovno pripisujem napaki pri pripravi laboratorijskega vzorca. Učinek odstranjevanja trdih delcev v konvencionalnem usedalniku se giblje med slabih 60 in dobrih 80 %, povprečno 73,6 %. S primerjavo grafov (Slika 55 in Slika 54) se tokrat zariše manj jasna povezava med onesnaženostjo vhodnih vod ter učinkom odstranjevanja. V primeru izredno obremenjenih vod (P17) je bil konvencionalni usedalnik najmanj učinkovit, kar nakazuje na spiranje delcev iz usedalnika.

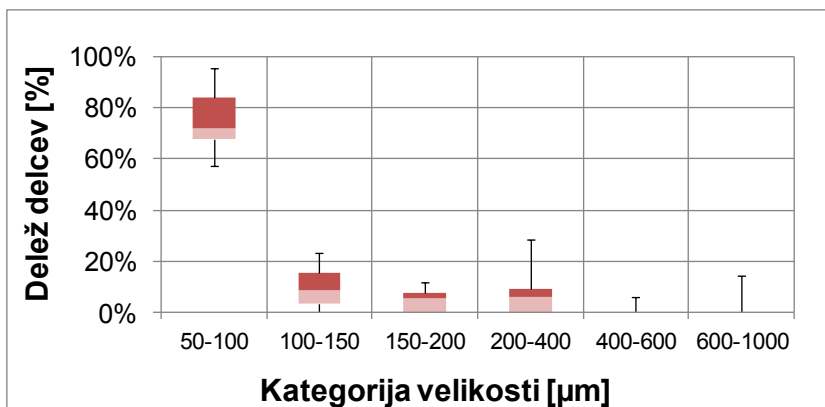


Slika 54: Učinek odstranjevanja trdih delcev [%] v konvencionalnem usedalniku pri $\tau = 1$ h

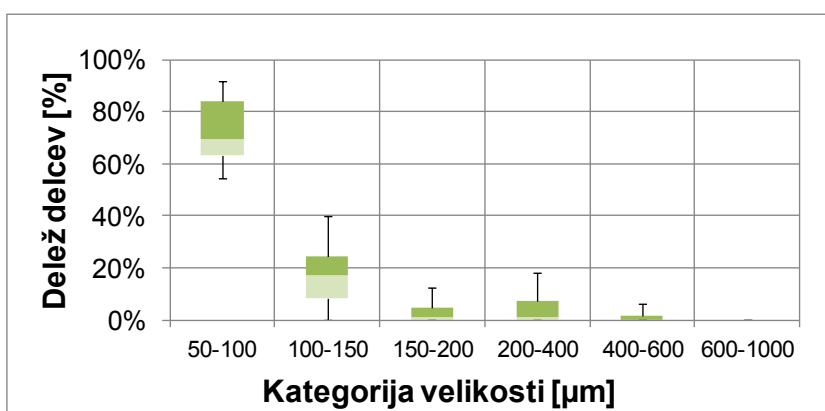


Slika 55: Koncentracija trdih delcev [število/L] na vtoku v konvencionalni usedalnik pri $\tau = 1$ h

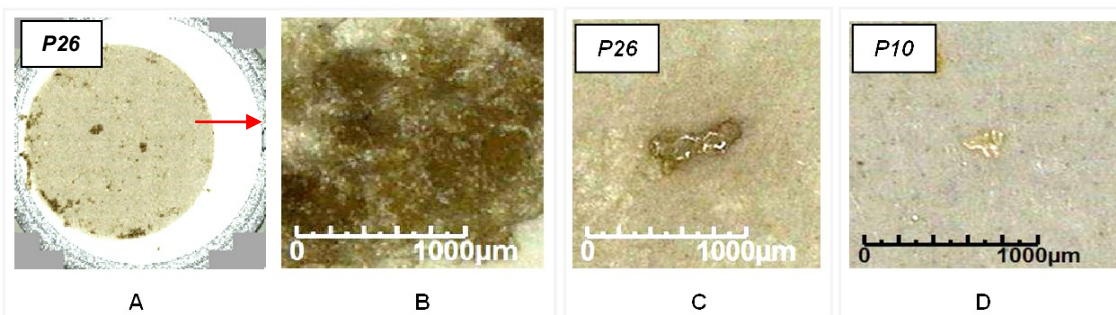
Lamelni usedalnik. Porazdelitev delcev je na iztoku iz lamelnega usedalnika (Slika 56) primerljiva s porazdelitvijo na vohu (Slika 44). Delež delcev večjih od 100 μm se v nasprotju s prejšnjim primerom ne zmanjša. Na iztoku se pojavijo tudi večji delci, toda manjši kot na iztoku iz konvencionalnega usedalnika (velikost največjega nekovinskega delca je 617 μm , velikost največjega kovinskega pa 244 μm - Slika 58). Največji nekovinski delec, ki je prešel lamelni usedalnik, v bistvu ni delec temveč t.i. aglomerat olja in trdih delcev. Na sliki spodaj (Slika 58) sem vključila tudi sliko filtra vhodnih vod, saj so bile odpadne vode v času poskusa P26 izredno obremenjene. Aglomerati so nastali pri bolj obremenjenih odpadnih vodah v času hranjenja vzorcev. Med intenzivnim mešanjem vzorca sem jih lahko deloma ločila, toda takoj po prenosu vzorca v čašo (določanje volumna) in filtrni aparat, so se ponovno združili ob stenah filtrirnega aparata (večina aglomeratov je na obrobem delu filtra).



Slika 56: Povprečna porazdelitev deleža delcev na iztoku 1 iz pilotnega lamelnega usedalnika pri $\tau = 1 h$

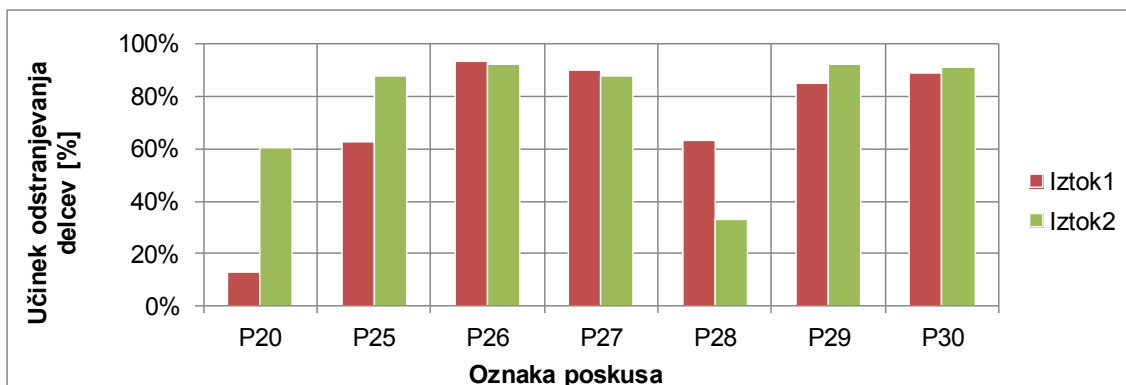


Slika 57: Povprečna porazdelitev deleža delcev na iztoku 2 iz pilotnega lamelnega usedalnika pri $\tau = 1 h$

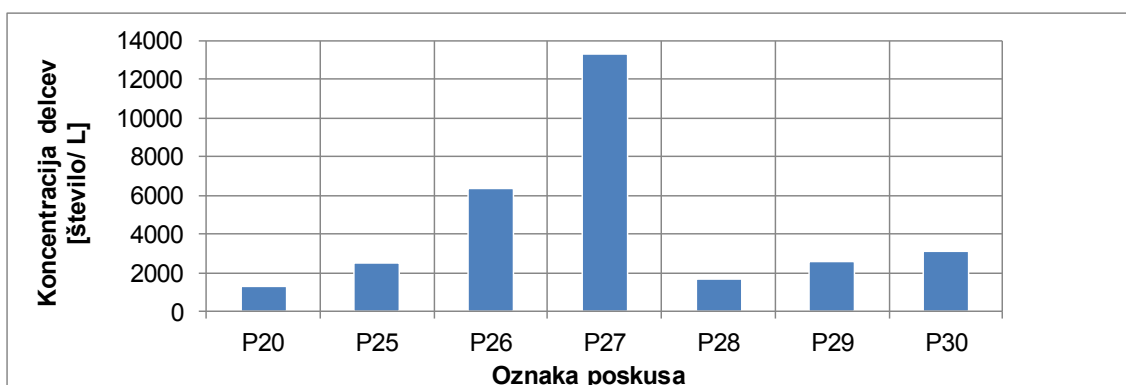


Slika 58: Filter vtoka (A) in največji nekovinski delec vtoka (B) v poskusu P26, največji nekovinski delec (C) in kovinski delec (D) na iztoku iz pilotnega lamelnega usedalnika

Obremenjenost odpadnih vod je bila v času poskusov z lamelnim usedalnikom nižja (razen med poskusom P26, kjer koncentracija ni realna, saj so se delci skupaj s prosim oljem in maščobami združili v aglomerate). Manj obremenjene odpadne vode (pod 2000 delci/L) nakazujejo na slabši učinek usedalnika, medtem ko je učinek v preostalih primerih med 60 in 90 %, povprečno 87 %.



Slika 59: Učinek odstranjevanja trdih delcev [%] v lamelnem usedalniku pri $\tau = 1$ h



Slika 60: Koncentracija trdih delcev [št/L] na vtoku v lamelni usedalnik pri $\tau = 1$ h

Sinteza. Povprečni učinek lamelnega usedalnika je bil višji od povprečnega učinka konvencionalnega usedalnika pri bolj obremenjenih odpadnih vodah (nad 2000 delcev/l) za ca. 14 %. Pri manjši obremenjenosti odpadnih vod je učinek obeh usedalnikov slabši. V kolikor primerjamo podatke iz literature, tudi učinek odstranjevanja trdih usedljivih snovi ne dosega predvidenih vrednosti (med 90 in 95 %).

Velikost največjega delca na iztoku je večja v konvencionalnem kot lamelnem usedalniku. Toda pomembno je opozoriti na lastnosti delca. Največji delec na iztoku iz lamelnega usedalnika ni pravi trdi delec temveč aglomerat, katerega lastnosti so bile že opisane in potemtakem ni presenetljivo, da se ni odstranil v usedalniku. Vzrok njegovega nastanka je lahko tudi v že omenjeni napaki zaradi hranjenja vzorcev.

Zanimiva je predvsem razlika v porazdelitvi delcev na iztoku v primerjavi s porazdelitvijo na vtoku. Pri konvencionalnem usedalniku se porazdelitev delcev na iztoku spremeni (poveča se delež delcev med 50 in 100 μm), pri lamelnem usedalniku pa ostane primerljiva s porazdelitvijo na vtoku. Razlika je lahko rezultat slabšega odstranjevanja delcev 50 in 100 μm v konvencionalnem usedalniku, medtem ko je učinek odstranjevanja v lamelnem usedalniku za vse kategorije delcev večjih od 50 μm primerljiv.

5 ZAKLJUČKI

Večina študij se zaradi bolj obvladljivih pogojev izvaja na pilotnih napravah, kjer se pogoje poskuša čim bolj približati delovnim pogojem realnih sistemov. Toda eden izmed ciljev tega diplomskega dela je bil izpopolniti način spremljanja delovanja čistilne naprave in ugotavljanja nepravilnosti v obstoječem sistemu z dalj časa trajajočo raziskavo. Osredotočili smo se na spremljanje spreminjanja fluksa membran in analizo učinka lamelnega usedalnika v primerjavi s konvencionalnim usedalnikom kot možnostjo nadgradnje predčiščenja.

Če strnem rezultate v nekaj splošnih ugotovitev, lahko zaključim, da:

- so rezultati analize mašenja in vhodnih odpadnih vod ovrgli postavljeno hipotezo, da so delci vzrok zmanjšanja permeabilnosti membran
- imata največjo vlogo pri zmanjšanju fluksa koncentracijska polarizacija in etilen glikol (osnovna sestavina hidravličnega olja Ultra Safe 620)
- smo z minimalnim zmanjšanjem P_m (povečanje vrednosti p_i iz 0,0 bar na 0,2 bar) dokazali večjo učinkovitost delovanja ČN; z dodatnim pripiranjem iztoka ali zmanjšanjem tlaka vtoka obstaja možnost dodatnega povečanja permeabilnost membran na račun zmanjšanja mašenja
- pH vrednost predstavlja pomembnejši obvladljiv delovni parameter; nihanja pH zaradi nedelovanja sistema uravnavanja pH niso dokazala vpliva na fluks, zaradi česar bi bilo s stališča zmanjšanja porabe natrijevega hidroksida v nadaljnjih analizah smiselno določiti najnižjo pH vrednost, ki ne vpliva na učinek filtracije
- so analize vhodnih odpadnih vod pokazale relativno nizko obremenjenost s suspendiranimi snovmi in izredno nizko koncentracijo usedljivih snovi (pod mejo detekcije), zaradi česar bi za nadaljnje raziskave predlagali usmeritev v alternativne metode predčiščenja, ki bi zmanjšale količino raztopljenih snovi v odpadnih voda preden le te vstopajo v ultrafiltracijske module (npr. koagulacija, mikrofiltracija,...)
- so rezultati analiz lamelnega in konvencionalnega usedalnika pokazali boljši učinek odstranjevanja suspendiranih snovi in trdih delcev lamelnega usedalnika pri bolj obremenjenih odpadnih vodah iz livarne barvnih kovin; pri manj obremenjenih odpadnih vodah je njun učinek primerljiv
- je porazdelitev deleža delcev po kategorijah velikosti na vtoku in iztoku iz konvencionalnega usedalnika opozorila na slabši učinek odstranjevanja delcev velikostnega razreda med 50 in 100 μm , medtem ko je učinek odstranjevanja delcev vseh velikostnih razredov v lamelnem usedalniku primerljiv.

