



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HODPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

INTENZIFIKACE PRŮMYSLOVÉ ČOV V
AREÁLU BOSCH DIESEL, S.R.O.

INTENSIFICATION OF INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT PLANT IN
THE AREA OF BOSCH DIESEL, S. R. O.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

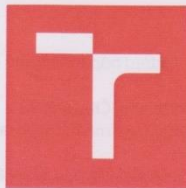
IVO KOLÁČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. PETR HLAVÍNEK, CSc.,
MBA

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM	B3607 Stavební inženýrství
TYP STUDIJNÍHO PROGRAMU	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
STUDIJNÍ OBOR	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
PRACOVISTĚ	Ústav vodního hospodářství obcí

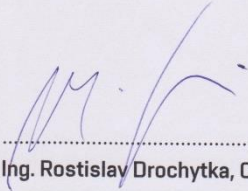
ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

STUDENT	Ivo Koláček
NÁZEV	Intenzifikace průmyslové ČOV v areálu BOSCH Diesel, s.r.o.
VEDOUcí BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA
DATUM ZADÁNÍ	30. 11. 2016
DATUM ODEVZDÁNÍ	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016


doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu




prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- [1] HLAVÍNEK P., NOVOTNÝ D. Intenzifikace čistění odpadních vod [online]. Brno: ARDEC, 1996 [cit. 2016-11-29]. ISBN 80-86020-01-0.
- [2] PLOTČNÝ K. Intenzifikace čistění odpadních vod, ČKAIT, 2013.
- [3] METCALF & EDDY. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse (4th Edition ed.), McGRAW-HILL, 2001, ISBN 0-07-041878-0.
- [4] Malý J., Hlavínek P.: Čistění průmyslových odpadních vod, ISBN 80-86020-05-3, NOEL 2000, Brno 1996
- [5] Manual of practice FD-3: Industrial Wastewater Management, Treatment and Disposal, WEF, ISBN 978-0-07-159238-3.
- [6] Sborníky Water Science and Technology, IWA Publishing
- [7] Časopisy SOVAK, VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

Bakalářská práce bude zaměřena na problematiku čistění průmyslových odpadních vod. V první části práce bude zpracován přehled problematiky a přehled používaných postupů a technologií. V druhé části práce bude zpracován návrh intenzifikace ČOV v areálu BOSCH Diesel, s.r.o. Podklady si student zajistí po dohodě s vedoucím práce v rámci bakalářského semináře. Při zpracování textů, výpočtů a výkresové části dokumentace bude v maximální míře využita výpočetní technika.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Tato práce se věnuje posouzení ČOV před intenzifikací a rozhoduje, zda volba intenzifikace byla zvolena jako správné řešení. Další část se již věnuje ČOV po intenzifikaci a posouzení správnosti jejího návrhu. Dále se věnuje možnostem zpětného využívání vyčištěné odpadní vody a tím ke vzniku finančních úspor. Poslední část nám nabízí varianty na zlepšení dočišťovacího efektu malé vodní nádrže, kam natékají vyčištěné odpadní vody z ČOV.

KLÍČOVÁ SLOVA

intenzifikace průmyslové čistírny odpadních vod, biologické způsoby čištění městských odpadních vod, membránová technologie, reverzní osmóza, intenzifikace malé vodní nádrže

ABSTRACT

This bachelor's thesis is about industrial wastewater treatment plant. The first part of thesis decides whether the choice of intensification was the right solution. The next part is about industrial wastewater treatment plant after intensification and decides about the correctness of the intensification. In the penultimate part is made a project for further use of purified water. The last part is giving options for improving cleaning efficiency in small reservoir.

KEYWORDS

intensification of the industrial wastewater treatment plant, Biological methods of urban wastewater treatment plant, Membrane technology, Reverse osmosis, Intensification of small reservoir

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Ivo Koláček *Intenzifikace průmyslové ČOV v areálu BOSCH Diesel, s.r.o.*. Brno, 2017. 89 s., 1 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA

PROHLÁŠENÍ

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 5. 2017

.....

podpis autora

Ivo Koláček

PODĚKOVÁNÍ

Především bych chtěl poděkovat své rodině za podporu při studiu, která mi umožnila dojít až k vypracování své bakalářské práce.

Také bych chtěl poděkovat vedoucímu práce panu prof. Ing. Petru Hlavínkovi, CSc., MBA za odborné vedení při jejím zpracovávání.

Dále bych chtěl velice poděkovat slečně Ing. Lence Sochorové a celé firmě Bosch Diesel za poskytnutí možnosti vypracovávat tuto bakalářskou práci a za přístup k požadovaným informacím.

OBSAH

1	ÚVOD	3
2	ÚVOD DO PROBLEMATIKY VZNIKU A ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD ..	4
2.1	Zdroje odpadních vod	4
2.1.1	Splaškové odpadní vody	4
2.1.2	Průmyslové odpadní vody	5
2.1.3	Balastní odpadní vody	6
2.1.4	Vody z intravilánu obce	6
2.1.5	Vody s obsahem léčiv	6
2.2	Způsoby čištění odpadní vody	7
2.2.1	Městské čištění odpadních vod	7
2.2.2	Průmyslové čištění odpadních vod	14
2.2.3	Přírodní způsoby čištění	22
3	ODPADNÍ VODY A JEJICH ČIŠTĚNÍ V AREÁLU FIRMY BOSCH DIESEL S. R. O.....	24
3.1	O firmě.....	24
3.1.1	Popis	24
3.1.2	Charakteristika závodů v Jihlavě	24
3.2	Závod III.....	25
3.2.1	Umístění	25
3.2.2	Situace závodu	25
3.2.3	Zdroje odpadních vod	26
3.2.4	Způsob současného čištění ov	27
3.2.5	Posouzení účinnosti flotačního zařízení	35
3.2.6	Posouzení účinnosti ČOV	37
3.2.7	Intenzifikace ČOV	45
3.2.8	Rizika ČOV po intenzifikaci	59
3.2.9	Dodatečná intenzifikace ČOV pro úpravu části vyčištěné odpadní vody na vodu chladicí	60
3.2.10	Současný stav dočišťovací (retenční) nádrže	65
3.2.11	Intenzifikace dočišťovací (retenční) nádrže	67
4	ZÁVĚR	72
5	POUŽITÉ ZDROJE	73
	SEZNAM TABULEK.....	76
	SEZNAM OBRÁZKŮ	78

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	80
SEZNAM PŘÍLOH.....	81
SUMMARY	82

1 ÚVOD

Jako téma mé závěrečné bakalářské práce jsem si zvolil intenzifikace čistírny odpadních vod v areálu průmyslového závodu v Jihlavě. Jedná se o strojírenský závod firmy Bosch Diesel s. r. o. Důvodem volby tohoto tématu byla možnost vypracování práce, která bude přínosná nejen pro rozvoj mých osobních dovedností v oboru vodní hospodářství a vodní stavby, ale bude mít uplatnění i ve zmiňovaném podniku strojírenského závodu a poukáže na jednu z nejlepších dostupných technologií čištění průmyslových odpadních vod na trhu.

Bakalářská práce nás v první řadě provede teoretickou částí čištění odpadních vod a jejich problematikou. Konkrétně se bude jednat o způsoby čištění městských odpadních vod, průmyslových odpadních vod a čištění za pomoci přírodních způsobů. Představíme si především technologie, které se vyskytují, či budou vyskytovat na průmyslovém závodě. Dále se seznámíme s průmyslovým areálem firmy, jeho funkcí, odpadními vodami vypouštěnými z areálu a způsobem jejich čištění. V dalším kroku provedeme posouzení stávající ČOV a rozhodneme, zda volba intenzifikace byla správným řešením. Následně provedeme ověření správnosti návrhu biologické části, technologického schématu a technologických parametrů zvolené technologie k intenzifikaci. Také si uvedeme možná rizika ČOV a podíváme se na nově instalované technologie po I. fázi intenzifikace. V předposlední části práce vytvoříme návrh pro dodatečnou intenzifikaci ČOV, která nám dovolí využívat vodu jako vodu chladicí. Na závěr nás čeká popis a intenzifikace dočišťovací nádrže, která po instalaci membrány získá svůj legislativní podíl na čištění odpadních vod.

2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY VZNIKU A ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

2.1 ZDROJE ODPADNÍCH VOD

Odpadní vody jsou vody, které přišly do kontaktu se znečištěním. Jako znečištění si můžeme představit jakékoliv produkty vzniklé lidskou činností. Podle původu je lze rozdělit na odpadní vody splaškové, průmyslové, balastní, vody z intravilánu obce a v neposlední řadě i vody, které obsahují zbytkové koncentrace látek obsažených v léčivech.

2.1.1 Splaškové odpadní vody

Jedná se především o znečištění z bytů, domů, hotelů, restaurací apod. Množství, které je následně vypouštěné, charakterizujeme jako specifické množství splaškových vod a udává se průměrná hodnota 150 l/obyv.den. Jedná se o téměř shodnou hodnotu se spotřebou vody. Látky, které jsou v těchto vodách obsažené, můžeme rozdělit podle původu do několika kategorií. Látky z pitné vody, produktů metabolismu a látky obsažené z činnosti člověka. Z pitné vody se jedná o soli kationtů Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ a aniontů HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- . Nejvýznamnější složkou jsou však produkty z metabolismu. Jejich průměrná produkce v g/obyv.den je uvedena v normě ČSN 75 6401 (viz Tab. 1) [1].

Tab. 1 Orientační hodnoty produkce specifického znečištění v g/d na 1 obyvatele (populační ekvivalent) [7]

Látky	Ukazatel specifického znečištění						
	Látky			Ostatní			
	Minerální	Organické	Veškeré	BSK ₅	CHSK	Ncelk	Pcelk
nerozpuštěné:							
a) usaditelné	10	30	40	20	40	1	0,2
b) neusaditelné	5	10	15	10	20	-	-
rozpuštěné	75	50	125	30	60	10	2,3
celkem	90	90	180	60	120	11	2,5

Z výše uvedené tabulky a průměrné hodnoty specifického množství, lze vypočítat předpokládané koncentrace znečištění od obyvatele za den. Při laboratorním měření se

zjistila průměrná hodnota BSK_5 rovna 400 mg/l a $CHSK_{Cr}$ rovna 800 mg/l. To odpovídá poměru 2:1 [1].

Z organických látek jsou zastoupeny sacharidy, lipidy a proteiny. Množství lipidů se udává v množství 15 g/obyv.den. Další látky, které tato odpadní voda obsahuje, jsou látky z moči. Jedná se o Na, K, Cl^- , P, S a močovinu [1].

Tab. 2 Množství jednotlivých látek obsažených v moči [1]

Látka	Na	K	Cl	P	S	močovina
g/obyv.den	5	2	9	1,2	2,7	20-30

Dalšími látkami jsou ionty ve zvýšeném množství. Důležité je také zmínit dusík, který je obsažen ze 46,6 % v močovině. Močovina se dále ve stokové síti rozkládá na amoniak, který tvoří většinový podíl v odpadních vodách. V odpadní vodě můžeme dále najít dusík organický a amoniakální. Obě formy se vyjadřují jako Kjeldahlův dusík (TKN). V závislosti na pH se můžeme setkat s amoniakálním dusíkem ve formě NH_3 , nebo NH_4 . Nižší pH se rovná NH_4 a vyšší pH plynnému NH_3 . Průměrná hodnota TKN se pohybuje okolo 40 mg/l. Z toho organický dusík tvoří asi 37,5 % a amoniakální dusík 62,5 %. V nízkých koncentracích také nacházíme N_2O , vzniklé mikrobiálními procesy z dusičnanu [1].

Další látkou je fosfor, který se nachází buď ve formě fosfátů, jehož původem je moč, anebo ve formě polyfosfátů obsažených v pracích prostředcích. Polyfosfáty tvoří většinový podíl [1].

V metabolitech jsou převládající sírany ze sloučenin síry. U organických sloučenin s obsahem síry může dojít k jejich rozložení mikrobiálním procesem v anaerobních podmínkách za vzniku sulfanů. Průměrná koncentrace se pohybuje v rozmezí 6 až 8 mg/l celkového dusíku. Procentuální podíl je téměř shodný jako u dusíku [1].

Minoritní látky pocházející z odpadních vod splaškových jsou indikan, histidin, aminokyseliny, kyselina močová, kyselina hippurová, kreatinin, skatol, urochrom – je indikátorem fekálního znečištění, steroidy a fenoly [1].

2.1.2 Průmyslové odpadní vody

Často se jedná o vody, které obsahují několik druhů vod. Konkrétně se jedná o vody splaškové, srážkové, chladicí a vody z výroby [1] [9].

Není možné obecně charakterizovat průmyslové odpadní vody. Vždy je nutné provést individuální rozbor vody z jednotlivých částí výroby. Primárně provádíme zkoušky, které ohrožují kanalizaci a čistírnu odpadních vod. Provádí se posouzení na látky toxické, hořlavé a výbušné. Množství, které lze vypustit do kanalizace je uvedeno v kanalizačním řádu. K vypouštění průmyslových odpadních vod do kanalizace se přistupuje téměř vždy individuálně [1] [9].

Také je nutné brát zřetel na látky vypouštěné z cukrovarů, pivovarů, mlékáren a dalších provozů. Tyto podniky navyšují hodnoty BSK₅ na 1000 mg/l až 4000 mg/l. Jedná se podobně jako u splaškových vod o látky biologicky rozložitelné. V průmyslových odpadních vodách je vytvořen takzvaný populační ekvivalent (PE), který udává znečištění těchto vod [1] [9].

Často můžeme také v odpadní vodě nalézt látky toxické a přitom biologicky rozložitelné. Jedná se o fenoly pocházející z petrochemického průmyslu, tepelného zpracování uhlí a dalších provozů. Pokud na čistírnu přivedeme nárazově i jednotky mg/l, dojde ke kolapsu čištění. Výhodiskem je postupné zvyšování dávky až do zapracování, kdy můžeme přivést i stovky mg/l [1].

Běžnou složkou bývají také produkty ze zpracování ropy. Charakterizujeme je jako nepolární extrahovatelné látky (NEL) [1] [9].

2.1.3 Balastní odpadní vody

Jedná se o vody s malým znečištěním, vnikající do stokové sítě různými netěsnostmi a poruchami na stoce. Jejich přítomnost způsobuje ředění odpadní vody a následně může způsobit problémy s biologickým čištěním na ČOV. Jde o situaci, kdy hodnota BSK₅ se dostane pod hranici 50 mg/l [1].

2.1.4 Vody z intravilánu obce

Jsou to převážně dešťové vody a vody z taje sněhu, které přichází do kontaktu s vozovkou. Udává se, že po dlouhém bezdeštném období lze první spláchnutí přirovnat kvalitou k vodám splaškovým.

2.1.5 Vody s obsahem léčiv

Jedná se o zvláštní kapitolu. Lze tyto vody zařadit do odpadních vod splaškových, jelikož jsou to látky vylučované lidským, případně živočišným organismem. Avšak současné čistírny si nejsou s tímto druhem znečištění schopné dostatečně poradit, proto je nutné se jim věnovat samostatně. Jedná se především o léčiva, bez kterých si současný život nedovedeme představit. Také však mezi ně můžeme zařadit látky z parfémů a čistících prostředků. Množství jednotlivých látek, které se dostanou do vody je sotva měřitelné, a i tak mohou mít vliv na lidský a živočišný organismus. Dlouhá léta se už také mluví o chemickém koktejlu a jeho účinků. Především se mluví o neúčinnosti léčiv, o poruchách imunity a chování.

Studie prováděná Masarykovou univerzitou odhalila, o jaké konkrétně látky se jedná a s kterými si čistírny odpadních vod nedokážou poradit. Jedná se o následující látky [3].