Z vpeljavo spremljanja generiranja odpadnih vod po frakcijah se je vzpostavil sistem s katerim se lahko hitreje izsledi morebitna puščanja ali prepozna nepravilnosti v procesu. Na ta način se ne samo zmanjšuje generiranje odpadnih vod, temveč tudi poraba vode ter kemikalij.

Spremljanje čiščenja odpadnih vod po frakcijah omogoča prepoznavanje vseh vplivov na delovanje čistilne naprave in izločanje najbolj problematičnih komponent iz procesa čiščenja. Nenazadnje, obstoječi podatki predstavljajo pomembno orodje, ki lahko pomaga pri sprejemanju odločitev o nadgradnji posameznih procesov s stališča zmanjšanja porabe vode in kemikalij.

Nadaljnje raziskave se lahko poleg že omenjenega osredotočijo tudi na proces čiščenja membran, s katerimi bi zmanjšali čas čiščenja ter čas izpostavljenosti modulov kemikalijam. Možnosti za nadgradnjo procesa čiščenja je več. Z večkratdnevnim povratnim spiranjem modulov s čisto mehčano vodo bi lahko dosegali višje vrednosti J_k . Toda v nadaljnjih analizah bi bilo treba preveriti smiselnost vpeljave procesa povratnega spiranja modulov, saj le-te posega v efektivni čas obratovanja čistilne naprave, poveča se poraba mehčane voda in generirajo se dodatne količine odpadnih vod. Naslednjo možnost predstavlja delno spiranje modulov s permeatom. Postopek je bolj preprost in minimalno posega v efektivni čas obratovanja čistilne naprave (zapora izhoda permeata med ločevanje, ki se zaradi padca tlaka preusmeri nazaj v cevke za spiranje pa se ne uporablja čista voda. Proces čiščenja membran bi lahko nadgradili tudi z dovajanjem zraka s strani permeata, ki bi odstranil nečistoče iz por. Proces ne generira dodatnih količin odpadnih vod, ne posega v obratovanje čistilne naprave in je kot tak najbolj obetaven.

6 VIRI

Arceivala, S. J., Asolekar, S. R. 2007. Wastewater treatment for pollution control and reuse. 3. izdaja. New Delhi, Tata McGraw-Hill Publishing Compagny Limited: str. 518.

Baker, R.W. 2004. Membrane Technology and Applications. 2. izdaja. UK, Chichester, John Wiley & Sons Ltd.: str. 538.

Bergamascoa, R., Konradt-Moraesa, L.C., Fernandes Vieiraa, M., Fagundes-Klenb, M.R., Marquetotti Salcedo Vieiraa, A. 2011. Performance of a coagulation–ultrafiltration hybrid process for water supply treatment. *Chemical Engineering Journal*, 166: 483-489.

Berk, Z. 2009. Food process engineering and technology. Elsevier: str. 233 – 257.

Bezjak, J. 1997. Tehnologija materiala. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: str. 193.

Bourgeois, K. N., Darby, J. L., Tchobanoglous, G. 2001. Ultrafiltration of wastewater: Effects of particles, mode of operation, and backwash effectiveness. *Water Research*, 35 (1): 77 – 90.

Brinck, J., Jönsson, A.-S., Jönsson, B., Lindau, J. 2000. Influence of pH on the adsorptive fouling of ultrafiltration membranes by fatty acid. *Journal of Membrane Science*, 164: 187–194.

Bylund, G. 1995. Dairy processing handbook. Švedska, Tetra Pak Processing Systems AB: str. 436.

Carter, F. W., Turnock, D. 1996. Environmental problems in Eastern Europe. Nadgrajena izdaja. UK, Padstow, T.J. Press Ltd.: str. 291.

Casey, T. J. 1997. Unit treatment process in water and wastewater engineering. Chichester, Wiley: str. 292.

Chen, Y. , Dong, B.Z., Gao, N.Y., Fan, J.C. 2007. Effect of coagulation pretreatment on fouling of an ultrafiltration membrane. *Desalination*, 204: 181–188.

Choksuchart, P., Ileran, M., Grasmick, A. 2002. Ultrafiltration enhanced by coagulation in an immersed membrane system. *Desalination*, 145: 265-272.

Coca, J., Gutierrez, G., Benito, J. M. 2010. Treatment of oily wastewater. V: Water purification and management. Coca, J., Gutierrez, G. (ur.) Nizozemska, Dordrecht, Springer: str. 1-56.

Delgado Diaz, S., Vera Peña, L., González Cabrera, E., Martínez Soto, M., Vera Cabezas, L. M., Bravo Sánchez, L. R. 2012. Effect of previous coagulation in direct ultrafiltration of primary settled municipal wastewater. *Desalination*, 304: 41–48.

EPA. United States Environmental Protection Agency. 2005. Membrane filtration guidance manual.

http://www.epa.gov/ogwdw/disinfection/lt2/pdfs/guide_lt2_membranefiltration_final.pdf
(Pregledano: 6.4.2012).

- EPA. United States Environmental Protection Agency. 2010. Method 1664, Revision B: n-Hexane Extractable Material (HEM; oil and grease) and silica gel treated n-Hexane extractable material (SGT-HEM; non-polar material) by extraction and gravimetry.
- Feroz, S., Senthikumar, R., Rao, D. G. 2012. Wastewater Treatment: Advanced Processes and Technologies. CRC Press, str. 388.
- Field, R. 2010. Fundamentals of fouling. In: Membranes for water treatment: Volume 4. Peinemann, K. V., Nunes, S. P. (ur.) Weinheim, WILEY-VCH Verlag GmbH: 1 – 23.
- Gregory, R., Zabel, T. F., Edzwald, J. K. 1999. Sedimentation and flotation. In: Water quality and Treatment. 5. Izdaja. Letterman, R. D. (ur.) New York, McGraw-Hill: 7.1 – 7.87.
- Groover, M. P. 2010. Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems. 4. izdaja. New Jersey, Hoboken, John Wiley & Sons, Inc.: str. 1024.
- Grzesik, W. 2008. Advanced machining processes of metallic materials. Theory, modelling and applications. Amsterdam, Oxford: Elsevier, str. 446.
- Guo, W., Ngo, H.-H., Li, J. 2012. A mini-review on membrane fouling. Bioresource Technology, 122: 27-34.
- Howe, K. J., Clark, M. M. 2002. Coagulation pretreatment for membrane filtration. Denver, AWWA Research Foundation and American Water Works Association: str. 264.
- Huang, H., Schwab, K., Jacangelo, J. G. 2009. Pretreatment for low pressure membranes in water treatment: A review. Environmental Science & Technology, 43 (9): 3011 – 3019.
- ISO 4406. Hydraulic fluid power - Fluids - Method for coding the level of contamination by solid particles. 1999: str. 7.
- Jordan, A. 2005. Environmental policy in the European Union: Actors, Institutions & Processes. 2. izdaja. UK, London, Earthscan: str. 366.
- Kabsch-Korbutowicz, M. 2006. Impact of pre-coagulation on ultrafiltration process performance. Desalination, 194: 232-238.
- Kajitvichyanukul, P., Hung, Y.-T., Wang, L.K. 2008. Membrane technologies for oil-water separation. V: Membrane and desalination technologies. Wang, L.K, Jiaping, P.C., Hung, Y.T., Shammass, N.K. (ur.) New York, Humana Press: 639-668.
- Kiss, A. C., Shelton, D. 1997. Manual of European environmental law. 2. Izdaja. UK, Cambridge, Cambridge University Press: str. 622.
- Konieczna, K., Szałkol, D., Płonka, J., Rajca, M., Bodzeka, M. 2009. Coagulation ultrafiltration system for river water treatment. Desalination, 240: 151-159.
- Matthiasson, E. 1983. The role of macromolecular adsorption in fouling of ultrafiltration membranes. Journal of Membrane Science, 16: 23 – 36.

- Mowrer, N. R. 2003. Polysiloxanes.
http://ppgamercoatus.ppgpmc.com/psx/docs/presentation_polysiloxanes.pdf
(pregledano: 20.4.2013)
- Okoljevarstveno dovoljenje. 2009. Številka: 35407-19/2006 – 16.
- Petrofer Chemie. Petrofer product for die-casting.
http://www.petrofer.com/fileadmin/user_upload/dokumente/Druckgiesserei_eng.pdf
(pregledano: 15.10.2012)
- Pizzi, N. G. 2005. Water treatment operator handbook. 2. izdaja. Denver: American Water Works Association, str. 251.
- Rajput, R. K. 2008. A textbook of manufacturing technology: Manufacturing processes. New Delhi, Boston, Laxmi: str. 899.
- Rendell, F. 1999. Water and wastewater project development. London, Thomas Telford: str. 326.
- Rodriguez Lopez, P., Gutierrez Lavin, A., Mahamud Lopez, M.M., Bueno de las Heras, J.L. 2008. Flow models for rectangular sedimentation tanks. Chemical Engineering and Processing, 47: 1705–1716.
- Roš, M., Simonič, M., Šostar Turk, S. 2005. Priprava in čiščenje vod. Maribor: Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Oddelek za tekstilstvo: str. 169.
- Roš, M., Zupančič, G. D. 2010. Čiščenje odpadnih voda. Velenje, Visoka šola za varstvo okolja: str. 330.
- Rudolfs, W., Balmat, J. L. 1952. Colloids in Sewage: I. Separation of Sewage Colloids with the Aid of the Electron Microscope. Sewage and Industrial Wastes, 24 (3): 247 – 256.
- Shammas, N.K., Wang, L. 2008. Membrane Systems Planning and Design. V: Membrane and desalination technologies. Wang, L.K, Jiaping, P.C., Hung, Y.T., Shammas, N.K. (ur.) New York, Humana Press: 333-389.
- Spellman, F. R. 2011. Spellman's standard handbook for wastewater operator: Fundamental level. 2. izdaja. USA, Florida: CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, str. 414.
- Spellman, F. R., Whiting, N. E. 2005. Environmental engineer's mathematics handbook. Florida, Boca Raton: CRC Press, str. 664.
- Stewart, M. Arnold, K. 2008. Emulsions and oil treating equipment. Selection, sizing and troubleshooting. 3. izdaja. Elsevier: str. 290.
- Tebbutt, T. H. Y. 1998. Principles of water quality control. Massachusetts, Boston: ButterWorth-Heinemann, str. 280.
- Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo. Ur.l. RS, št. 64-2582/2012.

Uredba o preprečevanju večjih nesreč in zmanjševanju njihovih posledic. Ur.l. RS, št. 71/2008. (Ur.l. RS, št. 71/2008)

Van den Berg, G. B., Smolders, C. A. 1990. Flux decline in ultrafiltration processes. *Desalination*, 77: 101-133.

Vela, M. C. V., Blanco, S. A., Garcia, J. L., Rodriguez, E. B. 2006. Prediction of flux decline in the ultrafiltration of macromolecules. *Desalination*, 192: 323 – 329.

Wang, L., Wang, X., Fukushi, K. 2008. Effects of operational conditions on ultrafiltration membrane fouling. *Desalination*, 229: 181 – 191.

You, S.-H., Tseng, D.-H., Hsu, W.-C. 2007. Effect and mechanism of ultrafiltration membrane fouling removal by ozonation. *Desalination*, 2002: 224-230.

Zakonodaja. <http://www.dz-rs.si/> (pregledano: 23.6.2011)

Ziolo, J. 1996. Influence of the system geometry on the sedimentation effectiveness of lamella settlers. *Chemical Engineering Science*, 51 (1): 149-153.