Ethinylestradiol, který pochází z antikoncepce. Do vody se dostává spolu s vylučovanou močí a již při velmi malém množství způsobuje změny ve vývoji pohlavních orgánů ryb. Antibiotika, způsobující v přírodě rezistenci bakterií na jejich účinky. Triclosan jako

přísada v drogách. Ibuprofen, který tlumí bolest a carbamazepin jako antileptikum. Glykosát, látka pocházející z herbicidu. Bisfenol A, narušující funkce hormonů [3].

Další studie byla prováděná Statním zdravotním ústavem mezi léty 2009-2011. Prováděl měření pěti látek. Jednalo se o naproxen, ibuprofen, diclofenac, carbamazepin, 17 α -ethinylestradiol. Měření probíhala v několika etapách. Odebírali se vzorky z vodovodů, kdy zdrojem vody byly podzemní vody, povrchové vody z horních toků a smíšené. Ani jeden nález nebyl větší než mez stanovitelnosti. V další etapě se zaměřili na kritická místa. Hodnotilo se 23 lokalit a nález byl pouze u třech. Z toho lze dojít k závěru, že výskyt léčiv ve vodách je u nás velmi nízký, ale lze předpokládat, že v jiných zemích a větších městech bude situace horší [4].

2.2 ZPŮSOBY ČIŠTĚNÍ ODPADNÍ VODY

Vzhledem k rozmanitosti odpadních vod je nutné vždy přistupovat k jednotlivým řešením čištění individuálně. Jsou určité rozdíly kvality vody, které udávají geografické poměry, emisní limity, lokální znečištění, typ vody atd. Není možné stručně popsat veškeré způsoby čištění. Proto se zaměříme pouze na některé způsoby čištění městských a průmyslových odpadních vod. Bude se jednat především o způsob čištění, který je v současné době využíván na ČOV v areálu průmyslového závodu, o kterém je celá tato bakalářská práce [1].

2.2.1 Městské čištění odpadních vod

Městské čistírny se snaží odstranit hrubé nečistoty, koloidní částice, suspendované látky, sloučeniny obsahující dusík a fosfor, biologicky rozložitelné látky a patogenní organismy [1].

Stanovení kvality vypouštěných vod

Při návrhu je vždy nutné stanovit maximální přítok na čistírnu odpadních vod, látkové zatížení a počet EO, pro který budeme navrhovat ČOV. Poté si podle nařízení vlády č. 401/2015 Sb. (tab. 3) zjistíme, jaké látky budeme muset odstraňovat a v jakých koncentracích je můžeme vypouštět do recipientu. Výsledkem toho je stanovení minimální účinnosti čištění, kterého je nutné dosáhnout a emisních hodnot, které nesmíme překročit. Také se stává, že i přes dodržení emisních hodnot dochází ke zhoršení kvality recipientu (imisní hodnoty) a je požadováno použití emisních hodnot a nejlepší technologie z přílohy č. 7 v nařízení vlády č. 401/2015 Sb. [1] [6].

Tab. 3 Emisní standardy pro vody vypouštěné z městské čistírny v mg/l [11]

Kategorie ČOV (EO) ¹⁾⁷⁾ nebo velikost aglomerace	CHSK _{Cr}		BSK ₅		NL		N-NH ₄ ⁺ *		N _{celk} ^{2),8)} *		P _{celk}	
	p ³⁾	m ⁴⁾	p ³⁾	m ⁴⁾	p ³⁾	m ⁴⁾	průměr ⁵⁾	m ⁴⁾ ·6)	průměr ⁵⁾	m ⁴⁾ ·6)	průměr ⁵⁾	m ⁴⁾
<500	150	220	40	80	50	80	-	-	-	-	-	-
500 - 2000	125	180	30	60	40	70	20	40	-	-	-	-
2001 -10000	120	170	25	50	30	60	15	30	-	-	3	8
10001 - 100000	90	130	20	40	25	50	-	-	15	30	2	6
> 100000	75	125	15	30	20	40	-	-	10	20	1	3

Přípustné hodnoty (p) – mohou být překročeny a v jakém množství nalezneme v příloze č. 5 tytéž normy; maximální hodnoty (m) – jejich překročení je nepřípustné. Podrobnější vysvětlení nalezneme v nařízení vlády č. 401/2015 Sb.

V dalším kroku si ukážeme jako příklad rovnice, pro výpočet účinnosti ČOV, kterých musíme dosáhnout a imisní hodnoty recipientu.

Výpočet účinnosti čištění, kterého musíme dosáhnout:

$$E = \frac{c_1 - c_2}{c_1} \cdot 100 \quad (2.1)$$

E...účinnost [%]

c₁...koncentrace znečištění na přítoku [mg/l, g/m³]

c₂... koncentrace znečištění na odtoku (emisní standardy) [mg/l, g/m³]

Výpočet imisních hodnot recipientu, po vypuštění vyčištěné vody z ČOV:

$$c_{rec1} = \frac{c_2 \cdot Q_{24} + c_{rec2} \cdot Q_{355}}{Q_{24} + Q_{355}} \quad (2.2)$$

c_{rec1}... koncentrace znečištění recipientu po smíšení s vodou z ČOV [mg/l, g/m³]

c_{rec2}... koncentrace znečištění toku před smíšením s vodou z ČOV [mg/l, g/m³]

c₂... koncentrace znečištění na odtoku (emisní standardy) [mg/l, g/m³]

Q₃₅₅... 355denní průtok [l/s]

Q₂₄... průměrný denní průtok [m³/den]

Dělení ČOV

Čistírny se dělí na mechanické, mechanicko-biologické a pouze biologické. Nejčastější variantou jsou právě mechanicko-biologické. Mechanické se nestavějí, jelikož jsou v současné době nevyhovující na minimální účinnost čištění [1] [7].

Mechanická část – lapák písku a šterku

Prvním krokem, který bývá umístěn na ČOV se nazývá hrubé předčištění. Jedná se o mechanickou část čistírny. Tento způsob čištění odděluje látky hrubé, makroskopické atd. Nečistoty sunoucí po dně zachycují lapáky písku a šterku. Lapáky se používají často u čističek bez usazovacích nádrží [1] [7].

Lapáky fungují na principu gravitačním, kdy částice s hustotou $2,65 \text{ g/cm}^3$ o velikosti 0,1 až 0,2 mm jsou zachyceny. Lapáky máme buď s vertikálním, nebo horizontálním průtokem a doba zdržení nesmí klesnout pod 30 min. Rychlost proudění se pohybuje okolo 0,3 m/s. Lze také navrhovat speciální lapáky tzv. vírové. Navrhují se u velkých ČOV. Principem je tangenciální vtok s konickým zúžením dna, kde bývá umístěna jímka. Usazené částice jsou odčerpávány. S proudem vtoku bývá také vháněn vzduch, který pomáhá oddělovat organické látky. Doba zdržení je od 5 do 6 min. Rychlost proudění je cca 0,1 m/s. Jakýkoliv lapák musí být zkonstruován tak, aby nedocházelo k sedimentaci organického materiálu, nebo vyplavování usazeného písku. [1] [7].

Mechanická část – česle

Česle zachytávají řadu látek nesoucích ve vznosu. Existuje řada česlí. Jedná se například o samočisticí, strojně stírané, ručně stírané, stupňové, pásové, bubnová síta atd. Hlavní funkcí těchto zařízení je ochrana strojních částí na ČOV. Produktem česlí bývají shrabky, které mají vysoký podíl vody. Shrabky se odvodňují a následně se odváží na skládku, nebo se spalují. Česle rozdělujeme na jemné a hrubé v závislosti na velikosti průlin. Jemné, šířka průlin je 10-20 mm. Hrubé, šířka průlin je 5-20 cm. Můžeme je také rozdělit podle tvaru ok, mezer, vertikálního a horizontálního rozdělení. Jako příklad si můžeme ukázat samočisticí česle (Obr. 1) [1] [7].



Obr. 1 Samočisticí česle nainstalované v průmyslovém závodu (před intenzifikací)

Mechanická část – usazovací nádrže

Dále se můžeme bavit o usazovacích nádržích, ve kterých se uskutečňuje sedimentace usaditelných látek. U primárních usazovacích nádrží dochází ke snižování organického znečištění, tím i ke snížení zatížení na biologické části čištění. Do usazovacích nádrží lze i zařadit nádrže dosazovací, které fungují na podobném principu, s tím rozdílem, že dochází k sedimentaci vložek biologického kalu. Usazovací nádrže (i dosazovací) můžeme rozdělit do 4 nejpoužívanějších kategorií. Jedná se o pravoúhlou nádrž s horizontálním průtokem, kruhovou nádrž s horizontálním průtokem, nádrž s vertikálním průtokem a šterbinovou nádrž. Ve firmě Bosch Diesel na závodě 3 v Jihlavě se vyskytuje ČOV bez usazovací nádrže [1].

Biologická část

Za mechanickým stupněm se nachází stupeň biologický. Jedná se o stupeň, jehož pilířem jsou mikroorganismy, které tvoří tzv. aktivovaný kal společně se substrátem, na kterém byl vypěstován. Na aktivovaném kalu následně během procesu čištění ulpívají látky usaditelné a koloidní, kdy veškerý organický materiál je rozložen. Hlavními bakteriemi, které tyto procesy uskutečňují, jsou bakterie *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Achrommobacter*, *Chromobacterium*, *Acinetobacter*, *Nocardia*. Dále se také v aktivovaném kalu nacházejí houby, plísňe, kvasinky, vláknité mikroorganismy (*Sphaerotilus*, *Nocardia*, *Spirulina*, *Albida*), vyšší organismy (Protozoa, Vířníci, Hlístice) a prvoci (*Vorticella*, *Epistylis*). Vláknitým mikroorganismům se snažíme zamezit, jelikož se s přibývajícím množstvím těchto mikroorganismů zhoršují sedimentační vlastnosti kalu. Tyto veškeré organismy potřebují energii a zdroj uhlík pro syntézu buněčného materiálu. Základním zdrojem uhlíku jsou CO_2 a organická hmota. Také potřebují anorganické prvky jako N, P, S, K, Ca, Mg. Autotrofní, jejich zdrojem je CO_2 , světlo a anorganické oxidoredukční reakce. Heterotrofní získávají energii z organické oxidoredukční reakce a organického uhlíku. Dále je můžeme rozdělit na aerobní, anaerobní a fakultativní (pracují za přítomnosti kyslíku a bez něj). Důležitou částí mikroorganismů jsou také enzymy. Enzym je jednoduchá, či složená bílkovina, která ovlivňuje růst a příjem energie mikroorganismů. Jedná se také o organické katalyzátory, které jsou produktem živých organismů a urychlují reakce. Mikroorganismy mají tři základní fáze růstu. V první fázi, kdy je jejich růst závislý pouze na jejich schopnostech. Druhá fáze, snižování rychlosti růstu, jehož příčinou je nedostatek substrátu. Třetí fáze nazývaná endogenní, kdy odumírají mikroorganismy a jsou živinami pro stále živé [1] [7].

Proces čištění odpadních vod může probíhat ve třech prostředích. Jedná se o procesy anaerobní, anoxické a aerobní. V aerobním prostředí za přítomnosti molekulárního kyslíku, v anaerobním za jeho nepřítomnosti a v anoxickém za přítomnosti dusitanů a dusičnanů. Dalším kritériem je oxidačně-redukční potenciál prostředí, který nám označuje typ prostředí [1] [7].

Tab. 4 Hodnoty oxidačně redukčního potenciálu v závislosti na prostředí [1] [7]

Anaerobní prostředí	<150 mV
Anoxické prostředí	150-250 mV
Aerobní prostředí	>250 mV

Při čištění v aerobním prostředí dochází také za správných podmínek (Ssrávná koncentrace rozpuštěného kyslíku (2mg/l), optimální teplota v rozmezí 28-32 °C, stáří kalu, zatížení kalu) k oxidaci amoniaku na dusičnany spolu s rozkladem organické hmoty. [1]

Oxidace amoniakálního dusíku (nitrifikace) probíhá podle následujících rovnic [1] [7].:

Bakterie rodu: Nitrosomonas



Bakterie rodu: Nitrobakter



Celková reakce:



Pro úplnou oxidaci je požadavek 4,57 g O₂/g N, kdy na nitrifikaci se spotřebuje 3,43 g/g a 1,14 g/g na nitrataci (pro výpočty se počítá s 3–4 g O₂/g N). Obsah nutrientů se pohybuje v odpadních vodách v rozmezí 2–5 %. Pokud oxidaci budeme provádět v anoxických podmínkách, dojde ke zvýšení alkality a lze tím kompenzovat pokles pH při nitrifikaci [1].

Dále pro odstranění sloučenin dusíku je nutné zařadit anoxickou zónu, kde probíhá děj nazvaný denitrifikace, při kterém dochází k redukci dusičnanů na dusitany a následně na nižší oxidy a dusík. Pokud zařadíme do systému pouze nitrifikaci, tak v dosazovací nádrži dochází k samovolné denitrifikaci a vznikají problémy v nádrži [1]. Děj denitrifikace probíhá podle rovnice [1]:



Pokud skombinujeme proces nitrifikace s denitrifikací, můžeme využít až 67 % kyslíku, který byl vynaložen na oxidaci amoniaku [1].

Pro biologické odstranění fosforu se v biocenóze aktivovaného kalu vyskytují některé bakterie (takzvané poly-P bakterie), které mají schopnost v oxickém prostředí akumulace fosforu do buněk. Fosfor se v nich váže (v sušině kalu poté můžeme nalézt až 8 % P). Avšak vazba není nikterak pevná, a proto je nutné zabránit zahuštěnému kalu dlouhý pobyt v dosazovací nádrži a v anaerobních podmínkách [1] [7].

Pro správný průběh procesu odstraňování nutrientů, je také potřeba jejich správný poměr. Jedná se o poměr BSK₅: N: P = 100:5:1. [1]

Pokud se dusík a fosfor dostává do vody, nazýváme tento jev eutrofizace. Jedná se o obohacování vod živinami. Navíc obsah dusíku ve vodě může mít toxický vliv na ryby. Vody obsahující dusitany v určitém množství se nesmí dávat kojencům do třech měsíců,

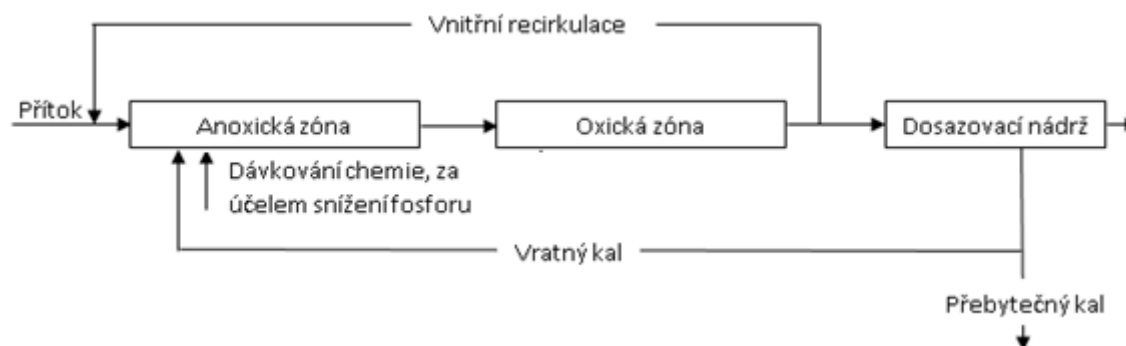
protože způsobují methemoglobinemii. Dále tyto nutrienty mohou vést ke vzniku sloučenin, které jsou karcinogenní, nebo ke zvyšování nákladů na úpravu vody [1] [7].

Existuje také řada dalších možností, jak tyto nutrienty z vody odstranit. U dusíku se jedná o stripování vzduchem, použití membránové technologie, srážení, oddestilování z alkalického prostředí, chlorací na bod zlomu anebo zachycování na měničích iontů [1] [7].

U fosforu je to dále srážení solí kovů, vápnem, či magnetická separace [1] [7].

Pokud máme vysoké hodnoty organického znečištění, můžeme předřadit anaerobní zónu a dočistit vody v aerobní zóně (pokud nedochází k vypouštění vod do veřejné kanalizace) [1] [7].