PRILOGA A

PREDPISI

Preglednica 1: Predpisi, ki se nanašajo na odvajanje odpadnih vod iz livarn barvnih kovin

Predpis	Namen	Najpomembnejše točke
<i>Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo.</i>	<i>Osnovni podzakonski predpis, ki ureja odvajanje odpadnih voda v vodno okolje.</i>	<ul style="list-style-type: none">• splošne mejne vrednosti emisij toplote in snovi v vode in javno kanalizacijo,• način vrednotenja emisij,• prepovedi, omejitve in drugi ukrepi zmanjševanja emisij• vsebina okoljevarstvenega dovoljenja
<i>Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadne vode iz livarn barvnih kovin.</i>	<i>Ureja odvajanje odpadnih voda v vodno okolje iz livarn barvnih kovin.</i>	<ul style="list-style-type: none">• kot zgoraj, le da so mejne vrednosti definirane za dotično industrijsko dejavnost
<i>Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih voda ter pogojih za njegovo izvajanje.</i>	<i>Nadzor nad izvajanjem ukrepov za zmanjšanje onesnaževanja ter doseganja mejnih emisijskih vrednosti.</i>	<ul style="list-style-type: none">• vrste parametrov,• metodologija vzorčenja in merjenja parametrov,• količine odpadnih vod,• vsebina poročila o prvih meritvah in emisijskem monitoringu
<i>Uredba o taksi za obremenjevanje vode</i>	<i>Finančni ukrepi za spodbujanje zmanjševanja onesnaževanja</i>	<ul style="list-style-type: none">• višina in način obračunavanja takse,• odmere in plačevanje takse za obremenjevanje vode
<i>Uredba o okoljski dajatvi za onesnaževanje okolja zaradi odvajanja odpadnih voda.</i>		<ul style="list-style-type: none">• način obračunavanja in plačevanja okoljske dajatve
<i>Sklep o določitvi zneska za enoto obremenitve voda.</i>		<ul style="list-style-type: none">• višina plačila okoljske dajatve

PRILOGA B

ZNAČILNOSTI PROCESOV OBDELAVE ODPADNE VODE PRED MEMBRANSKO SEPARACIJO⁷

Preglednica 1: Značilnosti procesov obdelave odpadne vode in vpliv na mašenje

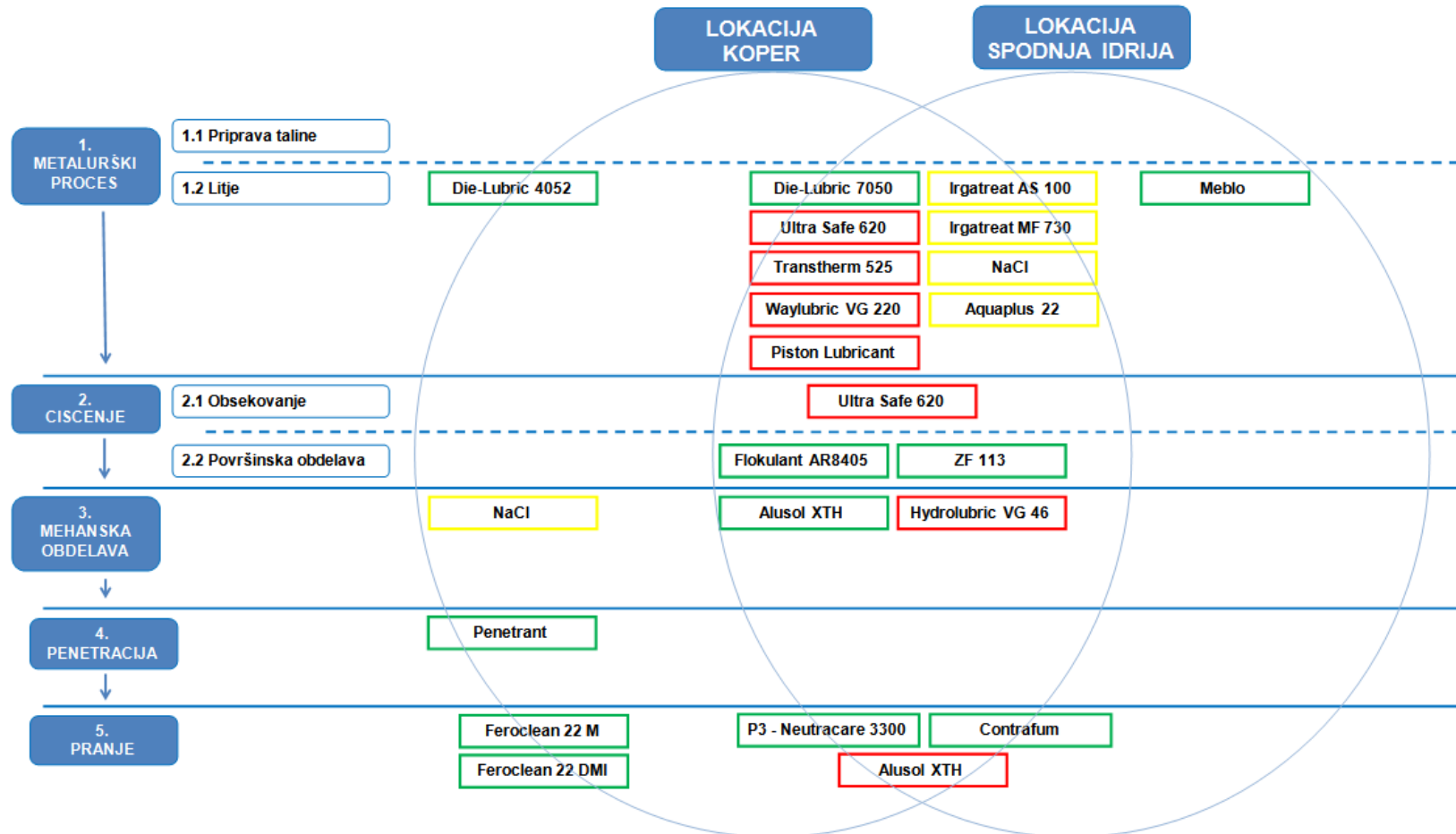
	<i>Koagulacija</i>	<i>Adsorpcija</i>	<i>Oksidacija</i>	<i>Predfiltracija</i>	
<i>Dodatki kemikalij</i>	<i>Koagulantni (ali flokulanti) Al ali Fe soli</i>	<i>Adsorbenti s porami ali brez v suspenziji ali disku</i>	<i>Plinski ali tekočinski oksidanti</i>	<i>Zrnat medij z ali brez dodatkov koagulantov, membrane</i>	
<i>Mehanizmi</i>	<i>Fizikalni</i>	<i>Povečanje velikosti onesnažila (nadaljna filtracija)</i>	<i>Na adsorbente, ki so večji od por membran, se vežejo manjša onesnažila</i>	<i>Disociacija organskih koloidov ali sproščanje ekstracelularnih produktov vodnih organizmov</i>	<i>Odstranjevanje grobega materiala (preprečevanje tvorbe kolača ali plasti gela)</i>
	<i>Kemijski</i>	<i>Destabilizacija onesnažil</i>	<i>Večje površine za adsorpcijo/ akumulacijo</i>	<i>Oksidacija in/ali delna razgradnja org. snovi</i>	<i>Selektivno odstranjevanje onesnažil</i>
	<i>Biološki</i>	<i>Delno odstranjevanje org. snovi, zmanjšanje rasti bakterij</i>	<i>Lahko se adsorbirajo tudi org. snovi</i>	<i>Zatiranje rasti mikroorganizmov</i>	<i>Delno odstranjevanje mikroorganizme</i>
<i>Tarčna onesnažila</i>	<i>Virusi, huminske/ fulvinske kisline, proteini, polisaharidi s kislinskimi skupinami, koloidi manjši od por membran</i>	<i>Huminske/ fulvinske in manjše org. kisline, nekateri SPD⁸, pesticidi in druge sintetične org. snovi</i>	<i>Virusi, organska onesnažila (ozoniranje)</i>	<i>Organski delci in koloidi, inorganske snovi, mikroorganizmi</i>	
<i>Vpliv na mašenje</i>	<i>Zmanjšanje mašenje s koloidi in organskimi snovmi</i>	<i>Možno povečanje ali zmanjšanje mašenje</i>	<i>Možno zmanjšanje biomašenja in mašenja z org. snovmi</i>	<i>Lahko zmanjša mašenje</i>	
<i>Prednosti</i>	<i>Izboljša proces ločevanja (zmanjšano mašenje in povečano ločevanje)</i>	<i>Odstranjevanje stranskih produktov dezinfekcije in njihovih prekurzorjev</i>	<i>Zmanjšanje pogostosti biomašenja; povečano odstranjevanja org. snovi (ozon)</i>	<i>Možno zmanjšanje mašenja (biomašenja, zapiranja por, tvorjenja kolača, plasti gela)</i>	
<i>Slabosti</i>	<i>(i) doziranje (variabilne vhodne vode), (ii) možno povečanje mašenja, (iii) odpadno blato, (iv) neučinkovito pri mašenju s hidrofiliimi org. snovmi</i>	<i>(i) možno zaostreno mašenje</i>	<i>(i) nastanek SPD⁸, (ii) poškodbe z oksidanti nekompatibilnih membran, (iii) neučinkovitost pri bolj rezistenčni mikrobioti</i>	<i>(i) težka rekuperacija, (ii) za povečanje učinkovitosti je lahko potrebna predobdelava (koagulacija ali predoksidacija)</i>	

⁷ po Huang in sod., 2009: 3013

⁸ SPD – stranski produkt dezinfekcije

PRILOGA C

UPORABA SREDSTEV V PODJETJU HIDRA ALUTEC



Slika 1: Shematski prikaz sredstev glede na njihovo uporabo v posameznem procesu proizvodnje

PRILOGA D

PARAMETRI NAJPOMEMBNEJŠIH SREDSTEV, KI SE UPORABLJAJO V METALURŠKEM PROCESU

Preglednica 1: Parametri sredstev iz metalurškega procesa

	<i>Parameter</i>	<i>Opis</i>	<i>Gostota [g/mL]</i>	<i>Kinematična viskoznost [mm²/s]</i>	<i>pH vrednost</i>	<i>Barva</i>	<i>Topnost v vodi</i>
	<i>Standard</i>	<i>/</i>	<i>DIN 51757</i>	<i>DIN 51562/1</i>	<i>DIN 51369</i>	<i>/</i>	<i>/</i>
Kemikalije	Die-Lubric 40 52	<i>Emulzija voska in polisiloksana kot neionogenega emulgatorja. Nevarne snovi: Piridin-2-tiol 1-oksidi, natrijeva sol (< 1%)</i>	1,010	2,6 pri 20 °C	9,6 – 10,0	bela	Se meša z vodo
	Die-Lubric 70 50	<i>Emulzija polisiloksana kot neionogenega emulgatorja</i>	Ca. 0,994	Ca. 1,8 pri 20 °C	9,0 – 9,5	bela	Se meša z vodo
	Ultra Safe 620	<i>Vodna raztopina glikolov in aditivov. Nevarne snovi: etandiol-glikol.</i>	1,05 - 1,08	27,0 pri 20 °C (39,0 pri 40 °C in 80,0 pri 50 °C)	9,2 – 9,5	Brezbarven ⁹	Se meša z vodo
	Transtherm 525	<i>Alkilirani aromatični ogljikovodiki</i>	Ca. 0,885	/	/	rumenkasta	netopen
	Waylubric	<i>Mineralno olje in pomožne snovi</i>	0,889	220 pri 40 °C	/	rumenkasta	netopen

⁹ Osnovni produkt je brezbarven, toda na zahtevo kupca se lahko obarva za hitrejšo prepoznavanje morebitnih puščanj. V podjetju se uporablja rdeče obarvan Ultra Safe 620.

PRILOGA E

DNEVNIK OBRATOVANJA ČISTILNE NAPRAVE

Preglednica 1: Obratovalni parametri in izračuni fluksa, mašenja ter učinkovitosti pranja

Cikel	Dan	Čas ločevanja [h]	Volumen [L]	Pretok Q [L/h]			Fluks J [L / m ² h]			Temperatura [°C]		Mašenje [%]	Učinkovitost pranja [%]
				Q _p	Q _z	Q _k	J _p	J _z	J _k	T _z	T _k		
8	1.	20,50	9488	546,1	750,0	500,0	22,0	30,2	20,1	25	35	33,3%	50,0%
	2.	18,33	8072	519,5	780,0	460,0	20,9	31,4	18,5	32	33	41,0%	55,9%
	3.	20,67	8019	457,9	650,0	480,0	18,4	26,1	19,3	32	34	26,1%	41,2%
	4.	22,00	7791	417,9	650,0	350,0	16,8	26,1	14,1	33	45	46,1%	35,3%
9	1.	19,58	7757	467,4	700,0	450,0	18,8	28,2	18,1	23	32	35,7%	99,8%
	2.	19,67	7412	444,7	750,0	400,0	17,9	30,2	16,1	31	33	46,6%	66,5%
	3.	22,33	7820	413,2	700,0	300,0	16,6	28,2	12,1	31	44	57,1%	74,9%
10	1.	19,83	9048	538,3	720,0	500,0	21,7	29,0	20,1	23	33	30,5%	139,8%
	2.	19,50	9568	579,0	750,0	530,0	23,3	30,2	21,3	33	34	29,3%	49,9%
	3.	21,67	7756	422,4	700,0	450,0	17,0	28,2	18,1	34	35	35,7%	32,0%
	4.	20,50	6697	385,5	650,0	350,0	15,5	26,1	14,1	34	43	46,1%	44,3%
11	1.	19,50	5160	312,2	750,0	250,0	12,6	30,2	10,1	22	35	66,6%	114,1%
	2.	21,33	4863	269,0	850,0	200,0	10,8	34,2	8,1	36	36	76,5%	239,7%
	3.	19,00	7829	486,2	800,0	350,0	19,6	32,2	14,1	35	43	56,2%	299,7%
12	1.	19,33	10186	621,7	800,0	600,0	25,0	32,2	24,2	23	33	24,9%	128,4%
	2.	21,33	9871	546,0	750,0	500,0	22,0	30,2	20,1	32	35	33,3%	24,9%
	3.	21,33	8570	474,0	600,0	450,0	19,1	24,1	18,1	33	35	24,9%	19,9%
	4.	22,00	7368	395,2	600,0	350,0	15,9	24,1	14,1	32	43	41,6%	33,2%