Pro biologické čištění a odstraňování nutrientů, byla vyvinuta řada modifikací aktivačních systémů. Jako příklad si ukážeme systém (Obr. 2) s předřazenou denitrifikací a s dosazovací nádrží. K odstraňování fosforu je zařazené dávkování chemie v anoxické zóně. Tento způsob čištění funguje v současnosti v areálu firmy Bosch Diesel s. r. o. [1] [7].



Obr. 2 Systém s předřazenou denitrifikací a dosazovací nádrží

Existují také dva základní typy aktivačních nádrží. Jedním z nich je aktivační nádrž směšovací, která se nachází v areálu firmy. Většinou se jedná o nádrže čtvercového půdorysu, kdy odpadní voda natéká do středu nádrže. Tyto nádrže jsou odolné proti toxickým látkám. Nevýhodou jsou příznivé podmínky pro růst vláknitých mikroorganismů. Dalším typem jsou nádrže s postupným tokem. Jedná se o stavby s převládající délkou, kdy množství organické hmoty postupně klesá spolu se spotřebou kyslíku [1] [7].

Dále v závislosti na odstranění organického materiálu rozlišujeme systémy nízko-zatížené, středně-zatížené a vysoko-zatížené. V nízko-zatížených aerobních systémech dochází buď k částečné, nebo úplné stabilizaci kalu. Ve středně zatížených systémech se účinnost zbavování organického materiálu nijak výrazně nezvyšuje a kal není stabilizován. Vysoko-zatížený systém se používá pouze jako první biologický stupeň, nebo na přetížených ČOV. Za vícestupňový biologický systém se považuje pouze, pokud je mezi jednotlivými biologickými stupni umístěna dosazovací nádrž [1] [7].

Tab. 5 Základní návrhové parametry aktivace [1] [7]

Aktivační proces	Bx - Látkové zatížení (podle BSK ₅) (kg.kg ⁻¹ .d ⁻¹)	Bv- Objemové zatížení (podle BSK ₅) (kg.m ⁻³ .d ⁻¹)	Stáří kalu (dny)	Doba zdržení (hodiny)	E- Účinnost odstranění BSK ₅ (%)
Nízko-zatížený	Bx <0,15 Bx >0,05	Bv <0,30 Bv >0,15	10-30	24-72	>90
Středně-zatížený	Bx <0,40 Bx >0,15	Bv <1,50 Bv >0,50	3-15	4-12	80-90
Vysoce-zatížený	Bx <2,0 Bx >1,0	Bv >1,50	<3	1-2	<80

Dosazovací (usazovací) nádrž většinou bývá posledním stupněm biologické části. Jedná se o zařízení, které slouží k odstranění kalu. Viz. usazovací nádrže. [1]

Kal v aktivační nádrži nazýváme aktivovaný kal. Jeho hlavními vlastnostmi jsou biochemické aktivity a sedimentační schopnosti, které jsou charakterizovány tzv. kalovým indexem. Ten udává, jaký objem kalu se usadí z 1 litru aktivační směsi po půl hodině v Imhoffově kuželi [1] [7].

$$KI = V_k \div X \text{ [ml/g]} \quad (2.6)$$

KI... kalový index

V_k...objem aktivovaného kalu

X... koncentrace kalové sušiny

Tab. 6 Rozlišení aktivovaného kalu [1] [7].

normální	KI <100 ml/g
lehký	KI =100-200 ml/g
zbytnělí	KI >200 ml/g

Zbytnělí kal je možné redukovat například selekcí mikroorganismů nebo chlorováním. Mezi základní faktory ovlivňující růst aktivovaného kalu patří teplota (větší teplota = menší potřebné množství kalu) a koncentrace rozpuštěného kyslíku [1] [7].

Občas se stává, že voda, která prošla jak mechanickou, tak biologickou částí, stále neodpovídá požadavkům na kvalitu vypouštěných vod. Proto se přidává třetí čistící stupeň. Mezi ně patří např. pískové filtry, mikrofiltry, odstraňování fosforu pomocí koagulantu, atd. [1] [7].

Práce s kalem a shrabky

V městských ČOV vzniká často několik druhů kalů. Nejčastěji se jedná o primární kal z usazovací nádrže a sekundární z dosazovací nádrže. Na česlích se také zachytávají nečistoty, které se označují jako shrabky. Veškeré tyto odpadní produkty vzniklé na ČOV je nutné likvidovat. Hlavním důvodem k likvidaci a dalšímu zpracování kalů, je obsah patogenních organismů, virů, atd. Proto je potřeba ve většině případů provést tzv. stabilizaci kalu. Jedná se o hygienizaci, odstranění zápachu, zlepšení fyzikálních vlastností, úbytek organické hmoty či získání bioplynu. Stabilizace různých kalů může probíhat jak odděleně, tak i společně. V první fázi pokaždé probíhá zahušťování jedním ze tří způsobů. Jedná se o gravitační, flotační a strojní zahušťování. Gravitační využívá rozdílné hmotnosti kalu a vody. Flotační proces popsán v kapitole průmyslové odpadní vody. Strojní probíhá nejčastěji za použití například síto-pásového lisu spolu s flokulantem. Následně probíhá zmíněná aerobní stabilizace. V poslední řadě se provádí odvodnění. Jako příklad si ukážeme odvodnění za pomoci šnekového lisu (Obr. 3) spolu s dávkováním flokulantu. Tento způsob odvodnění probíhá na průmyslovém závodě [1] [7].



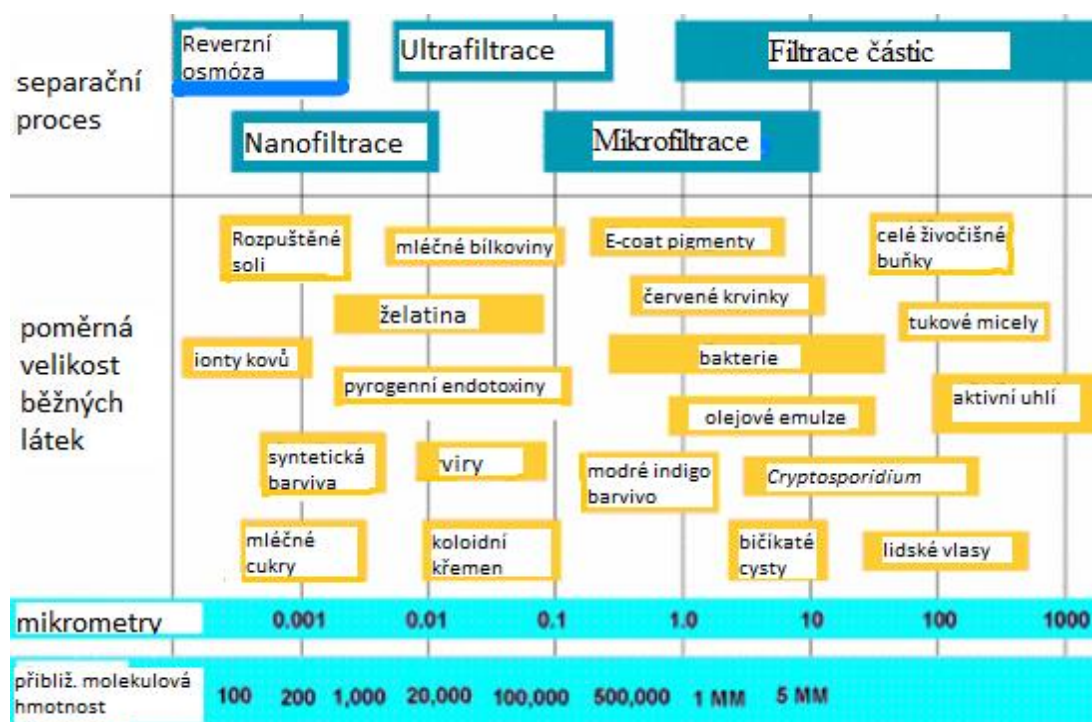
Obr. 3 Ukázka šnekového lisu vyústěného do přistaveného kontejneru

2.2.2 Průmyslové čištění odpadních vod

Pro přehled si ukážeme a popíšeme metody čištění průmyslových vod. Jak již bylo napsáno, způsoby čištění městských odpadních bývá kombinováno spolu se speciálními technologiemi pro průmyslové vody. Jedná se především o membránové procesy, separaci olejů a tuků, flotaci, neutralizační procesy, extrakční procesy, stripování, srážecí reakce, redoxní reakce, adsorbce, iontovou výměnu, čiření, rozrážení stabilizovaných emulzí, termické způsoby a čištění v anaerobních podmínkách. Podrobně si probereme pouze procesy, u kterých se předpokládá následné využití v dalších částech práce [10].

Membránové procesy

Jak již název vypovídá, jedná se o proces, při kterém voda proudí skrz membránu. Mezi přírodní membrány lze zařadit buněčné části organismů. K využití této metody pro potřeby lidské, se vyrábějí membrány umělé. Tyto polopropustné membrány propouštějí vodu a zachytávají částice o specifické velikosti, případně částice specifického náboje. Hlavním problémem těchto procesů je, že u objektů oddělených membránou je stálá platnost fyzikálních zákonů a u vody v oddělených komorách časem dojde k ustanovení rovnováhy (stav, kdy osmotický tlak je roven hydrostatickému přetlaku). Proto je potřeba umělé zvyšování tlaku na straně roztoku s vyšší koncentrací a tím dochází k zachycení částic na straně před membránou. Voda zbavena těchto specifických částic (podle typu membrány) prochází do prostoru za membránou. Podle druhu přepážky a tlaku dělíme membránové procesy do několika kategorií. Jedná se o mikrofiltraci, ultrafiltraci, nanofiltraci a reverzní osmózu. Výhodou těchto technologií jsou nízké nároky na plochu, jednoduchost, spolehlivost, nízká citlivost k vnějším faktorům, vyšší koncentrace aktivovaného kalu, delší doba zdržení kalu, rozklad širšího spektra organických látek a vyšší čistota vody na odtoku. Mezi nevýhody patří vyšší pořizovací náklady, energetická náročnost, narušení celistvosti membrán a zanášení. Zanášení rozdělujeme na vnitřní a vnější. K odstranění nánosu se používá chemické a mechanické čištění. U mechanického se používá zpětný proplach vodou, případně vzduchem [10].



Obr. 4 Filtrační spektrum membránových separačních procesů [12]

Membránové procesy – mikrofiltrace (MF)

Mikrofiltrace je snadno čistitelná s největšími póry z uvedených typů a odolná proti ucpávání. Nevýhodou je nutné dávkování koagulantu, abychom zajistili dostatečné odbourání znečištění. Princip separace je síťový mechanismus. Nejčastěji se tento způsob separace využívá ke stabilizaci nápojů, čištění pitné vody, úpravě syrovátek, sterilizaci, předúpravě pro jiné druhy membránových procesů, atd. [10] [12].

Tab. 7 Základní vlastnosti MF [10] [11] [12]

Proces	Velikost zachycených částic	Velikost pórů membrány	Tlakový rozdíl (MPa)	Odstraněné částice	Materiál membrány
mikrofiltrace	>0,1 μm	-	0,1-0,4	Rozptýlené látky, některé bakterie a viry	polypropylen, polysulfon. Polytetrafluoroet-hylen(PDVF), nylon, teflon, polyakrylonitril, keramika (různé materiály)

Membránové procesy – ultrafiltrace (UF)

Je nutné předčištění, aby nedocházelo k zanášení. Výhodou této technologie jsou nízké provozní náklady, kdy pracujeme s nižším tlakem a vyšším průtokem. Je také možné ji předsunout před jinou membránovou technologii, případně před biologické čištění. Membrány používané pro tento způsob zachytávání částic se skládají z několika vrstev. První část vrstvy se nazývá aktivní separační vrstva, která dosahuje tloušťky až 0,5 μm. Další vrstvou je tzv. podpůrná vrstva o tloušťce až 300 μm. Veškeré vrstvy mohou být z rozdílného materiálu. Samotné moduly se vyrábí v několika modifikacích, jedná se o moduly trubkové, vinuté a moduly z dutých vláken. Principem separace je síťový mechanismus [10] [11] [12].

Tab. 8 Základní vlastnosti UF [10] [11] [12]

Proces	Velikost zachycených částic	Velikost pórů membrány	Tlakový rozdíl (MPa)	Odstraněné částice	Materiál membrány
Ultra - filtrace	5-0,1 μm	1-10 μm	0,5-1,0	Koloidy (olejové emulze), makromolekuly, některé viry, proteiny a velká část bakterií	polypropylen, polysulfon, polyvinylidní fluorid (PVDF), teflon aromatické polyamidy, keramika (různé formy), buničinné acetáty

Membránové procesy – nanofiltrace (NF)

Nanofiltrace je na rozhraní mezi ultrafiltrací a reverzní osmózou. Tato technologie je velice podobná reverzní osmóze s tím rozdílem, že nanofiltrace pracuje při nižším tlaku a vyšším průtoku. Vyrábí se moduly vinuté, tubulární a deskové [10] [11] [12].

Tab. 9 Základní vlastnosti NF [10] [11] [12]

Proces	Velikost zachycených částic	Velikost pórů membrány	Tlakový rozdíl (MPa)	Odstraněné částice	Materiál membrány
nanofiltrace	1-10 nm	-	2-4	Malé molekuly, cukry, částečně soli, část nebezpečných látek, virusy	Polysulfony, polyvinylidní fluoridy (PVDF) tenkovrstvý kompozit buničinné, aromatické polyamidy

Membránové procesy – reverzní osmóza (RO)

Reverzní osmóza je opakem klasické osmózy. Má nejvyšší účinnost z membránových procesů. Účinnost čištění se pohybuje v rozmezí 90 % – 100 % veškerých látek. Nevýhodou je snadné zanášení. Je nutné provádět časté čištění, případně kombinovat s jiným druhem předčištění. Tento způsob čištění je vysoce nákladný. Využívá se v procesech, kdy je snaha odpadní vody vyčistit na kvalitu vody pitné. Lze také použít na odsolování vody mořské [10] [11] [12].

Tab. 10 Základní vlastnosti RO [10] [11] [12]

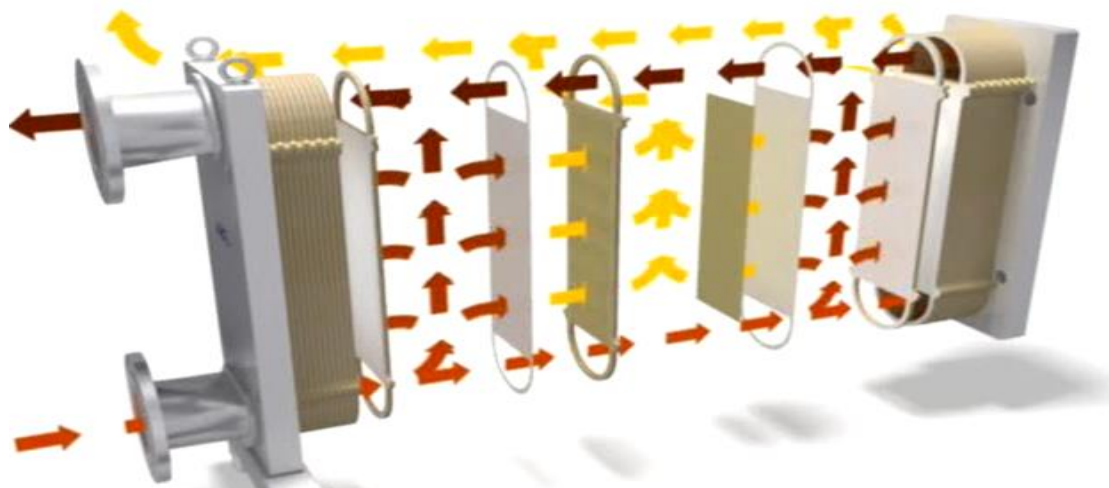
Proces	Velikost zachycených částic	Velikost pórů membrány	Tlakový rozdíl (MPa)	Odstraněné částice	Materiál membrány
Reverzní osmóza	0,1-1 nm	-	3-6	Velmi malé molekuly, sodík, dusitany, ionty, nebezpečné látky, zbarvení	Buničinné, aromatické polyamidy, tenkovrstvý kompozit

Membránové moduly

Běžně se membránové moduly skládají v několika vrstvách a různých uspořádání. Jak bylo zmíněno, moduly se vyskytují v několika různých formách. Princip však zůstává stejný. Jako příklad si ukážeme proudění odpadních vod v deskovém modulu (Obr. 5) [10] [11] [12].

Tab. 11 Výhody a nevýhody membránových uspořádání [12]

Forma modulu	Výhody	Nevýhody
Deskový	Široký výběr membrán	Vysoké náklady
	Může být vyjmut a vyčištěn	Čištění případně výměna membrán zabírá čas
	Nízká energetická spotřeba	Může se slepovat
Z jemných dutých vláken	Velmi kompaktní systém, snese hrubé zacházení při zpětném proplachu	Snáze se zanáší částicemi
	Nízká doba zdržení odpadní vody	Nepoužitelný pro viskózní systémy
	Nízké investiční náklady	Omezená nabídka produktů
	Schopný zpětného proplachu	Musí se častěji čistit
Spirálně vinutý	Nízká doba zdržení	Může mít slepá místa
	Kompaktní systém	Nelze je zpětně proplachovat
	Široká nabídka materiálů	-
	Velký sortiment velikostí	-
	Nízké investiční náklady	-
Trubicový	Snáší přítoky s vysokým obsahem rozptýlených látek	Vysoká energetická spotřeba
	Může pracovat s vazkými (viskózními) a „non-Newtonian“ tekutinami	Vysoké investiční náklady
	Snadno se mechanicky čistí	Zabírá hodně prostoru, Dlouhá doba rozebírání, Dlouhá doba zdržení



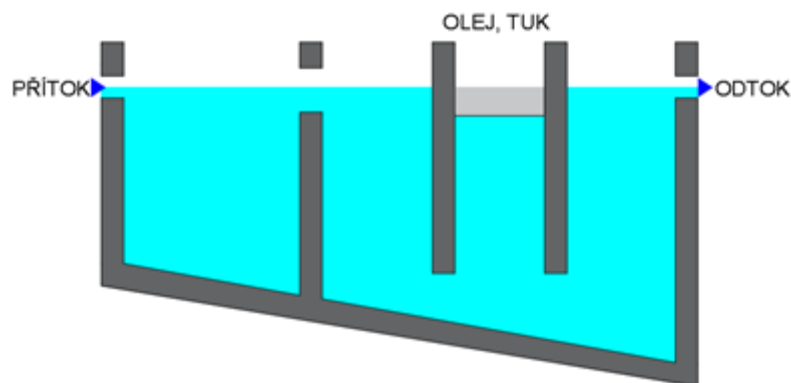
Obr. 5 Deskový modul [13]

Tab. 12 Kvalitativní srovnání různých membránových uspořádání [12]

Vlastnosti	Trubicové	Deskové	Spirálně vinuté/spirálové	Kapilární	Z dutých vláken
Nahuštění membrán v modulu	nejnižší	nižší	nízké	vysoké	vyšší
Investiční náklady a potřebný prostor/výměra	nejvyšší	vyšší	vysoké	nízké	nižší
Tendence k zanášení	nejnižší	nižší	nízká	vysoká	vyšší
Snadnost čištění	nejsnazší	snazší	snadné	obtížnější	obtížné
Provozní náklady	nejvyšší	vyšší	vysoké	nízké	nižší
Možnost vyměnit membrány	ano/ne	ano	ne	ne	ne

Separace olejů a tuků

Jedná se o gravitační způsob. Kdy je snaha o zpomalení rychlosti proudění a uklidnění hladiny v nádrži. Částice oleje a tuku bývají lehčí a jejich vztlaková síla je větší než gravitační. Hladina bývá ručně, nebo strojně stíraná. Pro tento způsob separace bývají přizpůsobeny i separátory, ve kterých proces probíhá. Nejjednodušším typem, který je také používán v areálu průmyslového závodu, je odlučovač typu Lapol [10].

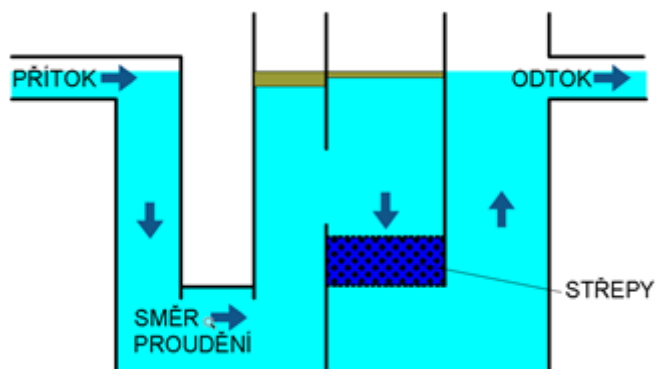


Obr. 6 Odlučovač Lapol T

Při návrhu těchto gravitačních zařízení je nutné se řídit základními požadavky, jimiž jsou:

- hustota částic, které se snažíme separovat a k tomu potřebná plocha
- velikost částic
- rychlost proudění
- teplota
- množství látek, které mohou rušit separaci
- dochází k separaci pouze volných tuků a olejů

Dále pro separaci nestabilních emulzí a volných olejů se předřazuje koalescenční filtr (Obr. 7).



Obr. 7 Schéma koalescenčního filtru

Pokud se snažíme vyčistit vody z ropného průmyslu, použijeme separátor API. U těchto zařízení dochází k stírání dna a hladiny. Doba zdržení se doporučuje asi 2h a rychlost proudění 5 – 10 mm/s. Pokud je tento separátor nedostačující, můžeme použít odlučovač Gool. Tento druh zařízení je opatřen sadou lamel a před samotným vstupem odpadní vody do zařízení, je odpadní voda předčištěna sedimentací. Lamely mají kruhový tvar a zvyšují efekt shlukování do větších částí. Kapacita zařízení je 15 l/s. Odlučovače s lamelami jsou dimenzované pro odstranění částic větších jak 0,06 mm a hydraulické zatížení 0,5

$\text{m}^3/(\text{m}^3\cdot\text{h})$ při teplotě 20 °C. Separátor je účinný pro znečištění od oleje do koncentrace 1000 mg/l. Účinnost čištění může být až 97 % [10].

Flotace

Jedná se o proces, při kterém dochází k oddělování dispergovaných částic od kapaliny. Podstatou je slučování bublin (velikost bublin se pohybuje mezi 10 až 100 μm) plynu s částicemi dispergovaných částic. Výsledkem je vznik sloučenin, které jsou díky své nízké hmotnosti vynášeny k hladině. Flotaci rozdělujeme podle způsobu dosažení mikrobublin [10] [11].

Volná flotace

Využívá se k čištění vod s obsahem oleje a v úpravnách rud. Provádí se za pomoci aeračních elementů. Jimi bývají desky, talíře atd. Nebezpečím u tohoto systému provzdušňování může být ucpání elementů při přerušovaném provzdušňování. Řešením tohoto problému jsou elementy z plastického materiálu, kdy dochází k zatažení pórů. Účinnost tohoto systému při odstraňování oleje se pohybuje v rozmezích 70–80 % [10] [11].

Tlaková flotace

Principem tohoto systému je syčení vody vzduchem. Vzduch se do vody vhání pod tlakem. To umožní uvolnění rozpuštěného kyslíku. Tento způsob flotace je možné provozovat různým způsobem. Zejména podle toho, v jaké míře probíhá syčení. Jedná se o syčení částečné, úplné, nebo částečné s recirkulací. U částečného syčení se část přiváděné vody oddělí a dojde k jejímu nasycení mimo hlavní tok. V dalším kroku je zpět přivedena do hlavního toku [10] [11].

Tab. 13 Technologické parametry [10]

Tlak [MPa]	0,3–0,5
Doba zdržení [min]	3-5
Recirkulační poměr [-]	0,3–0,5
Max teplota[°C]	30

Množství vzduchu, které je potřeba dodat do systému udává poměr množství vzduchu a množství dispergovaných látek. Hodnoty poměru se obvykle pohybují v rozmezí 0,05 až 0,015 kg/kg. Dále je nutné veškeré tyto částice vyplavené na hladinu odstranit. K tomu nejčastěji slouží stírací mechanismus. Schéma tlakové flotační jednotky (Obr. 13) nalezneme v kapitole 2.3.1 [10].

Elektroflotace

Tento způsob flotace pracuje na principu elektrolýzy vody. Kdy na katodě dochází k vylučování kyslíku a na anodě vodíku. Velkou nevýhodou jsou vysoké nároky na energii. Naopak mezi výhody patří čištění při vysokých teplotách, oxidace, lepší dodávka bublin a jejich monodisperzita. K tomuto způsobu čištění odpadních vod také patří odstraňování nečistot z katody a anody. Jedná se většinou o mechanický způsob čištění (pomocí kartáčů) a za pomoci zředěné kyseliny sírové (odstranění usazenin vápníku a hořčíku) [10].

Velmi často se využívá kombinace flotace s koagulací. Ke koagulaci se používají soli železa a hliníku. Tyto soli způsobují agregaci do větších částí. Poté následuje jejich separace pomocí některého z uvedených způsobu flotace [10].

Tab. 14 Technologické parametry [10]

Proudová hustota (A/m^2)	150 - 300
Napětí na elektrodách (V)	4 – 15
Doba zdržení (min)	≤ 15
Spotřeba (kWh/m^3)	0,15 – 0,6
Velikost mezer mezi elektrodami (mm)	3 - 15
Množství plynu na elektrodách ($l/(m^2h)$)	50-60
Hydraulické zatížení $m^3/(m^2h)$	4

2.2.3 Přírodní způsoby čištění

Přírodní způsoby čištění se využívají většinou na místech, kde protéká nízké množství odpadních vod s nízkými koncentracemi znečišťujících látek. Jedná se převážně o kořenové čistírny a dočišťovací nádrže. Efekt dočišťovacích nádrží je využíván i v průmyslovém závodě Bosch Diesel, kde se nachází jako poslední bariéra mezi ČOV a recipientem. Hlavní nevýhodou těchto přírodních způsobů čištění je potřebná plocha.

Dočišťovací nádrž

Jedná se o biologickou nádrž. Tato nádrž pracuje jak za aerobních, tak i za anaerobních podmínek. Důležitými podmínkami je propustnost podloží menší než 10^{-7} m/s, doba zdržení 8 až 12 dní, hloubka vody min. 1 m, četnost odběru sedimentu a zamezení vzniku zkratových proudů. Jaké znečišťující látky jsou v nádrži odstraňovány, nalezneme na obrázku 8 [16].

Složky	Mechanické		Chemické				Biologické			
	sedimentace	adsorpce	oxidace / redukce	sražení	adsorpce	rozklad	metabolismus		příjem živin	rozklad
							bakteriální	rostlinný		
suspendované nerozpuštěné látky	I		II							
lehce rozložitelné látky	II	II	II				I			
kolooidní látky										
BSK ₅	III						I			
živiny dusík	II				I*		I		I	
fosfor	II			I	I				I	
těžké kovy	II			I	I				I	
organické látky	lehce rozložitelné	III		II	II	I	I	II		I
	těžce rozložitelné	III		II	II	I	I	II		I
mikroorganismy	II					I		II		I

Legenda: I – primární (základní) procesy, I* – adsorpce amoniakálního dusíku, II – sekundární procesy, III – vedlejší procesy

Obr. 8 Procesy čištění v aerobních biologických nádržích (Šálek, 1997) [16]

Dalším důležitým faktorem, který ovlivňuje čištění, jsou řasy (fytoplankton). Řasy produkují kyslík, přesto však v příliš velkém množství způsobují sami znečištění a při přemnožení po celé nádrži nedochází k dostatečnému okysličení nádrže. Zejména v nočních hodinách dochází k vyčerpávání kyslíku z vody. V zimě naopak nedochází k růstu řas. To má také za následek deficit kyslíku ve vodě [16].

Teplotní výkyvy, zimní a letní období, jsou dalšími faktory ovlivňující čištění. Například nitrifikace je citlivá na nízké teploty. V zimním období je účinnost odstraňování dusíku poloviční [16].

Nutné je také zmínit vyplavování fosforu ze sedimentu a tím zhoršování kvality vody v závislosti na stáří systému [16].

Intenzifikace dočišťovací nádrže

Pro zvýšení čistících procesů v nádrži je možné provést několik úprav. Lze je rozdělit na několik základních druhů. Zejména se jedná o mechanický a biologický způsob. Za mechanický lze považovat aeraci pomocí zařízení. Za mechanicko-biologický uvažujeme použití filtrů a za biologické použití rostlinného materiálu. Některé z těchto úprav si detailněji probereme v kapitole 3.2.10 a 3.2.11 [16].

Kořenové čistírny

Základním principem je průtok odpadní vody tzv. kořenovým filtrem. Konkrétně se jedná o jemný zrnitý materiál, které slouží jako nosič pro bakterie. Na filtru jsou také vysázené rostliny, které plní funkci odsávání živin, dodávka kyslíku a tepelný izolant v zimním období. Nutností pro tento způsob čištění je předčištění, abychom zamezili příliš vysokému zatížení a tím zanášení kořenového filtru. Ve filtru probíhají procesy fyzikální, chemické a biologické. Detailněji se nebudeme tímto způsobem čištění zabývat, jelikož tento způsob nebude využit v dalších částech práce [16].

3 ODPADNÍ VODY A JEJICH ČIŠTĚNÍ V AREÁLU FIRMY BOSCH DIESEL S. R. O.

3.1 O FIRMĚ

3.1.1 Popis

Společnost Bosch je v současnosti jedním z největších dodavatelů automobilového průmyslu na světě. Jeho podniky se nachází po celém světě. Jedná se o Německou společnost, kterou v roce 1886 založil Robert Bosch. Dodávají díly nejen pro automobilový průmysl, ale i pro domácí spotřebiče. Dále se zabývají průmyslovou technologií balení, zabezpečovací technikou a výrobou pro stavebnictví. Závody a pobočky se nacházejí v několika zemích světa. (Obr. 9).



Obr. 9 Grafický přehled částí světa, ve kterých se nachází závody, či pobočky.

V ČR se závody, či pobočky vyskytují hned v několika městech. Jedná se o město Praha, Jihlava, České Budějovice, Mikulov a Krnov.

3.1.2 Charakteristika závodů v Jihlavě

První podnik v Jihlavě byl založen v roce 1992. Jihlavské závody patří do divize dieselových systémů. Společnost v Jihlavě má 3 areály (Tab. 15), ve kterých se produkují komponenty do dieselových vstřikovacích systému Common Rail. K hlavním výrobkům patří dieselová vysokotlaká vstřikovací čerpadla, vysokotlaké zásobníky (raily) a tlakové regulační ventily. Výrobu doplňují sériové opravy čerpadel. V současné době pracuje v jihlavském závodě více než 4000 zaměstnanců a firma Bosch je největším zaměstnavatelem v Kraji vysočina.