Se nadaljuje

Nadaljevanje

Cikel	Dan	Čas ločevanja [h]	Volumen [L]	Pretok Q [L/h]			Fluks J [L / m ² h]			Temperatura [°C]		Mašenje [%]	Učinkovitost pranja [%]
				Q _p	Q _z	Q _k	J _p	J _z	J _k	T _z	T _k		
13	1.	19,33	7352	448,7	750,0	430,0	18,1	30,2	18,1	21	33	40,0%	114,1%
	2.	21,00	9348	525,3	750,0	500,0	21,1	30,2	20,1	32	33	33,3%	66,7%
	3.	21,50	8396	460,8	650,0	450,0	18,5	26,1	18,1	32	33	30,8%	30,0%
	4.	20,00	7755	457,5	600,0	350,0	18,4	24,1	14,1	31	44	41,7%	33,3%
14	1.	19,50	11148	674,6	750,0	600,0	27,1	30,2	24,1	22	33	20,0%	114,3%
	2.	21,17	9981	556,4	700,0	450,0	22,4	28,2	18,1	31	36	35,7%	16,7%
	3.	20,33	9887	573,8	700,0	450,0	23,1	28,2	18,1	29	40	35,7%	55,6%
15	1.	21,00	6520	366,4	800,0	300,0	14,7	32,2	22,1	20	30	31,3%	77,8%
	2.	21,33	10545	583,3	750,0	500,0	23,5	30,2	20,1	33	30	33,3%	36,4%
	3.	20,75	8813	501,2	700,0	350,0	20,2	28,2	14,1	30	45	50,0%	40,0%
16	1.	20,17	10911	638,4	750,0	600,0	25,7	30,2	24,1	22	31	20,0%	114,3%
	2.	21,00	9969	560,2	750,0	500,0	22,5	30,2	20,1	30	31	33,3%	25,0%
	3.	23,00	7673	393,7	650,0	300,0	15,8	26,1	12,1	30	44	53,8%	30,0%
17	1.	19,33	7608	464,4	700,0	500,0	18,7	28,2	20,1	20	29	28,6%	133,3%
	2.	19,50	8843	535,1	750,0	500,0	21,5	30,2	20,1	27	30	33,3%	50,0%
	3.	22,33	9018	476,5	650,0	350,0	19,2	26,1	14,1	30	44	46,2%	30,0%

Preglednica 2: Sestava odpadnih vod po dnevih čiščenja

Cikel	Dan	Vir odpadnih vod [m ³]					Ostane
		Pranje orodja	Pranje ulitkov	Mehanska obdelava	KP livarna	SPI livarna	
8	1.	0,0	0,0	0,0	9,5	0,0	0,0
	2.	0,0	1,0	0,0	4,7	0,0	2,4
	3.	0,0	0,0	1,0	2,9	0,0	4,1
	4.	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0	3,5
9	1.	0,0	1,0	0,0	6,8	0,0	0,0
	2.	0,0	0,0	1,0	2,9	0,0	3,5
	3.	1,0	0,0	1,0	0,0	2,0	5,6
10	1.	0,0	0,0	1,0	8,0	0,0	0,0
	2.	0,0	0,0	0,0	4,1	1,0	4,5
	3.	1,0	0,0	0,0	1,2	3,0	2,6
	4.	0,0	1,0	0,0	0,9	1,0	3,8
11	1.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2.	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	6,7
	3.	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	7,0
12	1.	0,0	0,0	0,0	6,0	0,0	4,2
	2.	0,0	2,0	0,0	3,5	2,0	2,4
	3.	1,0	0,0	0,0	2,2	3,0	2,4
	4.	0,0	1,0	0,0	1,0	3,0	2,4
13	1.	0,0	0,0	0,0	7,4	0,0	0,0
	2.	0,0	1,0	0,0	3,6	2,0	2,7
	3.	0,0	1,0	0,0	1,2	2,0	4,2
	4.	1,0	0,0	0,0	2,3	0,0	4,5
14	1.	0,0	0,0	0,0	6,8	0,0	4,3
	2.	1,0	0,0	0,0	8,0	1,0	0,0
	3.	0,0	1,0	0,0	3,5	3,0	2,4
15	1.	1,0	0,0	0,0	0,1	3,0	2,4
	2.	2,0	1,0	0,0	4,5	3,0	0,0
	3.	0,0	0,0	0,0	4,7	1,0	3,1
16	1.	1,0	3,0	1,0	1,8	0,0	4,1
	2.	2,0	1,0	0,0	2,6	2,0	2,4
	3.	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	3,4
17	1.	0,0	0,0	1,0	3,6	3,0	0,0
	2.	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	3,8
	3.	0,0	0,0	0,0	1,5	3,0	4,5

PRILOGA F

OBRATOVALNI PARAMETRI IN IZRAČUNI ZA DOLOČANJE VPLIVA TRANSMEMBRANSKEGA TLAKA

Preglednica 1: Meritve pri izstopnem tlaku 0,0 bar

Cikel in dan	Ura	pH	T	TLAK [bar]				PRETOK Q [L/h]					
				pv	pp	pi	pi(3-4)	Q	Q1	Q2	Q3-4	Q5	Q6
1. cikel 1. dan	8:35	9,8	34,0	1,8	0	0	0,2	900	320	470	160	340	400
	9:50	9,5	33,9	1,8	0	0	0,2	870	270	420	160	300	370
	10:50	9,5	33,5	1,8	0	0	0,2	840	270	400	160	300	360
	12:25	9,3	32,0	1,8	0	0	0,2	770	260	375	160	275	340
	13:25	9,1	31,0	1,8	0	0	0,2	750	250	355	155	260	330
	14:40	8,9	30,5	1,8	0	0	0,2	725	240	340	155	250	325
	15:40	8,9	30,5	1,8	0	0	0,2	700	230	330	150	240	320
	20:20	8,1	30,5	1,8	0	0	0,2	600	200	280	145	210	285
	6:10	7,5	32,0	1,8	0	0	0,2	510	180	250	140	180	250
2. dan	8:50	6,7	32,5	1,8	0	0	0	680	250	380	155	250	280
	10:10	6,8	33,0	1,8	0	0	0	625	225	295	150	230	260
	11:40	6,9	34,0	1,8	0	0	0	520	215	280	145	225	255
	12:50	7,2	34,5	1,8	0	0	0	575	215	280	145	220	250
	14:30	7,8	33,0	1,8	0	0	0	605	210	275	150	225	250
	15:50	8,1	33,5	1,8	0	0	0	585	215	275	150	225	255
	19:00	9,0	33,0	1,8	0	0	0	560	210	265	150	220	245
	6:10	8,4	33,5	1,8	0	0	0	500	190	245	145	205	230

Se nadaljuje

Nadaljevanje

Cikel in dan	Ura	pH	T	TLAK [bar]				PRETOK Q [L/h]					
				pv	pp	pi	pi(3-4)	Q	Q1	Q2	Q3-4	Q5	Q6
3. dan	8:35	8,2	37,0	1,8	0	0	0	650	255	310	160	245	260
	9:30	9,0	37,0	1,8	0	0	0	600	215	275	160	230	250
	10:40	9,0	37,0	1,8	0	0	0	565	210	265	155	220	245
	11:45	8,8	37,0	1,8	0	0	0	555	205	260	150	210	240
	14:05	7,8	37,0	1,8	0	0	0	525	195	255	150	205	230
	16:00	8,0	37,0	1,8	0	0	0	495	190	240	145	200	225
	20:20	9,2	37,0	1,8	0	0	0	470	185	230	145	195	220
	6:30	9,0	37,0	1,7	0	0	0	420	175	220	140	175	180
	7:15	7,5	37,0	1,72	0	0	0	380	170	215	140	170	175
	8:15	8,5	41,0	1,75	0	0	0	370	165	205	135	170	175
8:50	8,5	42,0	1,72	0	0	0	360	160	200	130	165	175	
2. cikel 1. dan	13:13	8,5	21,0	1,8	0	0	0	825	275	410	165	305	300
	16:30	9,5	26,0	1,7	0	0	0	705	250	365	150	265	275
	22:20	8,5	31,0	1,6	0	0	0	660	230	320	140	245	250
	6:25	8,5	34,0	1,7	0	0	0	600	250	320	150	250	270
2. dan	9:25	9,5	34,0	1,8	0	0	0	770	265	350	145	275	295
	11:30	8,5	34,0	1,8	0	0	0	680	245	315	150	260	270
	14:00	8,0	34,5	1,8	0	0	0	625	225	285	150	240	250
	6:00	7,5	38,0	1,8	0	0	0	500	200	250	150	210	250
3. dan	8:30	7,5	38,0	1,8	0	0	0	650	220	280	155	240	280
	11:40	7,5	37,5	1,8	0	0	0	550	195	240	155	205	225
	20:30	7,0	38,0	1,73	0	0	0	405	175	205	145	175	190
	6:30	7,5	41,0	1,8	0	0	0	300	115	145	125	115	130
3. cikel 1. dan	10:30	9,7	25,0	1,8	0	0	0	720	280	370	170	300	290
	12:40	9,5	27,0	1,8	0	0	0	690	260	325	165	265	280

Se nadaljuje

Nadaljevanje

Cikel in dan	Ura	pH	T	TLAK [bar]				PRETOK Q [L/h]					
				pv	pp	pi	pi(3-4)	Q	Q1	Q2	Q3-4	Q5	Q6
2. dan	16:40	8,5	30,0	1,7	0	0	0	605	230	275	155	235	260
	6:00	8,5	34,0	1,8	0	0	0	520	220	250	130	220	230
	8:30	8,5	34,0	1,8	0	0	0	700	260	305	160	240	270
	11:10	9,0	35,0	1,8	0	0	0	650	235	275	160	230	250
	12:50	9,0	35,0	1,8	0	0	0	580	220	265	160	225	240
	16:20	8,2	35,5	1,7	0	0	0	525	205	250	160	215	225
3. dan	6:00	8,5	37,0	1,8	0	0	0	450	200	220	150	200	210
	8:40	8,7	37,5	1,8	0	0	0	570	215	265	165	220	240
	12:00	8,5	37,5	1,8	0	0	0	500	200	240	155	205	225
	15:45	8,2	38,5	1,8	0	0	0	495	190	230	145	200	215
	6:00	8,2	45,0	1,8	0	0	0	320	150	170	130	160	170

Preglednica 2: Izračuni padca hidravličnega tlaka (P), gradienta tlaka skozi membrano (P_m) in fluksa (J) pri izstopnem tlaku 0,0 bar

Cikel in dan	Ura	P [bar]	P_m [bar]	P_m (M3-4) [bar]	FLUKS [L/ m ² h]					
					J	J1	J2	J3-4	J5	J6
1. cikel 1. dan	8:35	1,80	0,90	0,80	36,2	52,5	77,0	347,8	55,7	65,6
	9:50	1,80	0,90	0,80	35,0	44,3	68,9	347,8	49,2	60,7
	10:50	1,80	0,90	0,80	33,8	44,3	65,6	347,8	49,2	59,0
	12:25	1,80	0,90	0,80	31,0	42,6	61,5	347,8	45,1	55,7
	13:25	1,80	0,90	0,80	30,2	41,0	58,2	337,0	42,6	54,1
	14:40	1,80	0,90	0,80	29,2	39,3	55,7	337,0	41,0	53,3
	15:40	1,80	0,90	0,80	28,2	37,7	54,1	326,1	39,3	52,5
	20:20	1,80	0,90	0,80	24,1	32,8	45,9	315,2	34,4	46,7
	6:10	1,80	0,90	0,80	20,5	29,5	41,0	304,3	29,5	41,0

Se nadaljuje

Nadaljevanje

Cikel in dan	Ura	P [bar]	Pm [bar]	Pm (M3-4) [bar]	FLUKS [L/ m ² h]					
					J	J1	J2	J3-4	J5	J6
2. dan	8:50	1,80	0,90	0,90	27,4	41,0	62,3	337,0	41,0	45,9
	10:10	1,80	0,90	0,90	25,1	36,9	48,4	326,1	37,7	42,6
	11:40	1,80	0,90	0,90	20,9	35,2	45,9	315,2	36,9	41,8
	12:50	1,80	0,90	0,90	23,1	35,2	45,9	315,2	36,1	41,0
3. dan	8:35	1,80	0,90	0,90	26,1	41,8	50,8	347,8	40,2	42,6
	9:30	1,80	0,90	0,90	24,1	35,2	45,1	347,8	37,7	41,0
	10:40	1,80	0,90	0,90	22,7	34,4	43,4	337,0	36,1	40,2
	11:45	1,80	0,90	0,90	22,3	33,6	42,6	326,1	34,4	39,3
	14:05	1,80	0,90	0,90	21,1	32,0	41,8	326,1	33,6	37,7
	16:00	1,80	0,90	0,90	19,9	31,1	39,3	315,2	32,8	36,9
	20:20	1,80	0,90	0,90	18,9	30,3	37,7	315,2	32,0	36,1
	6:30	1,70	0,85	0,85	16,9	28,7	36,1	304,3	28,7	29,5
	7:15	1,72	0,86	0,86	15,3	27,9	35,2	304,3	27,9	28,7
	8:15	1,75	0,88	0,88	14,9	27,0	33,6	293,5	27,9	28,7
8:50	1,72	0,86	0,86	14,5	26,2	32,8	282,6	27,0	28,7	
2. cikel 1. dan	13:13	1,80	0,90	0,90	33,2	45,1	67,2	358,7	50,0	49,2
	16:30	1,70	0,85	0,85	28,4	41,0	59,8	326,1	43,4	45,1
	22:20	1,60	0,80	0,80	26,5	37,7	52,5	304,3	40,2	41,0
	6:25	1,70	0,85	0,85	24,1	41,0	52,5	326,1	41,0	44,3
2. dan	9:25	1,80	0,90	0,90	31,0	43,4	57,4	315,2	45,1	48,4
	11:30	1,80	0,90	0,90	27,4	40,2	51,6	326,1	42,6	44,3
	14:00	1,80	0,90	0,90	25,1	36,9	46,7	326,1	39,3	41,0
	6:00	1,80	0,90	0,90	20,1	32,8	41,0	326,1	34,4	41,0
3. dan	8:30	1,80	0,90	0,90	26,1	36,1	45,9	337,0	39,3	45,9
	11:40	1,80	0,90	0,90	22,1	32,0	39,3	337,0	33,6	36,9
	20:30	1,73	0,87	0,87	16,3	28,7	33,6	315,2	28,7	31,1