Tab. 15 Přehled jednotlivých závodů v Jihlavě a jejich charakteristika

 Humpolecká, Závod I	Počet zaměstnanců (k 1. 1. 2016): 190 Výrobky: SIS, CP1 Užitná plocha: 15 805 m² Uveden do provozu v roce 1992
 Na Dolech, Závod II	Počet zaměstnanců (k 1. 1. 2016): 719 Výrobky: Rail, PCV, PLV Užitná plocha: 23 622 m² Uveden do provozu v roce 2000
 Pávov, Závod III	Počet zaměstnanců (k 1. 1. 2016): 3294 Výrobky: CP3, CP4, CPN5 Užitná plocha: 91 373 m² Uveden do provozu v roce 2002

3.2 ZÁVOD III

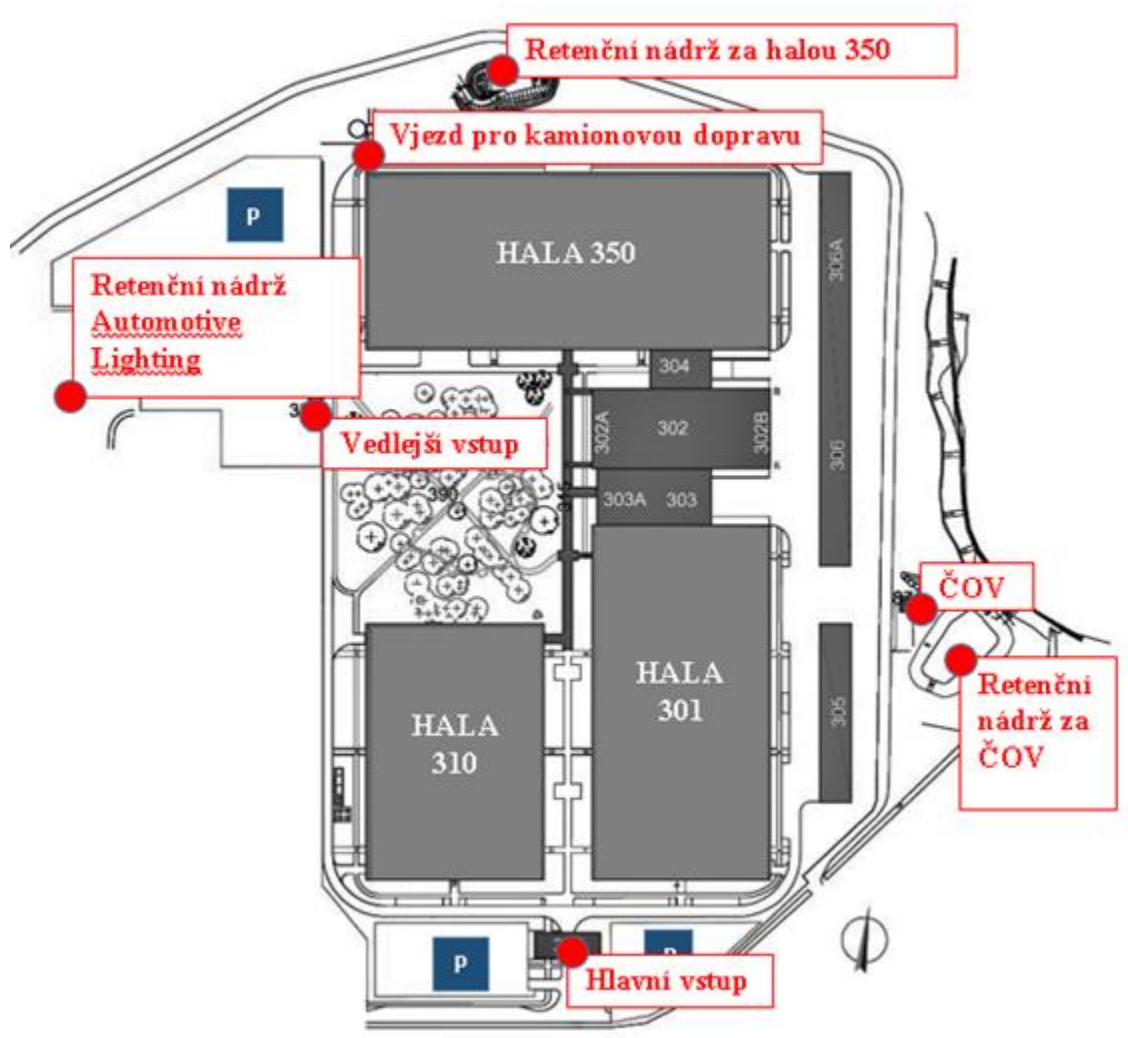
3.2.1 Umístění

Jedná se o závod umístěný v okrajové části města Jihlavy, na Pávově. Poblíž se nachází dálnice D1 spojující města Prahu a Brno. Sjezd z dálnice k areálu je na Exitu 112 a pokračuje po převaděči směr Jihlava. To naskýtá snadný přístup pro dovoz a vývoz. Adresa závodu: Pávov 121, 586 06 Jihlava. GPS souřadnice: 49°26'37.510"N, 15°37'0.826"E.

3.2.2 Situace závodu

Závod na Pávově se skládá z několika jednotlivých hal. Tři největší s označením 350, 310 a 301 jsou výrobní haly. Další haly s číslem 302, 303, 304, 305 a 306 jsou menšího

charakteru. Můžeme v nich najít uskladněný materiál, hasiče, výukové středisko pro studenty, strojořnu a mnoho dalšího. Na závod je umožněn přístup ze dvou stran. Hlavní vstup se nachází na jižní straně závodu. Na východní straně za oplocením je umístěna ČOV. Příjezd pro kamionovou dopravu je na západní straně spolu s druhým vstupem pro zaměstnance. U obou vstupů se před areálem nachází parkoviště.



Obr. 10 Situace závodu III

3.2.3 Zdroje odpadních vod

Z areálu jsou odváděny odpadní vody dešťové, splaškové, chladicí vody, vody z výroby a vody z kompresoroven tlakového vzduchu.

Dešťové odpadní vody

Dešťové odpadní vody jsou odváděny mimo areál oddílnou stokovou sítí. Jedná se o vody odváděné ze střech a zpevněných ploch umístěných v areálu. Konkrétně dešťové vody z haly 310, 301 a z jejich blízkého okolí jsou odváděny do retenční nádrže (Obr. 46) v blízkosti průmyslové ČOV. Hala 350 a blízké okolí jsou odváděny do retenční nádrže

za halou 350. Parkoviště u vedlejšího vstupu je odkanalizováno do retenční nádrže u areálu firmy Automotive Lighting. Některé části areálu se také odvodňují vsakovacím zařízením.

Chladicí vody

Chladicí vody, které pocházejí z několika chladících okruhů. Jsou to vody, které mají několik funkcí. Jedná se především vody s příměsí biocidu (hubení a tlumení růstu nežádoucích organismů), inhibitoru koroze (snižuje korozivní účinky vody) a disperzantu (zabraňuje tvorbě vodního kamene). Charakteristickými vlastnostmi pro chladicí vody je pH, měrná elektrolytická vodivost, alkalita, chloridy a sulfáty. Elektrolytická vodivost poukazuje na koncentrace iontově rozpuštěných látek. To znamená celkovou mineralizaci vod a vyjadřuje především množství solí. Alkalita značí množství CO_2 , iontů HCO_3^- , CO_3^{2-} a OH^- . U chloridu se jedná o soli kyseliny chlorovodíkové. Sulfáty jsou soli odvozené od kyseliny sírové.

Vody z výroby a kompresoroven tlakového vzduchu

Jedná se o vody z kompresoroven tlakového vzduchu, zbaveny olejového znečištění ve filtračním zařízení a vody z výroby, které slouží k odmašťování výrobků a jejich čištění.

Splaškové odpadní vody

Jedná se o veškeré vody z toalet, sprch a jídelen, které jsou odváděny na místní ČOV. Vody z jídelen navíc prochází přes lapol tuků. Jedná se o lapoly dvoukomorové umístěné vždy za jídelnou a napojené na kanalizační řad směřující na ČOV.

3.2.4 Způsob současného čištění ov

Téměř veškeré vody vypouštěné z areálu vedou přes průmyslovou čistírnu, kterou provozuje průmyslový závod. Výjimkou jsou pouze vody dešťové.

Dalšími vodami jsou vody z výroby. Jedná se o vody s vysokým látkovým znečištěním. Tyto vody nelze vypouštět na ČOV bez předchozí úpravy. A proto se na závodu nachází flotační zařízení, které snižuje koncentraci znečištění ve výrobní vodě.

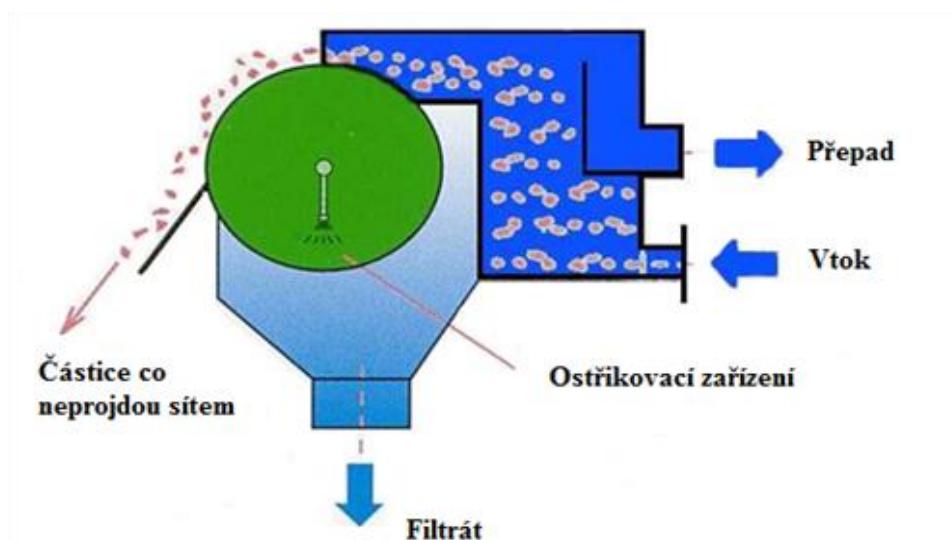
Flotace a související zařízení

Toto zařízení se skládá z několika částí. Z rotačního filtru (Obr. 11), které obsahuje rotační síto, vtok, přepad, odvod částic, které neprošly sítem, ostříkovací zařízení a odtok filtrátu. Částice, které neprojdou sítem, jsou odváděny do přistaveného kontejneru. Filtrát odpadních vod je odváděn do vyrovnávací nádrže, kde dochází k míchání vzduchem.

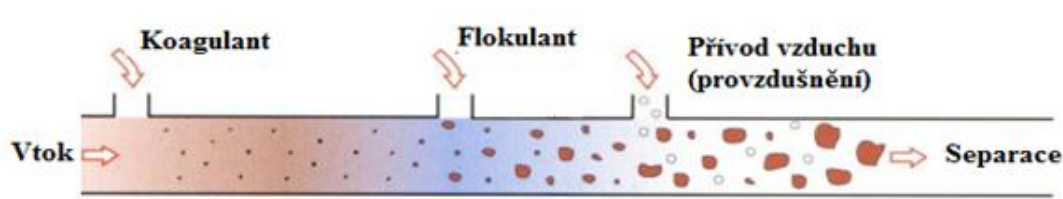
Odtamtud je voda čerpána do flokulátoru (Obr. 12), kde se nejdříve dává koagulant (polyaluminium silikát) a na to následuje flokulant (polyelektrolyt) spolu se vzduchovými bublinkami. Také se za koagulantem dává NaOH k úpravě pH.

Z flokulátoru voda pokračuje do flotační jednotky (Obr. 13). V této jednotce se míchá filtrovaná odpadní voda s recirkulačním proudem vyčištěné vody, v níž se nachází jemně dispergovaný vzduch. Recirkulační proud se odebírá z výstupní části flotačního zařízení. Předčištěná odpadní voda prochází recirkulačním čerpadlem, provzdušňovacím systémem a provzdušňovacími elementy, kde se snižuje tlak a je přiveden na vstupní stranu flotace. Tímto procesem ve flotační jednotce dochází ke vzniku jemné disperzi vzduchu a vody. Vzduchové částice ulpívají na znečištění a nechávají ho vystoupat na hladinu, kde se shromažďují v plovoucí lakové vrstvě. Z hladiny se odstraňují zahušťovacím shrabovacím zařízením a odpadávají do kalového prostoru.

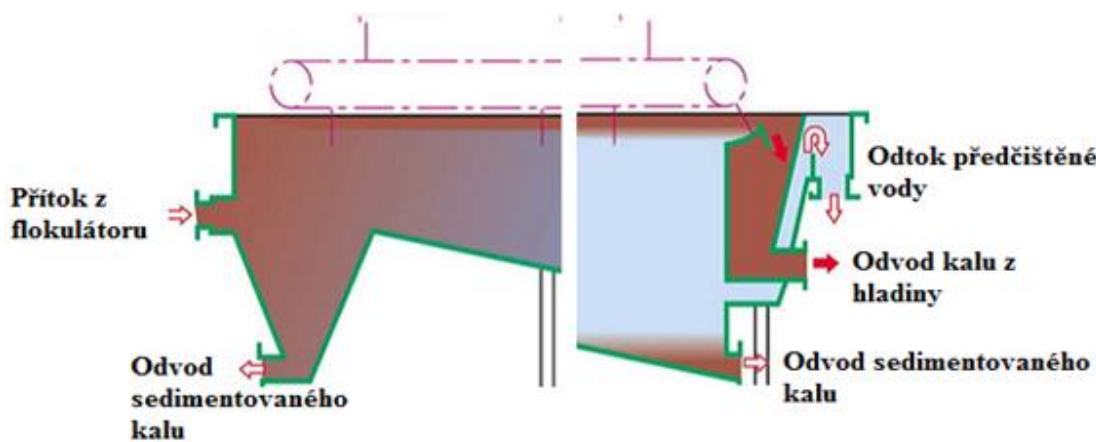
Těžké částice sedimentují v kalovém prostoru a jsou odstraňovány pomocí odkalovacích kapek. Předčištěná odpadní voda je odváděna do čerpací jímky.



Obr. 11 Schéma rotačního filtru



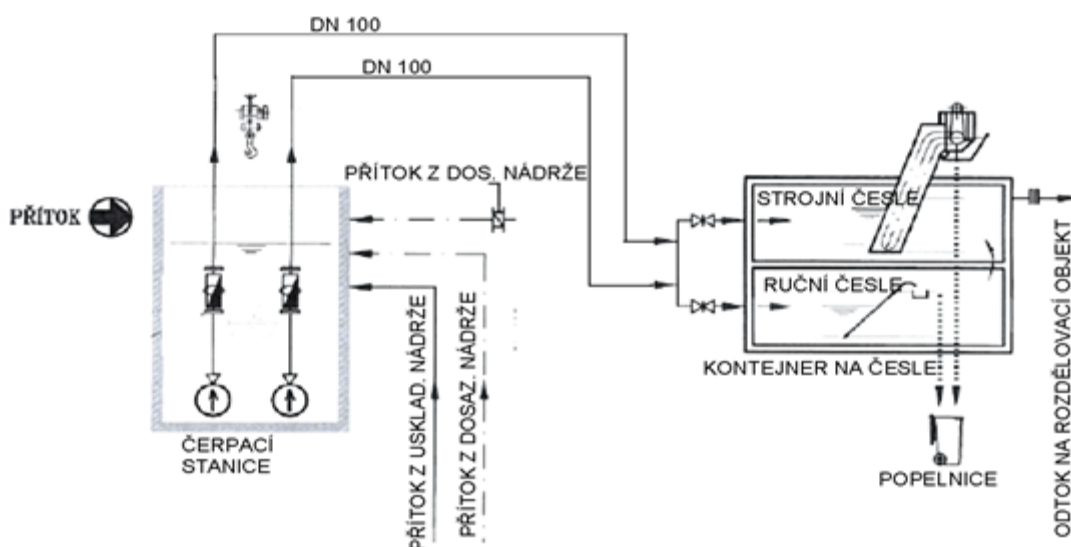
Obr. 12 Schéma flokulátoru



Obr. 13 Schéma flotačního zařízení

Čerpací stanice a česle

Čerpací stanice je jímka, kam jsou gravitačně přiváděny splaškové vody, vody z jídelen, vody z chladících okruhů, výrobní vody z flotace a výrobní vody z kompresoroven tlakového vzduchu, zbaveny olejového znečištění ve filtračním zařízení. Z jímky je odpadní voda dále přečerpávána dvěma kalovými čerpadly skrz strojně stírané česle (Obr. 1). Na česlích dochází k oddělení částic větších než 6 mm, které jsou dále shromažďovány v přistavené plastové popelnici. Voda, která se dostává do popelnice spolu se shrabky, je odčerpávána pomocí čerpadla. Na obtoku strojních česlí jsou česle ručně stírané, které zachytí částice větší než 15 mm. Následně odpadní vody gravitačně putují přes rozdělovací objekt do dvou paralelně fungujících ČOV. První menší ČOV budeme nazývat jako „Malá linka ČOV“ a druhou jako „Velká linka ČOV“.



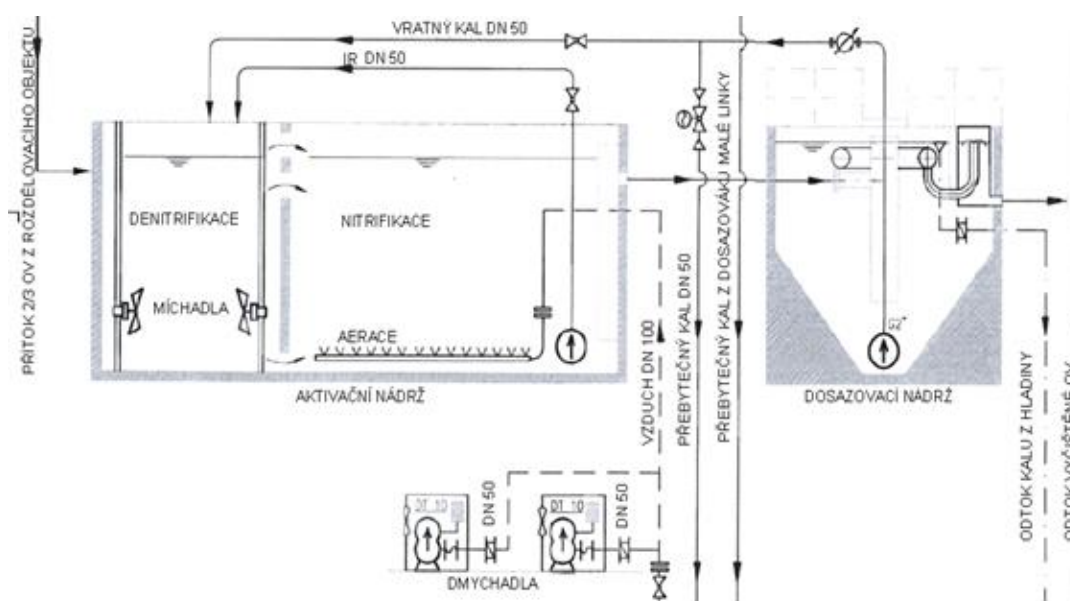
Obr. 14 Schéma čerpací stanice a česlí

Aktivační nádrž „Velká linka ČOV“ a dosazovací nádrž

Dvě třetiny odpadní vody natékají do aktivizační nádrže „velké linky“. Aktivační nádrž je řešena dvěma samostatnými nádržemi. V první nádrži, kam voda natéká, se nachází anoxické prostředí. Jedná se o princip čištění s předsazenou anoxickou částí (denitrifikací). V anoxické nádrži se nacházejí dvě ponorná vrtulová míchadla. Dále v oxické nádrži (Obr. 26) se nacházejí jemnobublinné aerační elementy Aseko. Měření kyslíku v nádrži probíhá sondou Insa a v závislosti na tom, se provádí regulace dmychadel. V oxické nádrži je umístěno také ponorné kalové čerpadlo se spouštěcím zařízením pro interní recirkulaci. Voda dále odtéká do dosazovací nádrže (Obr. 28), kde je též umístěné kalové čerpadlo a odtah pro plovoucí nečistoty, které slouží k odčerpávání vratného a přebytečného kalu. Jejich množství se měří magneticko-indukčním průtokoměrem. Čerpané množství kalu je řízené v závislosti na aktuálním průtoku ČOV. Vyčištěná voda odtéká gravitačně přes měrný objekt (parshalluv žlab) do retenční nádrže a poté do Heroltického potoka.

Tab. 16 Rozměry nádrží

Nadrž	Délka (m)	Šířka (m)	Plocha hladiny (m ²)	Hloubka vody (m)	Užitný objem (m ³)
Aktivační - denitrifikace	1,8	4,0	7,2	4,0	27,6
Aktivační - nitrifikace	4,7	4,0	18,8	3,95	74,3
Dosazovací	5,4	5,4	29,2	5,0	145,8

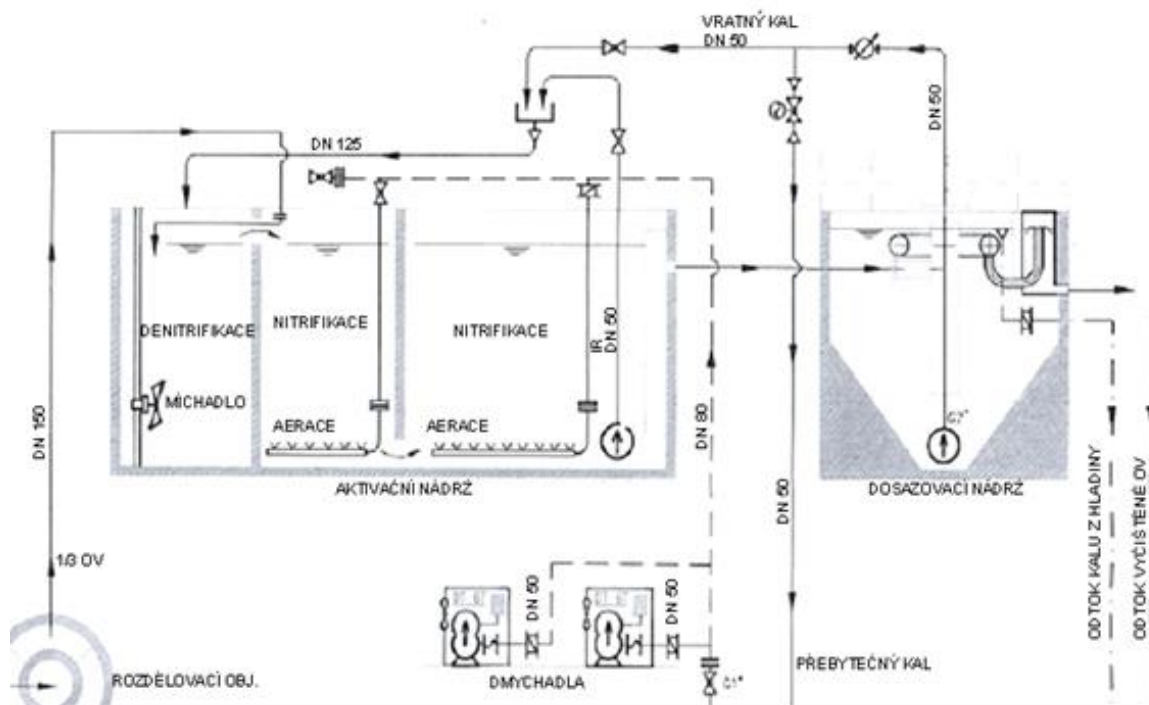


Obr. 15 Technologické schéma části „velká linka“ a dosazovací nádrž

Jedna třetina odpadní vody natéká do akivační nádrže „malé linky ČOV“. Akivační nádrž je řešena na stejném principu jako „velká linka ČOV“. V anoxické nádrži se nachází vrtulové míchadlo. V oxické nádrži (Obr. 25) aerační elementy a kyslíková sonda Insa. Dále se tam také nachází kalové čerpadlo se spouštěcím zařízením pro interní recirkulaci. Dosazovací nádrž (Obr. 28) je osazena odtahem plovoucích nečistot a kalovým čerpadlem pro odvod kalu. Zdrojem vzduchu jsou dvojice dmýchadel regulovaná frekvenčním měničem. Množství přebytečného a vratného kalu se měří magneticko-indukčním průtokoměrem. Na výtlačné části je osazena uzavírací armatura s elektropohonem. Vyčištěná odpadní voda jde jako „Velká linka“ do téže retenční nádrže a prochází přes tentýž měrný objekt.

Tab. 17 Rozměry nádrží

Nadrž	Délka (m)	Šířka (m)	Plocha hladiny (m²)	Hloubka vody (m)	Užitný objem (m³)
Aktivační - denitrifikace	1,8	4,0	7,2	4,0	27,6
Aktivační - nitrifikace	4,7	4,0	18,8	3,95	74,3
Dosazovací	4,0	4,0	16,0	3,4	54,4



Obr. 16 Technologické schéma části „malá linka“ a dosazovací nádrž

Kalové hospodářství

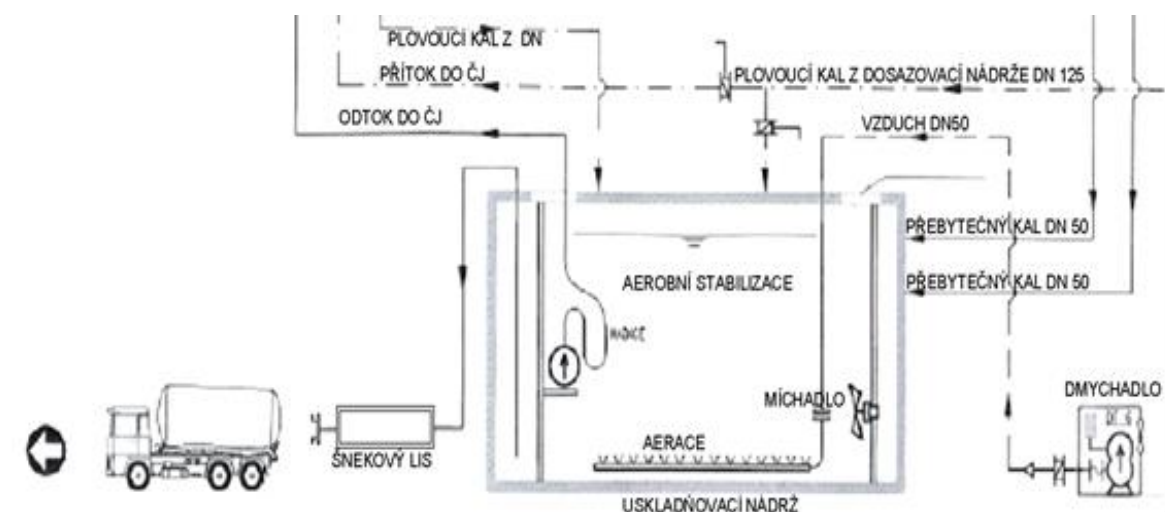
Toto odvětví zajišťuje zahušťování, stabilizaci a odvodňování kalu. Kal je přečerpáván do uskladňovací nádrže, kde za aerobních podmínek dochází k stabilizaci a zahušťování kalu. Uskladňovací nádrž je míchána aeračními elementy. V poslední řadě probíhá odvodnění ve šnekovém lisu značky Huber (Obr. 3), s přidavkem flokulantu. Výsledný obsah sušiny tvoří asi 12 % a kal je odvážen k likvidaci.



Obr. 17 Uskladňovací nádrž kalu

Tab. 18 Rozměry uskladňovací nádrže

Nadrž	Délka (m)	Šířka (m)	Hloubka dna (m)	Hloubka vody (m)	Užitný objem (m ³)
Uskladňovací	3,0	7,2	5,5	5,5	118,8

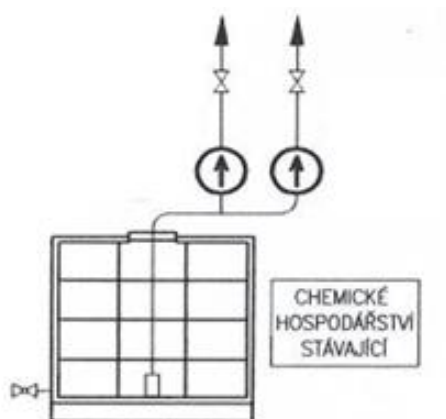


Obr. 18 Technologické schéma zpracování kalu na ČOV

Chemické hospodářství

Jeho primárním účelem je snížení množství fosforu v odpadních vodách. Toto odstraňování probíhá především chemickým způsobem. Chemické hospodářství obsahuje nádrž na chemikálii, dávkovací čerpadlo a rozvody s příslušnými armaturami. Srážedlo se dávkuje do části v aktivační nádrži, kde probíhá proces denitrifikace.

Také obsahuje flokulant pro navýšení účinnosti odvodnění kalu z kalojemu.

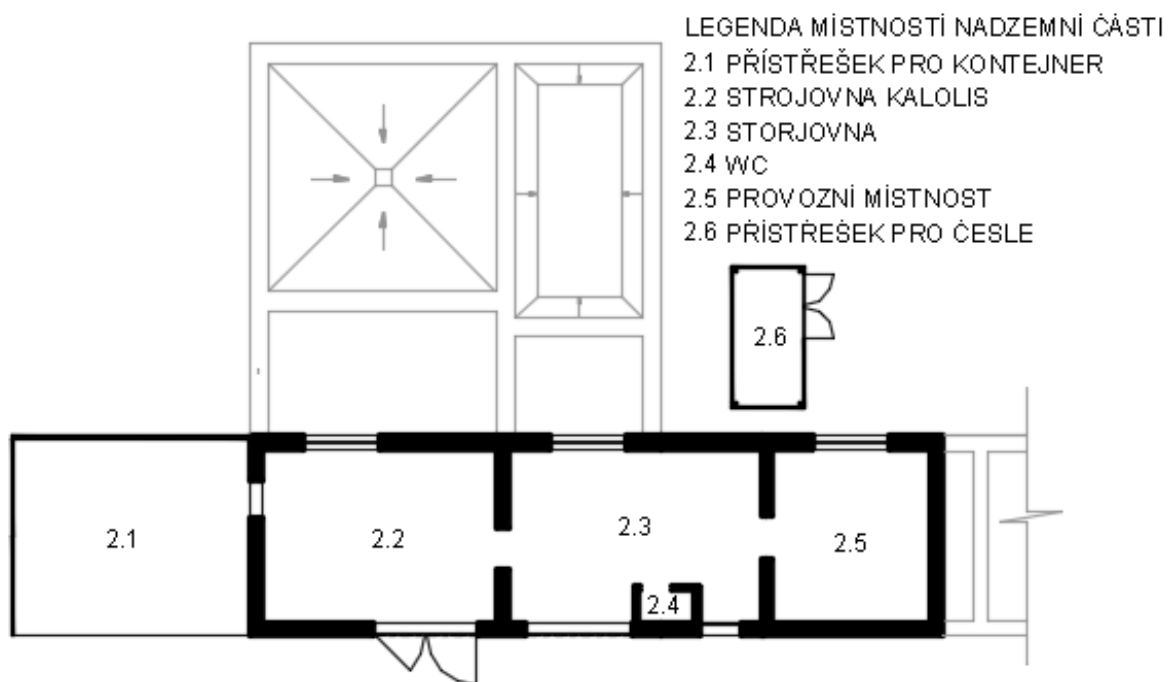


Obr. 19 Technologické schéma chemického hospodářství

Půdorysné uspořádání stavebních objektů

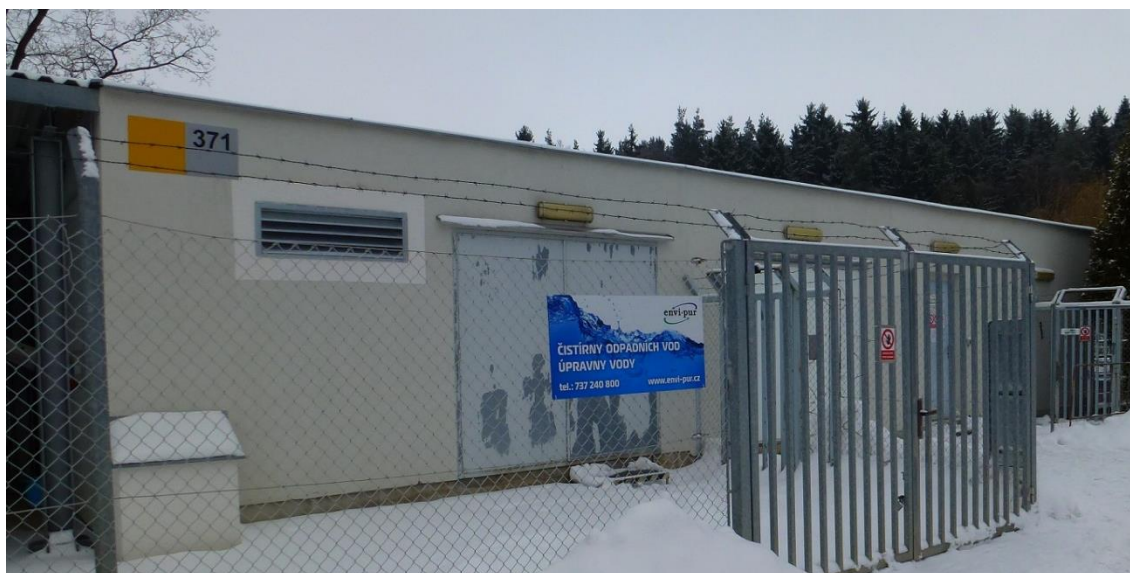


Obr. 20 Půdorysné uspořádání podzemních nádrží



Obr. 21 Půdorysné uspořádání nadzemních částí

Fotografii přístřešku na kontejner nalezneme na Obr. 3 a zbytek hlavní části budovy na Obr. 22.