Se nadaljuje

Nadaljevanje

Cikel in dan	Ura	P [bar]	Pm [bar]	Pm (M3-4) [bar]	FLUKS [L/ m ² h]						
					J	J1	J2	J3-4	J5	J6	
	6:30	1,80	0,90	0,90	12,1	18,9	23,8	271,7	18,9	21,3	
3. cikel	1. dan	10:30	1,80	0,90	0,90	29,0	45,9	60,7	369,6	49,2	47,5
		12:40	1,80	0,90	0,90	27,8	42,6	53,3	358,7	43,4	45,9
		6:00	1,80	0,90	0,90	20,9	36,1	41,0	282,6	36,1	37,7
	2. dan	16:40	1,70	0,85	0,85	24,3	37,7	45,1	337,0	38,5	42,6
		8:30	1,80	0,90	0,90	28,2	42,6	50,0	347,8	39,3	44,3
		11:10	1,80	0,90	0,90	26,1	38,5	45,1	347,8	37,7	41,0
		12:50	1,80	0,90	0,90	23,3	36,1	43,4	347,8	36,9	39,3
		16:20	1,70	0,85	0,85	21,1	33,6	41,0	347,8	35,2	36,9
		6:00	1,80	0,90	0,90	18,1	32,8	36,1	326,1	32,8	34,4
		8:40	1,80	0,90	0,90	22,9	35,2	43,4	358,7	36,1	39,3
	3. dan	12:00	1,80	0,90	0,90	20,1	32,8	39,3	337,0	33,6	36,9
		15:45	1,80	0,90	0,90	19,9	31,1	37,7	315,2	32,8	35,2
6:00		1,80	0,90	0,90	12,9	24,6	27,9	282,6	26,2	27,9	

Preglednica 3: Izračuni permeabilnosti (L_p) in odstotka mašenja pri izstopnem tlaku 0,0 bar

Cikel in dan	Ura	PERMEABILNOST [1/(m ² h bar)]						MAŠENJE V CIKLU [%]						
		Lp	Lp1	Lp2	Lp3-4	Lp5	Lp6	Skupno	M1	M2	M3-4	M5	M6	
1. cikel	1. dan	8:35	40,2	58,3	85,6	434,8	61,9	72,9						
		9:50	38,9	49,2	76,5	434,8	54,6	67,4	3,3%	15,6%	10,6%	0,0%	11,8%	7,5%
		10:50	37,5	49,2	72,9	434,8	54,6	65,6	6,7%	15,6%	14,9%	0,0%	11,8%	10,0%
		12:25	34,4	47,4	68,3	434,8	50,1	61,9	14,4%	18,8%	20,2%	0,0%	19,1%	15,0%
		13:25	33,5	45,5	64,7	421,2	47,4	60,1	16,7%	21,9%	24,5%	2,5%	23,5%	17,5%
		14:40	32,4	43,7	61,9	421,2	45,5	59,2	19,4%	25,0%	27,7%	2,5%	26,5%	18,8%

Se nadaljuje

Nadaljevanje

Cikel in dan	Ura	PERMEABILNOST [1/(m ² h bar)]						MAŠENJE V CIKLU [%]					
		Lp	Lp1	Lp2	Lp3-4	Lp5	Lp6	Skupno	M1	M2	M3-4	M5	M6
2. dan	15:40	31,3	41,9	60,1	407,6	43,7	58,3	22,2%	28,1%	29,8%	5,0%	29,4%	20,0%
	20:20	26,8	36,4	51,0	394,0	38,3	51,9	33,3%	37,5%	40,4%	7,5%	38,2%	28,8%
	6:10	22,8	32,8	45,5	380,4	32,8	45,5	43,3%	43,8%	46,8%	10,0%	47,1%	37,5%
	8:50	30,4	45,5	69,2	374,4	45,5	51,0	24,4%	21,9%	19,1%	2,5%	26,5%	30,0%
	10:10	27,9	41,0	53,7	362,3	41,9	47,4	30,6%	29,7%	37,2%	5,0%	32,4%	35,0%
	11:40	23,2	39,2	51,0	350,2	41,0	46,4	42,2%	32,8%	40,4%	7,5%	33,8%	36,3%
	12:50	25,7	39,2	51,0	350,2	40,1	45,5	36,1%	32,8%	40,4%	7,5%	35,3%	37,5%
	14:30	27,0	38,3	50,1	362,3	41,0	45,5	32,8%	34,4%	41,5%	5,0%	33,8%	37,5%
	15:50	26,1	39,2	50,1	362,3	41,0	46,4	35,0%	32,8%	41,5%	5,0%	33,8%	36,3%
3. dan	19:00	25,0	38,3	48,3	362,3	40,1	44,6	37,8%	34,4%	43,6%	5,0%	35,3%	38,8%
	6:10	22,3	34,6	44,6	350,2	37,3	41,9	44,4%	40,6%	47,9%	7,5%	39,7%	42,5%
	8:35	29,1	46,4	56,5	386,5	44,6	47,4	27,8%	20,3%	34,0%	0,0%	27,9%	35,0%
	9:30	26,8	39,2	50,1	386,5	41,9	45,5	33,3%	32,8%	41,5%	0,0%	32,4%	37,5%
	10:40	25,3	38,3	48,3	374,4	40,1	44,6	37,2%	34,4%	43,6%	2,5%	35,3%	38,8%
	11:45	24,8	37,3	47,4	362,3	38,3	43,7	38,3%	35,9%	44,7%	5,0%	38,2%	40,0%
	14:05	23,5	35,5	46,4	362,3	37,3	41,9	41,7%	39,1%	45,7%	5,0%	39,7%	42,5%
	16:00	22,1	34,6	43,7	350,2	36,4	41,0	45,0%	40,6%	48,9%	7,5%	41,2%	43,8%
	20:20	21,0	33,7	41,9	350,2	35,5	40,1	47,8%	42,2%	51,1%	7,5%	42,6%	45,0%
	6:30	19,9	33,8	42,4	358,1	33,8	34,7	53,3%	45,3%	53,2%	10,0%	48,5%	55,0%
2. cikel 1. dan	7:15	17,8	32,4	41,0	353,9	32,4	33,4	57,8%	46,9%	54,3%	10,0%	50,0%	56,3%
	8:15	17,0	30,9	38,4	335,4	31,9	32,8	58,9%	48,4%	56,4%	12,5%	50,0%	56,3%
	8:50	16,8	30,5	38,1	328,6	31,5	33,4	60,0%	50,0%	57,4%	15,0%	51,5%	56,3%
	13:13	36,9	50,1	74,7	398,6	55,6	54,6						
2. cikel 1. dan	16:30	33,4	48,2	70,4	383,6	51,1	53,0	14,5%	9,1%	11,0%	9,1%	13,1%	8,3%
	22:20	33,2	47,1	65,6	380,4	50,2	51,2	20,0%	16,4%	22,0%	15,2%	19,7%	16,7%
	6:25	28,4	48,2	61,7	383,6	48,2	52,1	27,3%	9,1%	22,0%	9,1%	18,0%	10,0%

Se nadaljuje

Nadaljevanje

Cikel in dan	Ura	PERMEABILNOST [1/(m ² h bar)]						MAŠENJE V CIKLU [%]					
		Lp	Lp1	Lp2	Lp3-4	Lp5	Lp6	Skupno	M1	M2	M3-4	M5	M6
2. dan	9:25	34,4	48,3	63,8	350,2	50,1	53,7	6,7%	3,6%	14,6%	12,1%	9,8%	1,7%
	11:30	30,4	44,6	57,4	362,3	47,4	49,2	17,6%	10,9%	23,2%	9,1%	14,8%	10,0%
	14:00	27,9	41,0	51,9	362,3	43,7	45,5	24,2%	18,2%	30,5%	9,1%	21,3%	16,7%
	6:00	22,3	36,4	45,5	362,3	38,3	45,5	39,4%	27,3%	39,0%	9,1%	31,1%	16,7%
3. dan	8:30	29,1	40,1	51,0	374,4	43,7	51,0	21,2%	20,0%	31,7%	6,1%	21,3%	6,7%
	11:40	24,6	35,5	43,7	374,4	37,3	41,0	33,3%	29,1%	41,5%	6,1%	32,8%	25,0%
	20:30	18,8	33,2	38,9	364,4	33,2	36,0	50,9%	36,4%	50,0%	12,1%	42,6%	36,7%
	6:30	13,4	20,9	26,4	301,9	20,9	23,7	63,6%	58,2%	64,6%	24,2%	62,3%	56,7%
3. cikel 1. dan	10:30	32,2	51,0	67,4	410,6	54,6	52,8						
	12:40	30,8	47,4	59,2	398,6	48,3	51,0	4,2%	7,1%	12,2%	2,9%	11,7%	3,4%
	16:40	28,6	44,4	53,0	396,4	45,3	50,1	16,0%	17,9%	25,7%	9,1%	24,5%	10,3%
	6:00	23,2	40,1	45,5	314,0	40,1	41,9	27,8%	21,4%	32,4%	25,8%	34,0%	20,7%
2. dan	8:30	31,3	47,4	55,6	386,5	43,7	49,2	2,8%	7,1%	17,6%	7,7%	27,3%	6,9%
	11:10	29,1	42,8	50,1	386,5	41,9	45,5	9,7%	16,1%	25,7%	6,2%	29,2%	13,8%
	12:50	25,9	40,1	48,3	386,5	41,0	43,7	19,4%	21,4%	28,4%	6,2%	32,6%	17,2%
	16:20	24,8	39,5	48,2	409,2	41,5	43,4	27,1%	26,8%	32,4%	6,2%	37,8%	22,4%
	6:00	20,1	36,4	40,1	362,3	36,4	38,3	37,5%	28,6%	40,5%	12,5%	46,5%	27,6%
3. dan	8:40	25,5	39,2	48,3	398,6	40,1	43,7	20,8%	23,2%	28,4%	3,3%	40,0%	17,2%
	12:00	22,3	36,4	43,7	374,4	37,3	41,0	30,6%	28,6%	35,1%	9,1%	43,2%	22,4%
	15:45	22,1	34,6	41,9	350,2	36,4	39,2	31,3%	32,1%	37,8%	16,1%	48,8%	25,9%
	6:00	14,3	27,3	31,0	314,0	29,1	31,0	55,6%	46,4%	54,1%	27,6%	70,0%	41,4%

Preglednica 4: Izračuni in obratovalni parametri v času obratovanja vseh modulov in modula 1 pri izstopnem tlaku 0,2 bar

Cikel	Dan	Ura	Skupni obratovalni parametri				Vsi moduli				Modul 1			
			pv	pp [bar]	pH	T	Q [L/h]	pi [bar]	P [bar]	Pm [bar]	Q1 [L/h]	pi1 [bar]	P1 [bar]	Pm1 [bar]
1. cikel	1. dan	13:00	1,80	0	8,0	28,0	805	0,2	1,60	1,00	285	0,20	1,60	0,80
		16:00	1,80	0	8,3	31,5	730	0,2	1,60	1,00	265	0,20	1,60	0,80
		6:15	1,80	0	8,3	40,0	550	0,2	1,60	1,00	220	0,20	1,60	0,80
	2. dan	9:10	1,75	0	8,3	29,0	720	0,2	1,55	0,98	260	0,20	1,55	0,78
		12:40	1,75	0	8,3	29,0	650	0,2	1,55	0,98	220	0,20	1,55	0,78
		15:00	1,80	0	8,3	30,0	635	0,2	1,60	1,00	225	0,20	1,60	0,80
		6:00	1,80	0	8,3	40,0	350	0,2	1,60	1,00	165	0,20	1,60	0,80
	3. dan	8:30	1,80	0	8,3	32,0	600	0,2	1,60	1,00	200	0,20	1,60	0,80
		6:00	1,80	0	8,3	42,0	350	0,2	1,60	1,00	150	0,20	1,60	0,80
2. cikel	1. dan	9:40	1,80	0	8,3	26,0	820	0,2	1,60	1,00	270	0,20	1,60	0,80
		17:00	1,75	0	8,3	31,0	700	0,2	1,55	0,98	245	0,20	1,55	0,78
		6:00	1,80	0	8,3	36,0	470	0,2	1,60	1,00	200	0,20	1,60	0,80
	2. dan	9:30	1,80	0	7,0	31,0	710	0,2	1,60	1,00	235	0,20	1,60	0,80
		12:00	1,80	0	9,0	33,0	625	0,2	1,60	1,00	220	0,20	1,60	0,80
		16:00	1,70	0	9,0	35,0	565	0,2	1,50	0,95	195	0,20	1,50	0,75
		6:00	1,70	0	6,0	39,0	320	0,2	1,50	0,95	150	0,20	1,50	0,75
	3. dan	8:50	1,80	0	7,0	38,0	475	0,2	1,60	1,00	175	0,20	1,60	0,80
		17:00	1,80	0	9,0	39,5	425	0,1	1,70	0,95	175	0,15	1,65	0,83
5:40		1,80	0	8,8	42,0	320	0,0	1,80	0,90	150	0,00	1,80	0,90	
3. cikel	1. dan	9:00	1,80	0	9,0	28,5	700	0,2	1,60	1,00	240	0,20	1,60	0,80
		12:00	1,80	0	9,0	30,5	695	0,2	1,60	1,00	240	0,20	1,60	0,80
		15:00	1,80	0	9,0	33,5	625	0,2	1,60	1,00	225	0,20	1,60	0,80
		6:00	1,80	0	9,0	42,0	420	0,2	1,60	1,00	170	0,20	1,60	0,80
	2. dan	10:00	1,80	0	9,0	37,0	650	0,2	1,60	1,00	215	0,20	1,60	0,80
		12:00	1,80	0	9,0	37,5	630	0,2	1,60	1,00	215	0,20	1,60	0,80
		14:30	1,80	0	9,0	38,0	575	0,2	1,60	1,00	200	0,19	1,61	0,81
		6:00	1,80	0	9,0	39,0	520	0,2	1,60	1,00	170	0,20	1,60	0,80

Se nadaljuje

Nadaljevanje

Cikel	Dan	Ura	Skupni obratovalni parametri				Vsi moduli				Modul 1			
			pv	pp [bar]	pH	T	Q [L/h]	pi [bar]	P [bar]	Pm [bar]	Q1 [L/h]	pi1 [bar]	P1 [bar]	Pm1 [bar]
3. dan		8:50	1,80	0	9,0	38,0	620	0,2	1,60	1,00	200	0,20	1,60	0,80
		13:00	1,80	0	9,0	39,5	475	0,2	1,60	1,00	175	0,20	1,60	0,80
		16:00	1,80	0	9,0	40,0	460	0,2	1,60	1,00	175	0,20	1,60	0,80
		5:50	1,80	0	9,0	42,0	275	0,2	1,60	1,00	140	0,10	1,70	0,85

Preglednica 5: Izračuni in obratovalni parametri v času obratovanja modula 2 in modula 3-4 pri izstopnem tlaku 0,2 bar

Cikel	Dan	Ura	Modul 2				Modul 3-4			
			Q2 [L/h]	p2 [bar]	P2 [bar]	Pm2 [bar]	Q3-4 [L/h]	pi 3-4 [bar]	P3-4 [bar]	Pm3-4 [bar]
1. cikel	1. dan	13:00	370	0,20	1,60	0,80	170	0,20	1,60	0,80
		16:00	325	0,20	1,60	0,80	160	0,20	1,60	0,80
		6:15	250	0,20	1,60	0,80	150	0,20	1,60	0,80
	2. dan	9:10	320	0,20	1,55	0,78	170	0,20	1,55	0,78
		12:40	300	0,20	1,55	0,78	170	0,20	1,55	0,78
		15:00	285	0,20	1,60	0,80	170	0,20	1,60	0,80
		6:00	175	0,20	1,60	0,80	160	0,20	1,60	0,80
	3. dan	8:30	270	0,20	1,60	0,80	170	0,20	1,60	0,80
		6:00	200	0,20	1,60	0,80	150	0,20	1,60	0,80
2. cikel	1. dan	9:40	380	0,20	1,60	0,80	170	0,20	1,60	0,80
		17:00	315	0,20	1,55	0,78	160	0,20	1,55	0,78
		6:00	270	0,20	1,60	0,80	150	0,20	1,60	0,80
	2. dan	9:30	320	0,20	1,60	0,80	175	0,20	1,60	0,80
		12:00	275	0,20	1,60	0,80	170	0,20	1,60	0,80
		16:00	255	0,20	1,50	0,75	165	0,20	1,50	0,75
		6:00	180	0,20	1,50	0,75	150	0,20	1,50	0,75

Se nadaljuje

Nadaljevanje

Cikel	Dan	Ura	Modul 2				Modul 3-4			
			Q2 [L/h]	p2 [bar]	P2 [bar]	Pm2 [bar]	Q3-4 [L/h]	pi 3-4 [bar]	P3-4 [bar]	Pm3-4 [bar]
3. dan		8:50	240	0,20	1,60	0,80	175	0,20	1,60	0,80
		17:00	210	0,15	1,65	0,83	155	0,20	1,60	0,80
		5:40	170	0,00	1,80	0,90	140	0,20	1,60	0,80
3. cikel	1. dan	9:00	305	0,20	1,60	0,80	175	0,20	1,60	0,80
		12:00	295	0,20	1,60	0,80	175	0,20	1,60	0,80
		15:00	275	0,20	1,60	0,80	175	0,20	1,60	0,80
		6:00	220	0,10	1,70	0,85	160	0,20	1,60	0,80
	2. dan	10:00	275	0,20	1,60	0,80	175	0,20	1,60	0,80
		12:00	280	0,20	1,60	0,80	175	0,20	1,60	0,80
		14:30	260	0,19	1,61	0,81	170	0,20	1,60	0,80
		6:00	250	0,20	1,60	0,80	170	0,20	1,60	0,80
	3. dan	8:50	300	0,20	1,60	0,80	170	0,20	1,60	0,80
		13:00	255	0,20	1,60	0,80	165	0,20	1,60	0,80
		16:00	250	0,20	1,60	0,80	160	0,20	1,60	0,80
		5:50	195	0,10	1,70	0,85	145	0,20	1,60	0,80

Preglednica 5: Izračuni in obratovalni parametri v času obratovanja modula 5 in 6 ter skupnega fluksa in fluksa modula 1, 2 in 3-4 pri izstopnem tlaku 0,2 bar

Cikel	Dan	Ura	Modul 5				Modul 6				FLUKS [L/ m ² h]				
			Q5 [L/h]	pi5 [bar]	P5 [bar]	Pm5 [bar]	Q6 [L/h]	pi6 [bar]	P6 [bar]	Pm6 [bar]	J	J1	J2	J3-4	
1. cikel	1. dan	13:00	320	0,20	1,60	0,80	330	0,20	1,60	0,80	46,7	46,7	60,7	369,6	
		16:00	275	0,20	1,60	0,80	300	0,20	1,60	0,80	43,4	43,4	53,3	347,8	
		6:15	230	0,20	1,60	0,80	250	0,20	1,60	0,80	36,1	36,1	41,0	326,1	
	2. dan	9:10	270	0,20	1,55	0,78	300	0,20	1,55	0,78	42,6	42,6	52,5	369,6	
		12:40	250	0,20	1,55	0,78	270	0,20	1,55	0,78	36,1	36,1	49,2	369,6	
		15:00	235	0,20	1,60	0,80	260	0,20	1,60	0,80	36,9	36,9	46,7	369,6	
	3. dan	6:00	165	0,20	1,60	0,80	170	0,20	1,60	0,80	27,0	27,0	28,7	347,8	
		8:30	220	0,20	1,60	0,80	250	0,20	1,60	0,80	32,8	32,8	44,3	369,6	
			6:00	170	0,20	1,60	0,80	200	0,20	1,60	0,80	24,6	24,6	32,8	326,1
2. cikel	1. dan	9:40	300	0,20	1,60	0,80	330	0,20	1,60	0,80	44,3	44,3	62,3	369,6	
		17:00	255	0,20	1,55	0,78	280	0,20	1,55	0,78	40,2	40,2	51,6	347,8	
		6:00	220	0,20	1,60	0,80	250	0,20	1,60	0,80	32,8	32,8	44,3	326,1	
	2. dan	9:30	260	0,20	1,60	0,80	280	0,20	1,60	0,80	38,5	38,5	52,5	380,4	
		12:00	230	0,20	1,60	0,80	265	0,20	1,60	0,80	36,1	36,1	45,1	369,6	
		16:00	215	0,20	1,50	0,75	245	0,20	1,50	0,75	32,0	32,0	41,8	358,7	
	3. dan	6:00	170	0,20	1,50	0,75	170	0,20	1,50	0,75	24,6	24,6	29,5	326,1	
		8:50	210	0,20	1,60	0,80	225	0,20	1,60	0,80	28,7	28,7	39,3	380,4	
		17:00	180	0,15	1,65	0,83	180	0,15	1,65	0,83	28,7	28,7	34,4	337,0	
			5:40	150	0,00	1,80	0,90	150	0,00	1,80	0,90	24,6	24,6	27,9	304,3
	3. cikel	1. dan	9:00	250	0,22	1,58	0,79	275	0,20	1,60	0,80	39,3	39,3	50,0	380,4
12:00			250	0,22	1,58	0,79	265	0,22	1,58	0,79	39,3	39,3	48,4	380,4	
15:00			240	0,21	1,59	0,80	260	0,22	1,58	0,79	36,9	36,9	45,1	380,4	
6:00			200	0,10	1,70	0,85	220	0,10	1,70	0,85	27,9	27,9	36,1	347,8	

Se nadaljuje

Nadaljevanje

Cikel	Dan	Ura	Modul 5				Modul 6				FLUKS [L/ m ² h]			
			Q5 [L/h]	pi5 [bar]	P5 [bar]	Pm5 [bar]	Q6 [L/h]	pi6 [bar]	P6 [bar]	Pm6 [bar]	J	J1	J2	J3-4
2. dan		10:00	245	0,21	1,59	0,80	275	0,20	1,60	0,80	35,2	35,2	45,1	380,4
		12:00	230	0,21	1,59	0,80	265	0,20	1,60	0,80	35,2	35,2	45,9	380,4
		14:30	220	0,21	1,59	0,80	250	0,20	1,60	0,80	32,8	32,8	42,6	369,6
		6:00	200	0,20	1,60	0,80	220	0,20	1,60	0,80	27,9	27,9	41,0	369,6
3. dan		8:50	240	0,20	1,60	0,80	270	0,20	1,60	0,80	32,8	32,8	49,2	369,6
		13:00	205	0,20	1,60	0,80	250	0,20	1,60	0,80	28,7	28,7	41,8	358,7
		16:00	205	0,20	1,60	0,80	240	0,20	1,60	0,80	28,7	28,7	41,0	347,8
		5:50	170	0,10	1,70	0,85	200	0,10	1,70	0,85	23,0	23,0	32,0	315,2

Preglednica 6: Izračuni fluksa modula 5 in 6, permeabilnosti in mašenja posameznega modula pri izstopnem tlaku 0,2 bar

Cikel	Dan	Ura	FLUKS [L/ m ² h]		PERMEABILNOST [1/(m ² h bar)]						MAŠENJE V CIKLU [%]					
			J5	J6	Lp	Lp1	Lp2	Lp3-4	Lp5	Lp6	Vsi	M1	M2	M3-4	M5	M6
1.cikel	1. dan	13:00	52,5	54,1	46,7	58,4	75,8	462,0	65,6	67,6						
		16:00	45,1	49,2	43,4	54,3	66,6	434,8	56,4	61,5	7,0%	7,0%	5,9%	5,9%	14,1%	9,1%
		6:15	37,7	41,0	36,1	45,1	51,2	407,6	47,1	51,2	22,8%	22,8%	11,8%	11,8%	28,1%	24,2%
	2. dan	9:10	44,3	49,2	43,7	55,0	67,7	476,9	57,1	63,5	8,8%	8,8%	0,0%	0,0%	15,6%	9,1%
		12:40	41,0	44,3	37,0	46,5	63,5	476,9	52,9	57,1	22,8%	22,8%	0,0%	0,0%	21,9%	18,2%
		15:00	38,5	42,6	36,9	46,1	58,4	462,0	48,2	53,3	21,1%	21,1%	0,0%	0,0%	26,6%	21,2%
	3. dan	6:00	27,0	27,9	27,0	33,8	35,9	434,8	33,8	34,8	42,1%	42,1%	5,9%	5,9%	48,4%	48,5%
		8:30	36,1	41,0	32,8	41,0	55,3	462,0	45,1	51,2	29,8%	29,8%	0,0%	0,0%	31,3%	24,2%
		6:00	27,9	32,8	24,6	30,7	41,0	407,6	34,8	41,0	47,4%	47,4%	11,8%	11,8%	46,9%	39,4%
2.cikel	1. dan	9:40	49,2	54,1	44,3	55,3	77,9	462,0	61,5	67,6						
		17:00	41,8	45,9	41,2	51,8	66,6	448,8	53,9	59,2	9,3%	9,3%	17,1%	5,9%	15,0%	15,2%
		6:00	36,1	41,0	32,8	41,0	55,3	407,6	45,1	51,2	25,9%	25,9%	28,9%	11,8%	26,7%	24,2%