Obr. 22 Stávající objekt (strojovna) na ČOV ze vstupní strany

Dočišťovací nádrž

Jedná se o poslední stupeň čištění na průmyslovém závodě. V současné době však z legislativního hlediska nemá svůj význam. Důvodem je odběr vzorků před vypuštěním vyčištěné odpadní vody do dočišťovací nádrže. Svůj význam získá po intenzifikaci ČOV. Tímto tématem se se budeme podrobněji zabývat v kapitole 3. 2. 11, kde se také budeme věnovat její intenzifikaci.



Obr. 23 Dočišťovací nádrž za ČOV

3.2.5 Posouzení účinnosti flotačního zařízení

V této kapitole se blíže zaměříme na flotační zařízení, které odbourává velkou část znečištění nacházejících se ve výrobních vodách. V tabulce 19 nalezneme návrhové údaje pro flotační zařízení. Nedodržení těchto základních parametrů, může mít za následek nedostatečnou účinnost při čištění a následné přetížení biologické linky ČOV.

Tab. 19 Návrhové údaje flotace

CHSK _{cr} (mg/l)	13100-30000
NL (mg/l)	244-1670
P _c (mg/l)	5-50
Olej a tuky (mg/l)	1333-3387
Ropné látky (mg/l)	954-5914
Teplota (°C)	20-30
pH	8,2-8,4

V tabulce 20 se podrobněji podíváme na kvalitu přitékajících odpadních vod na flotaci. Navíc rozhodneme, zda nedochází k porušování návrhových údajů flotace. Hodnoty, které nebudou vyhovovat návrhovým údajům, budou označené červeným textem. V tabulce 21 se dále zaměříme na kvalitu odtoku z flotace a porovnáme hodnoty

s tabulkou 23, která uvádí návrhové látkové zatížení ČOV. Opět červeně označený text v tabulce 21 bude označovat nevyhovující látkové zatížení, které opouští flotaci.

Tab. 20 Přítok na flotaci

	Hodnoty na přítoku	Hodnoty na přítoku	Jednotky
Barva	šedá	šedá	-
Usazenina	vločky	vločky	-
Zákal	neprůhledná	velmi silný	-
Zápach	organický	organický	-
pH	6,5	6,8	mg/l
Rozpuštěné látky	1210	2240	mg/l
Nerozpuštěné látky	872	1340	mg/l
CHSKCr	11300	19100	mg/l
BSK5	3130	8150	mg/l
Amoniakální dusík	137	230	mg/l
Dusitanový dusík	<0,002	-	mg/l
Dusičnanový dusík	0,44	0,17	mg/l
Chloridy	33,7	-	mg/l
Fosfor celkový	50,7	78,5	mg/l
Sulfidy	5,31		mg/l
Kyanidy celkové	0,019		mg/l
Amonioaktivní tenzidy	11,1	16,7	mg/l
Chrom	0,08	-	mg/l
Nikl	0,102	-	mg/l
Zinek	3,09	-	mg/l
AOX	0,095	-	mg/l
Rtuť	<0,0001	-	mg/l
NEL	2510	7520	mg/l
EL	4610	9800	mg/l
C10-C40	3490	5690	mg/l

Tab. 21 Odtok z flotace

	Jedn..	Odběr	Odběr	Odběr	Odběr	Odběr
CHSKcr	mg/l	3550	4310	5450	5140	4085
BSK5	mg/l	2001	1915	2395	2260	1620
C10-C40	mg/l	52,2	3,14	7,34	0,07	1,09
NH ₄	mg/l	59,1	83,5	127,7	87,2	124,1
Dusík celkový	mg/l	218,2	293,4	353,2	334,3	278,9
Fosfor celkový	mg/l	5,09	2,18	1,68	1,23	0,33
EL	mg/l	211	391	297	398	10,5

Závěr

Odpadní vody na přítoku k flotaci mají příliš nízké pH, vysoké hodnoty fosforu, nepolárně extrahovatelných (ropné látky) a extrahovatelných látek (oleje a tuky). Toto nedodržení návrhových údajů flotace, může mít za následek nedostatečnou účinnost při čištění. S tím také nejspíš souvisí vysoké koncentrace znečišťujících látek na odtoku, které jsou několika násobně vyšší, než je projektovaná kapacita ČOV. Nemyslím si, že se jedná pouze o nedodržení jednoho faktoru, ale o kombinaci s dalšími. Například se může jednat o stáří celého zařízení. Proto doporučuji provést výměnu starého zařízení za nové, případně provést úpravu technologie.

3.2.6 Posouzení účinnosti ČOV

Projektové parametry

V následujících několika částí si rozebereme parametry stávající ČOV, zhodnotíme jejich stav a počáteční správnost návrhu. Tyto informace nám pomohu zhodnotit stávající stav celé ČOV. Červeně označený text v tabulkách nám označí nalezené nesrovnalosti. Hodnoty v závorkách budou znovu vypočtené hodnoty při ověřování projektových parametrů.

Tab. 22 Projektované průtokové parametry

Parametr	Jednotka	Hodnota
Q _{24m}	l/s	4,86
průměrný denní průtok	m ³ /d	420
Q _d (k _d = 1,3)	l/s	6,72
Max. denní (návrhový) průtok	m ³ /d	581
Q _{hmax} (k _h = 2,13), 0,5 h	l/s	20
Projektovaná kapacita	EO	1750 (1762,5)
Potřeba vody pro EO	l/osoba,den	240

V tab. 22 se píše, že ČOV je navrhována na 1750 EO. V dalších částech (Tab. 24) se však uvádí číslo 1762,5 EO.

Tab. 23 Projektované látkové zatížení na přítoku do čerpací stanice

Parametr	g.EO ⁻¹	mg.l ⁻¹	kg.d ⁻¹	t.r ⁻¹
BSK5	60	230,8 (250)	105,00	38,33
CHSKCr	120	461,5 (500)	210,00	76,65
NL	55	211,5 (229)	96,25	35,13
N-NH4 ⁺	7	26,9 (29,2)	12,25	4,47
Norg	3	11,5 (12,5)	5,25	1,92
N-NO3-	1	3,8 (4,2)	1,75	0,64
Nc	11	42,3 (45,8)	17,50	7,03
TKN	10	38,5 (41,7)	19,25	6,39
Pcelk	2,5	9,6 (10,4)	4,38	1,60

V tabulce 23 jsou neshody ve výpočtech. Koncentrace znečištění byla ponížena o neznámý součinitel. Nejspíš se jedná o know-how firmy, která prováděla tehdejší výpočty. Avšak koncentrace, které uvedli v tabulce výše, nesouhlasí s množstvím vypočteného vyprodukovaného znečištění. Již tento fakt může značit o podhodnocení při dimenzování nádrží. Jedná se o snížení projektované kapacity o cca 8 %. Pokud by toto znečištění bylo uvedené pouze u přítoku do aktivních nádrží, dalo by se předpokládat, že ke snížení koncentrací dochází při průchodu odpadní vody čerpací stanicí a česlemi.

Tab. 24 Rozdělení průtoků na ČOV

	„Malá linka“	„Velká linka“
Projektovaná kapacita (EO)	450	1312,5
Q24m (m ³ /d)	105	315

Z tabulky 24 a předchozích informací vyplývá, že při rozdělení průtoků, kdy na malou linku odtéká jedna třetina odpadní vody ($420/3=140$ m³/d), se může stát, že „malá“ linka bude přetížená. Následkem již těchto počátečních chyb, může docházet k poruchám.

Hlavním základním znakem funkčnosti čistírny odpadních vod jsou charakteristické hodnoty znečištění na odtoku. Magistrát města Jihlavy v roce 2004 stanovil požadavky na vypouštění odpadních vod. Mezi základní požadavky patří ukazatele znečištění (Tab. 25), způsob měření množství vody podle kalibrovaného průtokoměru a četnost měření. Četnost a způsob měření se provádí podle přílohy č. 4 v nařízení vlády 401/2015 Sb. Konkrétně se jedná o 12 odběrů za rok a k překročení „p“ hodnot nesmí dojít vícekrát, než 2 x za rok. Překročení „m“ hodnot není přípustné.

Posouzení kvality vypouštěných vod

V této části práce se podíváme na fyzické fungování ČOV. Porovnáme kvalitu vypouštěné vody do dočišťovací nádrže s povolenými hodnotami od Magistrátu města Jihlavy. Porovnáme kvalitu vody v čerpací jímce s projektovaným látkovým zatížením. Podíváme se na správný poměr nutrientů a vlastnosti aktivovaného kalu. Zhodnotíme, zda se jedná o navržený nízko-zatížený systém.

Tab. 25 Povolené množství vypouštěných látek z čistírny odpadních vod

Ukazatel	Hodnota „p“ (mg/l)	Hodnota m“ (mg/l)	balance (t/rok)
CHSK _{Cr}	80	120	8,400
BSK ₅	15	20	1,575
NL	25	30	2,625
N-NO ₃	20	25	2,100
P _{celk}	prům. 2	5	0,210
N-NH ₄	prům. 15	20	0,525

V následující tabulce 26 nalezneme počet překročení dovoleného znečištění z posledních tří let.

Tab. 26 Počet překročení povoleného látkového znečištění ve vyčištěných odpadních vodách

Ukazatel	„p“ (2016)	„m“ (2016)	„p“ (2015)	„m“ (2015)	„p“ (2014)	„m“ (2014)
CHSK _{Cr}	1	0	0	1	1	0
BSK ₅	0	0	0	0	1	0
NL	0	2	1	5	0	0
N-NO ₃	0	0	0	0	0	0
P _{celk}	0	0	3	0	1	0
N-NH ₄	0	1	0	1	2	3

Z posledních dvou let lze vyčíst, že je nutné upravit technologii na ČOV (případně její intenzifikaci), aby nedocházelo k překračování dovoleného znečištění, které vede k sankcím a prodražuje celý provoz. Nejhuře vycházejí hodnoty amoniaku a nerozpuštěných látek. Zvýšené hodnoty amoniaku nejspíš souvisí, s nedostatečným fungováním nitrifikační části ČOV (případně její nedostatečnou kapacitou). Zvýšené hodnoty nerozpuštěných látek může mít na svědomí například chybějící usazovací nádrž na začátku procesu, případně nedostatečné fungování česlí.

Kvalita vody v čerpací jímce

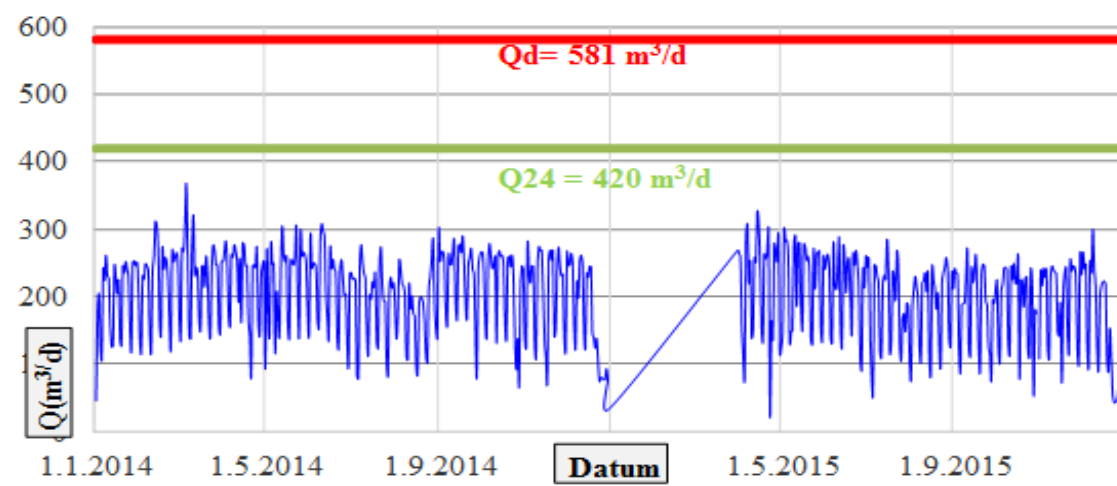
Tab. 27 Skutečný přítok na čerpací stanici za část roku 2016

Datum 2016	CHSKCr (mg/l)	BSK5 (mg/l)	NL (mg/l)	N-NO3- (mg/l)	Pcelk (mg/l)	N-NH ₄ (mg/l)
13.1	1370	462	127	0,624	4,4	51,3
9.2	1 480	517	167	0,06	9,44	76,00
18.3	1 480	396	151	0,06	7,42	53,80
18.4	600	241	112	0,06	11,10	48,40
12.5	1 920	806	154	0,06	9,16	60,00
14.6	1 230	645	215	0,06	6,98	67,80
26.7	1 780	889	161	0,06	4,59	56,10
Θ	1502,5	561,63	149,63	0,13	7,58	61,95

Pokud porovnáme tabulku 23 s tabulkou 27, dojdeme k závěru, že koncentrace přítoku na ČOV jsou několikanásobně vyšší, než na které byli původně nádrže dimenzované.

Objemová kapacita ČOV

Dalším kritériem je množství odpadní vody, pro které je současná ČOV dimenzována.



Obr. 24 Průtokové množství na ČOV

Z obrázku 24 se dozvídáme, že kapacita ČOV z hlediska množství přitékaných odpadních vod není dosažena. Hodnoty Q_{24} a Q_d jsou příliš nadhodnocené.

Poměr nutrientů

Tab. 28 Poměr nutrientů v odpadní vodě

	BSK ₅ :N:P
Poměr na stávající ČOV	100:11:1,35

Z tabulky 28 vyplývá, příliš vysoký podíl dusíkatých látek v odpadních vodách. To také vypovídá o důvodu zvýšeného množství amoniaku na odtoku.

Kalový index

Tab. 29 Kalový index aktivovaného kalu

Datum odběru vzorku/ odběrné místo	Kalový index (ml/g)
3. 4. 2015/ „malá linka“ ČOV	188
3. 4. 2015 „velká linka“ ČOV	148

Z tabulky 29 se dozvídáme o zhoršených sedimentačních schopnostech aktivovaného kalu.