Se nadaljuje

Nadaljevanje

Cikel	Dan	Ura	FLUKS [L/ m ² h]		PERMEABILNOST [1/(m ² h bar)]						MAŠENJE V CIKLU [%]					
			J5	J6	Lp	Lp1	Lp2	Lp3-4	Lp5	Lp6	Vsi	M1	M2	M3-4	M5	M6
2. dan		9:30	42,6	45,9	38,5	48,2	65,6	475,5	53,3	57,4	13,0%	13,0%	15,8%	-2,9%	13,3%	15,2%
		12:00	37,7	43,4	36,1	45,1	56,4	462,0	47,1	54,3	18,5%	18,5%	27,6%	0,0%	23,3%	19,7%
		16:00	35,2	40,2	33,6	42,6	55,7	478,3	47,0	53,6	27,8%	27,8%	32,9%	2,9%	28,3%	25,8%
		6:00	27,9	27,9	25,9	32,8	39,3	434,8	37,2	37,2	44,4%	44,4%	52,6%	11,8%	43,3%	48,5%
3. dan		8:50	34,4	36,9	28,7	35,9	49,2	475,5	43,0	46,1	35,2%	35,2%	36,8%	-2,9%	30,0%	31,8%
		17:00	29,5	29,5	30,2	34,8	41,7	421,2	35,8	35,8	35,2%	35,2%	44,7%	8,8%	40,0%	45,5%
		5:40	24,6	24,6	27,3	27,3	31,0	380,4	27,3	27,3	44,4%	44,4%	55,3%	17,6%	50,0%	54,5%
3. cikel	1. dan	9:00	41,0	45,1	39,3	49,2	62,5	475,5	51,9	56,4						
		12:00	41,0	43,4	39,3	49,2	60,5	475,5	51,9	55,0	0,0%	0,0%	3,3%	0,0%	0,0%	3,6%
		15:00	39,3	42,6	36,9	46,1	56,4	475,5	49,5	54,0	6,3%	6,3%	9,8%	0,0%	4,0%	5,5%
		6:00	32,8	36,1	27,9	34,8	42,4	434,8	38,6	42,4	29,2%	29,2%	27,9%	8,6%	20,0%	20,0%
	2. dan	10:00	40,2	45,1	35,2	44,1	56,4	475,5	50,5	56,4	10,4%	10,4%	9,8%	0,0%	2,0%	0,0%
		12:00	37,7	43,4	35,2	44,1	57,4	475,5	47,4	54,3	10,4%	10,4%	8,2%	0,0%	8,0%	3,6%
		14:30	36,1	41,0	32,8	40,7	52,9	462,0	45,4	51,2	16,7%	16,7%	14,8%	2,9%	12,0%	9,1%
		6:00	32,8	36,1	27,9	34,8	51,2	462,0	41,0	45,1	29,2%	29,2%	18,0%	2,9%	20,0%	20,0%
	3. dan	8:50	39,3	44,3	32,8	41,0	61,5	462,0	49,2	55,3	16,7%	16,7%	1,6%	2,9%	4,0%	1,8%
		13:00	33,6	41,0	28,7	35,9	52,3	448,4	42,0	51,2	27,1%	27,1%	16,4%	5,9%	18,0%	9,1%
		16:00	33,6	39,3	28,7	35,9	51,2	434,8	42,0	49,2	27,1%	27,1%	18,0%	9,1%	18,0%	12,7%
		5:50	27,9	32,8	23,0	27,0	37,6	394,0	32,8	38,6	41,7%	41,7%	36,1%	18,8%	32,0%	27,3%

PRILOGA G

DNEVNIK VZORČENJ IN ANALIZ UČINKA KONVENCIONALNEGA IN LAMELNEGA USEDALNIKA

Preglednica 1: Dnevnik vzorčenj

Datum vzorčenja	Ura odvzema vzorca	Oznaka poskusa	Pretok [L/h]	Vzorec	Odpadne vode	Lamele		Datum analize		
						Z	Brez	KPK	SS	DELCI
19.4.12	9:30 - 12:30	P1	100	Vtok		x		19.4.12	/	/
19.4.12	12:30		100	Iztok1		x		19.4.12	/	/
19.4.12	13:30		100	Iztok2		x		19.4.12	/	/
24.4.12	8:35 - 11:35	P2	100	Vtok		x		24.4.12	/	/
24.4.12	11:35		100	Iztok1		x		24.4.12	/	/
24.4.12	12:35		100	Iztok2		x		24.4.12	/	/
13.5.12	8:30 - 10:30	P3	200	Vtok	Livarna KP (750)	x		13.5.12	/	/
13.5.12	10:30		200	Iztok1		x		13.5.12	/	/
13.5.12	11:30		200	Iztok2		x		13.5.12	/	/
14.5.12	8:30 - 11:30	P4	100	Vtok	Livarna SPI (penjenje)	x		14.5.12	/	/
14.5.12	11:30		100	Iztok1		x		14.5.12	/	/
14.5.12	12:30		100	Iztok2		x		14.5.12	/	/
20.5.12	8:45 - 12:45	P5	70	Vtok	Livarna KP (2150)	x		20.5.12	/	/
20.5.12	12:45		70	Iztok1		x		20.5.12	/	/
20.5.12	13:45		70	Iztok2		x		20.5.12	/	/
21.5.12	9:00 - 12:00	P6	100	Vtok	Livarna KP (2150)	x		21.5.12	/	/
21.5.12	12:00		100	Iztok1		x		21.5.12	/	/
21.5.12	13:00		100	Iztok2		x		21.5.12	/	/

Se nadaljuje

Nadaljevanje

Datum vzorčenja	Ura odvzema vzorca	Oznaka poskusa	Pretok [L/h]	Vzorec	Odpadne vode	Lamele		KPK	Datum analize	
						Z	Brez		SS	DELCI
22.5.12	8:20 - 12:20	P7	70	Vtok	Livarna KP (2150) - US 620	x		22.5.12	/	/
22.5.12	12:20		70	Iztok1		x		22.5.12	/	/
22.5.12	13:20		70	Iztok2		x		22.5.12	/	/
22.5.12	14:30 - 16:30	P8	200	Vtok	Livarna KP (2150) - US 620	x		22.5.12	/	/
22.5.12	16:30		200	Iztok1		x		22.5.12	/	/
22.5.12	17:30		200	Iztok2		x		22.5.12	/	/
10.9.12	9:00 - 11:00	P9	200	Vtok	Livarna KP (1400/1)		x	10.9.12	13.10.12	14.10.12
10.9.12	11:00		200	Iztok1			x	10.9.12	13.10.12	14.10.12
10.9.12	12:00		200	Iztok2			x	10.9.12	13.10.12	14.10.12
11.9.12	8:50 - 10:50	P10	200	Vtok	Livarna KP (1400/1)	x		11.9.12	13.10.12	14.10.12
11.9.12	10:50		200	Iztok1		x		11.9.12	13.10.12	14.10.12
11.9.12	11:50		200	Iztok2		x		11.9.12	13.10.12	14.10.12
12.9.12	8:30 - 11:30	P11	100	Vtok	Livarna KP (1400/1)	x		12.9.12	13.10.12	14.10.12
12.9.12	11:30		100	Iztok1		x		12.9.12	13.10.12	14.10.12
12.9.12	12:30		100	Iztok2		x		12.9.12	13.10.12	14.10.12
16.9.12	8:20 - 11:20	P12	100	Vtok	Livarna KP (1400/1) + sledi Livarna SPI		x	16.9.12	19.9.12	20.9.12
16.9.12	11:20		100	Iztok1			x	16.9.12	19.9.12	20.9.12
16.9.12	12:20		100	Iztok2			x	16.9.12	19.9.12	20.9.12
16.9.12	13:15 - 15:15	P13	200	Vtok	Livarna KP (1400/1)		x	16.9.12	19.9.12	20.9.12
16.9.12	15:15		200	Iztok1			x	16.9.12	19.9.12	20.9.12
16.9.12	16:15		200	Iztok2			x	16.9.12	19.9.12	20.9.12

Se nadaljuje

Nadaljevanje

Datum vzorčenja	Ura odvzema vzorca	Oznaka poskusa	Pretok [L/h]	Vzorec	Odpadne vode	Lamele		KPK	Datum analize	
						Z	Brez		SS	DELCl
17.9.12	8:40 - 12:40	P14	70	Vtok	Livarna KP (1400/1)		x	17.9.12	19.9.12	20.9.12
17.9.12	12:40		70	Iztok1			x	17.9.12	19.9.12	20.9.12
17.9.12	13:40		70	Iztok2			x	17.9.12	19.9.12	20.9.12
18.9.12	8:45 - 12:45	P15	70	Vtok	Livarna KP (1400/1)		x	18.9.12	19.9.12	20.9.12
18.9.12	12:45		70	Iztok1			x	18.9.12	19.9.12	20.9.12
18.9.12	13:45		70	Iztok2			x	18.9.12	19.9.12	20.9.12
27.9.12	11:50 - 14:50	P16	100	Vtok	Livarna KP (1000/1) - Ultra Safe 620		x	/	29.9.12	29.9.12
27.9.12	14:50		100	Iztok1			x	/	29.9.12	29.9.12
27.9.12	15:50		100	Iztok2			x	/	29.9.12	29.9.12
27.9.12	8:30 - 10:30	P17	200	Vtok	Livarna KP (1400/1)		x	/	29.9.12	29.9.12
27.9.12	10:30		200	Iztok1			x	/	29.9.12	29.9.12
27.9.12	11:30		200	Iztok2			x	/	29.9.12	29.9.12
28.9.12	8:35 - 11:35	P18	100	Vtok	Livarna KP (750)		x	/	29.9.12	29.9.12
28.9.12	11:35		100	Iztok1			x	/	29.9.12	29.9.12
28.9.12	12:35		100	Iztok2			x	/	29.9.12	29.9.12
2.10.12	12:05 - 16:05	P19	70	Vtok	Livarna KP	x		/	5.10.12	x
2.10.12	16:05		70	Iztok1		x		/	5.10.12	x
2.10.12	17:05		70	Iztok2		x		/	5.10.12	x
3.10.12	15:50 - 17:50	P20	200	Vtok	Livarna KP (1400/2)	x		/	5.10.12	x
3.10.12	17:50		200	Iztok1		x		/	5.10.12	x
3.10.12	18:50		200	Iztok2		x		/	5.10.12	x

Se nadaljuje

Nadaljevanje

Datum vzorčenja	Ura odvzema vzorca	Oznaka poskusa	Pretok [L/h]	Vzorec	Odpadne vode	Lamele		KPK	Datum analize	
						Z	Brez		SS	DELCI
3.10.12	8:50 - 11:50	P21	100	Vtok	Livarna KP (1400/2, 750)	x		/	5.10.12	x
3.10.12	11:50		100	Iztok1		x		/	5.10.12	x
3.10.12	12:50		100	Iztok2		x		/	5.10.12	x
4.10.12	12:20 - 16:20	P22	70	Vtok	Livarna KP (1400/2)	x		/	5.10.12	x
4.10.12	16:20		70	Iztok1		x		/	5.10.12	x
4.10.12	17:20		70	Iztok2		x		/	5.10.12	x
23.10.12	8:45 - 11:45	P23	100	Vtok	Livarna KP (1400/1, 1400/2)	x		/	26.10.12	30.10.12
23.10.12	11:45		100	Iztok1		x		/	26.10.12	30.10.12
23.10.12	12:45		100	Iztok2		x		/	26.10.12	30.10.12
23.10.12	13:15 - 17:35	P24	70	Vtok	Livarna KP (1400/1, 1400/2)	x		/	26.10.12	30.10.12
23.10.12	17:35		70	Iztok1		x		/	26.10.12	30.10.12
23.10.12	18:35		70	Iztok2		x		/	26.10.12	30.10.12
24.10.12	9:00 - 11:00	P25	200	Vtok	Livarna KP (1400/1, 1400/2) - Ultra Safe 620	x		/	26.10.12	30.10.12
24.10.12	11:00		200	Iztok1		x		/	26.10.12	30.10.12
24.10.12	12:00		200	Iztok2		x		/	26.10.12	30.10.12
24.10.12	13:15 - 15:15	P26	200	Vtok	Livarna KP (1400/1, 1400/2) - Ultra Safe 620	x		/	26.10.12	30.10.12
24.10.12	15:15		200	Iztok1		x		/	26.10.12	30.10.12
24.10.12	16:15		200	Iztok2		x		/	26.10.12	30.10.12
25.10.12	9:00 - 11:00	P27	200	Vtok	Livarna KP (1400/1, 1400/2)	x		/	26.10.12	26.10.12
25.10.12	11:00		200	Iztok1		x		/	26.10.12	26.10.12
25.10.12	12:00		200	Iztok2		x		/	26.10.12	26.10.12

Se nadaljuje

Nadaljevanje

Datum vzorčenja	Ura odvzema vzorca	Oznaka poskusa	Pretok [L/h]	Vzorec	Odpadne vode	Lamele		KPK	Datum analize	
						Z	Brez		SS	DELCI
29.10.12	8:20 - 10:20	P28	200	Vtok	Livarna KP (1400/2)	x		/	30.10.12	30.10.12
29.10.12	10:20		200	Iztok1		x		/	30.10.12	30.10.12
29.10.12	11:20		200	Iztok2		x		/	30.10.12	30.10.12
29.10.12	12:30 - 14:30	P29	200	Vtok	Livarna KP (1400/2)	x		/	30.10.12	30.10.12
29.10.12	14:30		200	Iztok1		x		/	30.10.12	30.10.12
29.10.12	15:30		200	Iztok2		x		/	30.10.12	30.10.12
29.10.12	16:45 - 18:45	P30	200	Vtok	Livarna KP (1400/2)	x		/	30.10.12	30.10.12
29.10.12	18:45		200	Iztok1		x		/	30.10.12	30.10.12
29.10.12	19:45		200	Iztok2		x		/	30.10.12	30.10.12
19.11.12	8:15 - 12:15	P31	70	Vtok	Livarna KP (700 + 750)		x	/	22.11.12	24.11.12
19.11.12	12:15		70	Iztok1			x	/	22.11.12	23.11.12
19.11.12	13:15		70	Iztok2			x	/	22.11.12	24.11.12
19.11.12	14:00 - 17:00	P32	100	Vtok	Livarna KP (700 + 750)		x	/	22.11.12	24.11.12
19.11.12	17:00		100	Iztok1			x	/	22.11.12	24.11.12
19.11.12	18:00		100	Iztok2			x	/	22.11.12	24.11.12
19.11.12	18:45 - 20:45	P33	200	Vtok	Livarna KP (700 + 750)		x	/	22.11.12	24.11.12
19.11.12	20:45		200	Iztok1			x	/	22.11.12	24.11.12
19.11.12	21:45		200	Iztok2			x	/	22.11.12	24.11.12
20.11.12	8:20 - 10:20	P34	200	Vtok	Livarna KP (700 + 1000/1)		x	/	22.11.12	24.11.12
20.11.12	10:20		200	Iztok1			x	/	22.11.12	24.11.12
20.11.12	11:20		200	Iztok2			x	/	22.11.12	24.11.12

Se nadaljuje

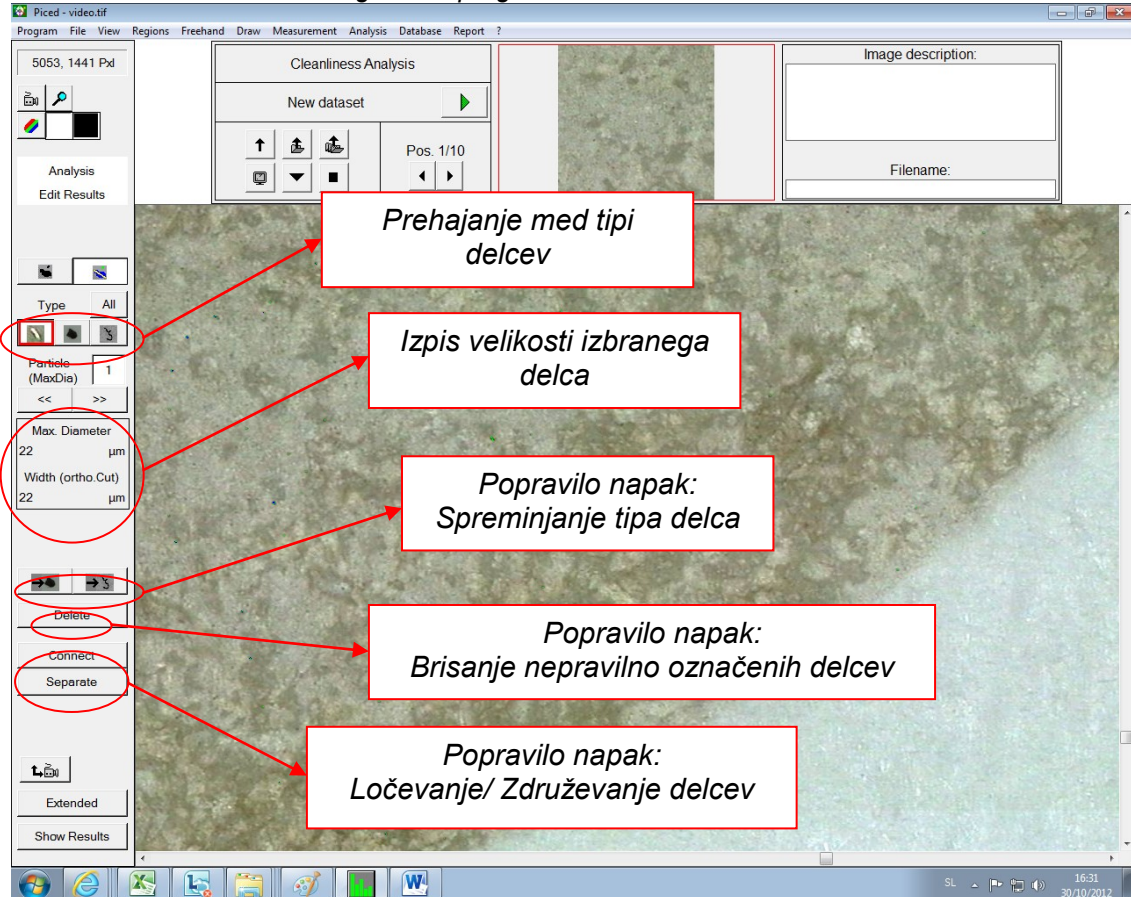
Nadaljevanje

Datum vzorčenja	Ura odvzema vzorca	Oznaka poskusa	Pretok [L/h]	Vzorec	Odpadne vode	Lamele		KPK	Datum analize	
						Z	Brez		SS	DELCI
20.11.12	12:40 - 16:40	P35	70	Vtok	Livarna KP (700 + 1000/1)		x	/	22.11.12	24.11.12
20.11.12	16:40		70	Iztok1			x	/	22.11.12	24.11.12
20.11.12	17:40		70	Iztok2			x	/	22.11.12	24.11.12
20.11.12	18:10 - 20:10	P36	200	Vtok	Livarna KP (700 + 1000/1)		x	/	22.11.12	22.11.12
20.11.12	20:10		200	Iztok1			x	/	22.11.12	22.11.12
20.11.12	21:10		200	Iztok2			x	/	22.11.12	22.11.12
21.11.12	8:15 - 10:15	P37	200	Vtok	Livarna KP (2150)		x	/	22.11.12	24.11.12
21.11.12	10:15		200	Iztok1			x	/	22.11.12	24.11.12
21.11.12	11:15		200	Iztok2			x	/	22.11.12	24.11.12
21.11.12	12:00 - 14:00	P38	200	Vtok	Livarna KP (2150)		x	/	22.11.12	24.11.12
21.11.12	14:00		200	Iztok1			x	/	22.11.12	24.11.12
21.11.12	15:00		200	Iztok2			x	/	22.11.12	24.11.12
21.11.12	16:15 - 20:15	P39	70	Vtok	Livarna KP (2150)	x		/	22.11.12	24.11.12
21.11.12	20:15		70	Iztok1			x	/	22.11.12	24.11.12
21.11.12	21:15		70	Iztok2			x	/	22.11.12	24.11.12

PRILOGA H

DELOVNO OKNO PROGRAMA ZA ANALIZO DELCEV

Slika 1: Predstavitev delovnega okna programa za analizo delcev



PRILOGA I

KATEGORIZACIJA DELCEV V VZORCIH VTOKA IN IZTOKA

Konvencionalni usedalnik

Preglednica 1: Koncentracija delcev [število/ L] pri $\tau = 3$ h v konvencionalnem usedalniku

	Kategorija velikosti [μm]	Vtok			Iztok 1			Iztok 2		
		K	S	N	K	S	N	K	S	N
P14	50-100	50	1539	1489	71	811	740	55	713	658
	100-150	50	149	99	0	176	176	0	110	110
	150-200	0	110	99	35	71	35	0	55	55
	200-400	0	50	50	0	212	212	0	164	164
	400-600	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	600-1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	> 50	99	1847	1737	106	1269	1164	55	1042	987
P15	50-100	48	479	431	43	261	217	0	311	311
	100-150	48	144	96	43	43	0	0	104	104
	150-200	0	0	0	0	87	87	0	104	104
	200-400	0	48	48	0	43	43	0	0	0
	400-600	0	0	0	0	43	43	0	0	0
	600-1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	> 50	96	670	575	87	478	391	0	518	518
P31	50-100	909	58116	57207	26	19427	19400	147	16123	15975
	100-150	27	1764	1738	0	445	445	25	613	589
	150-200	0	270	294	0	0	0	0	74	74
	200-400	0	160	160	0	0	0	0	49	49
	400-600	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	600-1000	0	27	27	0	0	0	0	0	0
	>1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	> 50	936	60337	59426	26	19872	19846	172	16859	16687
P35	50-100	136	12521	12385	0	1694	1694	23	1268	1245
	100-150	0	998	998	0	72	72	0	68	68
	150-200	0	113	113	0	0	0	0	68	68
	200-400	0	23	23	0	0	0	0	23	23
	400-600	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	600-1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	> 50	136	13655	13519	0	1766	1766	23	1426	1403

Preglednica 3: Koncentracija delcev [število/ L] pri $\tau = 1$ h v konvencionalnem usedalniku

	Kategorija velikosti [μm]	Vtok			Iztok 1			Iztok 2		
		K	S	N	K	S	N	K	S	N
P9	50-100	300	3750	3450	404	4449	4045	326	1678	1352
	100-150	225	600	375	135	539	404	47	47	0
	150-200	75	186	225	67	135	67	0	47	47
	200-400	150	300	150	135	404	270	0	0	0
	400-600	0	0	0	67	135	67	0	0	0
	600-1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P13	50-100	41	1391	1351	0	2554	2554	0	812	812
	100-150	0	205	205	0	479	479	0	85	85
	150-200	0	43	41	0	319	319	0	85	85
	200-400	0	0	0	40	239	200	0	85	85
	400-600	0	0	0	0	0	0	0	43	43
	600-1000	0	41	41	0	0	0	0	43	43
	>1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P17	50-100	1141	35045	33904	657	13243	12586	353	16700	16347
	100-150	489	5216	4727	0	1970	1970	0	1529	1529
	150-200	326	1411	1630	109	1313	1204	118	706	588
	200-400	326	2119	1793	0	766	766	118	706	588
	400-600	0	489	489	0	219	219	0	0	0
	600-1000	0	0	0	0	219	219	0	0	0
	>1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P33	50-100	1594	13813	12219	0	2953	2953	42	2054	2012
	100-150	266	1306	1040	0	127	127	0	64	64
	150-200	0	275	288	0	0	0	0	0	0
	200-400	22	266	243	0	0	0	0	0	0
	400-600	0	22	22	0	0	0	0	0	0
	600-1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P34	50-100	197	5089	4892	125	1647	1522	0	1142	1142
	100-150	22	263	241	0	83	83	0	145	145
	150-200	0	104	110	0	0	0	0	21	21
	200-400	0	88	88	0	0	0	0	0	0
	400-600	0	0	0	0	0	0	21	21	0
	600-1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Se nadaljuje

Lamelni usedalnik

Preglednica 4: Koncentracija delcev [število/ L] pri $\tau = 3$ h v lamelnem usedalniku

	Kategorija velikosti [μm]	Vtok			Iztok 1			Iztok 2		
		K	S	N	K	S	N	K	S	N
P19	50-100	0	3387	3387	100	2788	2688	0	1871	1871
	100-150	0	551	551	0	996	996	0	732	732
	150-200	0	0	0	0	199	199	0	488	488
	200-400	0	236	236	0	0	0	0	163	163
	400-600	0	79	79	0	0	0	0	0	0
	600-1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P22	50-100	81	566	485	0	463	463	28	168	140
	100-150	0	445	445	0	82	82	0	0	0
	150-200	0	56	81	0	0	0	28	84	56
	200-400	0	162	162	0	27	27	0	0	0
	400-600	0	40	40	0	0	0	0	0	0
	600-1000	0	81	81	0	0	0	0	0	0
	>1000	0	40	40	0	0	0	0	0	0
P24	50-100	0	1440	1440	52	365	313	0	350	350
	100-150	0	53	53	0	157	157	0	300	300
	150-200	0	0	0	0	52	52	0	0	0
	200-400	0	0	0	0	52	52	0	50	50
	400-600	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	600-1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P39	50-100	37	6470	6433	78	701	623	95	477	381
	100-150	74	744	669	39	195	156	0	95	95
	150-200	0	286	223	0	0	0	0	0	0
	200-400	0	446	446	0	0	0	0	0	0
	400-600	0	186	186	0	0	0	0	0	0
	600-1000	0	372	372	0	0	0	0	0	0
	>1000	0	223	223	0	0	0	0	0	0

Preglednica 5: Koncentracija delcev [število/ L] pri $\tau = 2$ h v lamelnem usedalniku

	Kategorija velikosti [μm]	Vtok			Iztok 1			Iztok 2		
		K	S	N	K	S	N	K	S	N
P11	50-100	185	3830	3644	65	848	783	0	697	697
	100-150	0	309	309	0	65	65	58	232	174
	150-200	0	58	62	0	65	65	0	58	58
	200-400	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	400-600	0	62	62	0	0	0	0	0	0
	600-1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P21	50-100	113	1982	1870	92	794	702	22	1086	1064
	100-150	90	270	180	0	61	61	22	199	177
	150-200	90	133	45	0	31	31	0	89	89
	200-400	45	405	360	0	31	31	0	0	0
	400-600	0	158	158	0	0	0	0	0	0
	600-1000	0	135	135	0	0	0	0	0	0
	>1000	0	68	68	0	0	0	0	0	0
P23	50-100	0	2770	2770	0	520	520	0	491	491
	100-150	49	243	194	0	116	116	49	98	49
	150-200	0	0	0	0	58	58	0	49	49
	200-400	0	97	97	0	116	116	0	0	0
	400-600	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	600-1000	0	49	49	0	0	0	0	0	0
	>1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Preglednica 6: Koncentracija delcev [število/ L] pri $\tau = 1$ h v lamelnem usedalniku

	Kategorija velikosti [μm]	Vtok			Iztok 1			Iztok 2		
		K	S	N	K	S	N	K	S	N
P10	50-100	112	1397	1285	54	536	483	136	884	748
	100-150	56	112	56	107	215	107	204	204	0
	150-200	0	68	56	0	54	54	0	136	136
	200-400	0	0	0	0	0	0	204	340	136
	400-600	0	0	0	0	0	0	0	68	68
	600-1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P20	50-100	80	1043	963	433	924	491	50	324	274
	100-150	0	53	53	58	87	29	25	100	75
	150-200	27	75	53	0	29	29	0	25	25
	200-400	0	53	53	0	58	58	0	25	25
	400-600	0	27	27	0	0	0	0	25	25
	600-1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0

se nadaljuje