Látkové a objemové zatížení

Při výpočtu se uvažuje hodnota sušiny aktivovaného kalu 4 kg/m³ a jako průměrný průtok jsem si zvolil hodnotu 250 m³/d. Hodnota průtoku byla vyvozena z obrázku 16. Koncentraci na přítoku uvažuji jako průměrnou hodnotu BSK₅ za rok 2016.

$$B_x = \frac{Q_{24} * C_{0-AN}}{V * X} \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1} \quad (3.1)$$

$$B_x = \frac{250 * 0,56163}{(27,6 + 74,3) * 4} = 0,34 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$$

$$B_v = \frac{Q_{24} * C_{0-AN}}{V} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1} \quad (3.2)$$

$$B_v = \frac{250 * 0,56163}{(27,6 + 74,3)} = 1,38 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$$

$$\Theta = \frac{V}{Q_{24}} \text{ h} \quad (3.3)$$

$$\Theta = \frac{101,9}{250} = 9,8 \text{ h (jedná se o dobu zdržení bez IR)}$$

$$\Theta_x = \frac{W_s}{V_{kal}} \text{ d} \quad (3.4)$$

$$\Theta_x = \frac{412,5}{124,5} = 3,31 \text{ d}$$

V předchozích výpočtech jsme získali hodnoty, které nám při porovnání s tabulkou 5 říkají, že se jedná o proces středně-zatížený. To má za následek zmiňovanou nedostatečnou účinnost aktivačních nádrží. Literatura uvádí účinnost odstranění BSK₅ mezi hodnotami 80 % až 90 %. Reálné hodnoty se pohybují přes 99%.

Kvalita aktivovaného kalu



Obr. 25 Aktivační nádrž „malá linka“

Při prvním pohledu na aktivační nádrž malé linky je patrné bytnění kalu. Nesprávné fungování může mít několik příčin. Kromě nedostatečné kapacity, se může jednat o špatné provzdušňování. Konkrétně o nedostatečný přísun vzduchu a velikost bublin. Velikost bublin má dopad na přenos kyslíku. Veškeré tyto nedostatky může mít na svědomí stáří dmychadel, které je 10 let a jejich nedostatečný výkon. S tím také souvisí technický stav samotné ČOV. Na obrázku aktivačních nádrží je patrných několik provizorních řešení.



Obr. 26 Aktivační nádrž „velká linka“

Stejné nedostatky jako aktivační nádrž malé linky, vykazuje aktivační nádrž velké linky. Důvody poruch budou shodné s malou linkou.

Kvalita sedimentace aktivovaného kalu v dosazovací nádrži



Obr. 27 Dosazovací nádrž „malá linka“



Obr. 28 Dosazovací nádrž „velká linka“

Už při prvním pozorování lze vyvodit, že se v kalu nacházejí vláknité mikroorganismy, které zhoršují sedimentační vlastnosti kalu. Tento fakt potvrzují výsledky z měření kalového indexu. Dále je možné z pozorování vyvodit nedostatečný odtok plovoucího kalu.

Závěr

Současný stav ČOV je nevyhovující. Dochází k překračování látkové kapacity ČOV na přítoku (Příčinou mohou být nedostatky v projektovaném látkovém zatížení). Porušování stanovené kvality odpadních vod na odtoku (Jedná se především o nedostatečnou nitrifikaci a odstraňování nerozpuštěných látek). Veškeré tyto nedostatky má na svědomí především nedostatečná dimenze nádrží a technický stav celé ČOV. Přes tyto veškeré nedostatky se účinnost odstranění BSK₅ stále drží nad 99 %, přestože se v literatuře uvádí účinnost čištění mezi hodnotami 80 % až 90 %. Dalším nedostatkem jsou chybějící zařízení na měření pH, teploty, ropných látek a kalového indexu. Také v současné době ekonomického růstu se předpokládá rozšiřování výroby, zvyšování množství odpadních vod na přítoku a zvyšování nároků na kvalitu vypouštěných vod. Volbu intenzifikace ČOV považuji s výhledem do budoucna za správné a ekonomické řešení.

3.2.7 Intenzifikace ČOV

Pro hlavní část intenzifikace byla externí firmou zvolena a navržena technologie s membránou. Jedná se s největší pravděpodobností o první závod kovovýroby v České Republice, kde byla použita technologie membrány. V této kapitole zhodnotíme a ověříme správnost návrhu. Zejména se zaměříme na správnou volbu počtu membrán, parametrů biologického čištění a správnosti návrhu technologického schématu. Dále si představíme některá možná rizika ČOV a fotografie z I. Etapy intenzifikace. Rozhodnutí, zda byl zvolen ideální způsob intenzifikace, se nebudu v této práci zabývat. Návrh alternativních řešení by navíc vydal rozsahem na vlastní bakalářskou práci.

Popis technologie intenzifikované ČOV

Jedná se o technologii instalace membrán, kdy biologický stupeň čištění s předřazenou denitrifikací zůstává částečně zachován. Pouze s tím rozdílem, že je odstraněna interní recirkulace a do dosazovací nádrže jsou instalovány membránové moduly. Intenzifikace bude probíhat bez přerušení provozu. Dojde však k jistým omezením. Například bude povolena zhoršená kvalita vody na odtoku po dobu intenzifikace.

V době intenzifikace zůstane v provozu pouze „malá“ linka ČOV. Celá intenzifikace je v závislosti na tom rozdělena na dvě etapy.

V I. Etapě se především plánuje odstavení velké linky, zprovoznění nové budovy česlí, chemického hospodářství a strojovny. Dále budou provedeny stavební úpravy nádrží, instalace membrány a spuštění membránové technologie do provozu. V II. Etapě bude odstavená malá linka. Nádrže malé linky budou využity k jiným účelům a zejména dojde k instalaci nového flotačního zařízení.

Mezi další významné změny patří vybavení ČOV novým strojním zařízením, stavební úpravy nádrží (například se bude jednat o zastřešení veškerých nádrží) a výstavba zcela nových budov. Dojde také ke změně využití některých nádrží. Dispozici nádrží nalezneme na obrázku 29 a uspořádání stavebních objektů na obrázku 30.

U strojního vybavení se konkrétně jedná o nové česle (Obr. 33) se separací částic větších než 2 mm. Chemické hospodářství (Obr. 32), které slouží k uložení látek pro čištění (NaClO_2), regeneraci membrán ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_7$) a srážení fosforu (Fe_2SO_4). Tři nová dmychadla (Obr. 41) pro aeraci nitrifikační nádrže a membránových komor. S tím souvisí instalace nových aeračních elementů a míchadla. Dále bude instalováno zcela nové flotační zařízení spolu s flokulátorem. S flotačním zařízením jsou také instalovány zařízení pro přípravu koagulantu a flokulantu. Dále se jedná o manipulační zařízení pro manipulaci s čerpadly. Nová kalová čerpadla. Nová měrná zařízení, čidla atd.

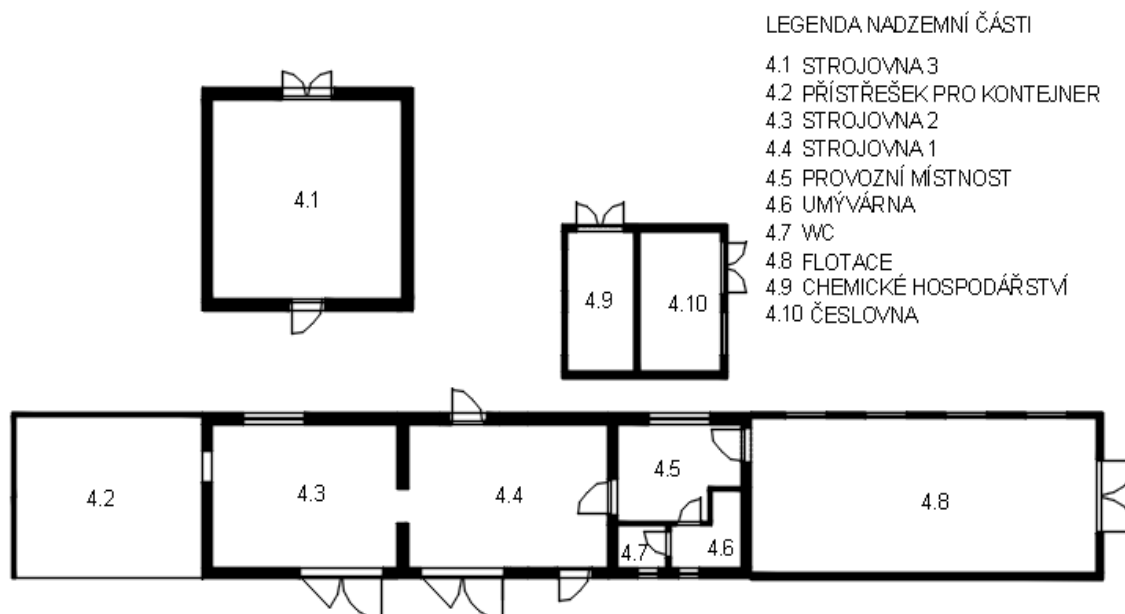
U stavebních objektů se jedná o využití původní dosazovací nádrže (budou provedeny stavební úpravy) „velké“ linky jako nová denitrifikační nádrž. Denitrifikační nádrž původní „velké“ linky bude po rozdělení stěnou využívána jako membránové komory. Denitrifikační nádrž původní „malé“ linky je využita jako akumulární (uskladňovací) nádrž před flotací. Nitrifikační nádrž původní „malé“ linky slouží jako rezervní nádrž.

Dosazovací nádrž původní „malé“ linky je využívána jako nádrž pro akumulaci vyčištěné vody. Jinak čerpací jímka pro splaškové vody a uskladňovací nádrž flotačního kalu zůstává zachována. Kal z flotace je odvážen fekálním vozem. Také je zachována uskladňovací nádrž kalu (kal z biologické linky). Přebytný aerobně stabilizovaný kal z uskladňovací nádrže je dále přečerpáván k původnímu šnekovému lisu. Půdorysné uspořádání podzemních nádrží a nadzemních budov intenzifikované ČOV nalezneme na obrázcích níže.

Důležité je také fungování membránových komor. Řízení odčerpávání vody skrz membránu je řízené v závislosti na výšce hladin v nádrži.



Obr. 29 Půdorysné uspořádání podzemních nádrží



Obr. 30 Půdorysné uspořádání nadzemních částí

Tab. 30 Rozměry a užité objemy nádrží po rekonstrukci

	Typ nádrže	Délka (m)	Šířka (m)	Světlá výška (m)	Max. výška hladiny (m)	Max. užité objem (m ³)
Nádrže biologické části	Čerpací jímka	4,0	2,0	6,15	1,84	10,4
	Denitrifikační nádrž	5,4	5,4	5,6	5,3	154,5
	Nitrifikační nádrž	7,2	5,4	5,8 (5,9)	5,3	206,1
	Membránové komory	2x 2,85	3,0	5,9	5,5	2x47,0
	Kalová nádrž	6,6	3,0	5,9	5,5	108,9
Nádrže flotační linky	Rezervní nádrž	4,0	4,7	4,25	-	79,9
	Akumulace odpadní vody před flotací	4,0	1,8	4,4	3,0	21,6
	Ukladňovací nádrž flotačního kalu	4,0	1,8	4,4	3,8	38,0
	Akumulace vyčištěné vody	4,0	2,5	4,25	2,95	13,5

Ověření technologických parametrů biologické části ČOV

Tab. 31 chválené hydraulické návrhové parametry nové ČOV

Q ₂₄	3,6 l/s	12,8 m ³ /h	307,2 m ³ /d
Q _d	4,6 l/s	16,7 m ³ /h	399,4 m ³ /d
Q _h	14,2 l/s	51,2 m ³ /h	-
Q _{max}	15 l/s	54,0 m ³ /h	-

Zvolené návrhové parametry považuji za optimální volbu s rezervou do budoucna.

Tab. 32 Navržené látkové zatížení intenzifikované ČOV pro 2400 EO₆₀

Sledovaný ukazatel	Látkové zatížení přiváděných odpadních vod		Specifická látková produkce	Ověření vypočteného látkového zatížení
	kg/den	mg/l		
CHSK _{Cr}	347,5	1131	144,8	✓
BSK ₅	144,0	469	60,0	✓
NL	72,2	235	30,1	✓
N-NH ₄ ⁺	22,9	75,0	9,5	✓
N _{celk}	32,8	106,7	13,7	✓
P _{celk}	2,6	8,6	1,1	✓

Tab. 33 Některé základní parametry biologické části

Hodnoty dodané externí firmou		
Teplota aktivační směsi	minimální	12 °C
	Maximální dlouhodobá	25 °C
	Maximální krátkodobá	30 °C
Stáří kalu v aktivaci	Celkové návrhové	33,5 d
	Celkové minimální dle ČSN	15,0 d
Návrhové koncentrace sušiny kalu	-	9 kg/m ³ (8-12 kg/m ³)
Průměrná produkce sušiny přebytečného kalu	Biologický kal z aktivace	cca 75 kg/d
	Chemický kal z koagulace	cca 11 kg/d
	Kal celkem	cca 86 kg/d
Objemové zatížení dle BSK ₅	-	0,52 kg/(m ³ /d)
Látkové zatížení BSK ₅	-	0,057 kg/(kg/d)
Doba zdržení v aktivaci	Pro Q ₂₄	21,8 h
	Pro Q _{max}	5,2 h
Oxyg. kapacita pro nitrifikaci	OC _{ST max.}	cca 1026 kg O ₂ /d

V dalším kroku je provedena část výpočtu k ověření návrhu biologické části.

$$B_x = \frac{Q_{24} * C_{0-AN}}{V * X} \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1} \quad (3.5)$$

$$B_x = \frac{307,2 * 0,469}{(206,1 + 154,5) * 9} = 0,044 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$$

$$B_v = \frac{Q_{24} * C_{0-AN}}{V} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1} \quad (3.6)$$

$$B_v = \frac{307,2 * 0,469}{(360,6)} = 0,4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$$

Při ověřování biologické části linky jsem se dostal k rozdílným výsledkům již u počátečního objemového (3.5) a látkového zatížení (3.6). Při pokračování jsem se dostal i k rozdílným dobám zdržení a množstvím přebytečného kalu. Tyto rozdíly připisuji použití rozdílných výpočtů, případně koeficientů, které si daná firma vytvořila pro lepší souhru teorie se skutečností. Z důvodu rozdílu již v základních částech výpočtu, jsem nepokračoval v počítání dalších částí. Pokud by výpočty byly chybné, tak se veškeré nedostatky projeví během provozu. Například nedostatečné okysličení aktivační nádrže.

Ověření technologie membrány

V poslední řadě mezi nejvýznamnější technologickou úpravou na ČOV je instalace membránových modulů. Jedná se o typ BIO-CEL BC416F-C104-UP150 od firmy Envi-Pur s. r. o. Na ČOV dojde k montáži čtyř těchto zařízení. Zařízení budou umístěna v rozdělené dosazovací nádrži „velké“ linky a odběr permeátu bude probíhat za pomoci reverzibilního zubového čerpadla. Pro zajímavost samotná cena modulů tvoří asi 20 % z celkové ceny intenzifikace.



Obr. 31 Membránový modul

Běžný průtok membránou se uvádí 10 až 12 l/h na 1 m² plochy membrány.

Tab. 34 Základní vlastnosti membránového modulu

	Jednotky	Hodnoty
pH	-	2-11
Plocha membrány	m ²	416
Velikost pórů	μm	0,04
Průtok vody	l/s	1,15 – 1,39
Max. průtok vzduchu	m ³ /h	140
Max koncentrace NL	g/l	12
Max. tlak při filtraci	mbar	400
Max. tlak při zpětném proplachu	mbar	150
Max. provozní teplota	°C	40
Min. provozní teplota	°C	5
Odolnost proti chloru	ppmh	500

Větší část informací byla získána od výrobce. Pouze průtok membránou byl spočítán z dostupných informací o membránové technologii.

Tab. 35 Kapacitní průtok membránami

Návrhový průtok (l/s)	Celková kapacita všech membrán (l/s)
4,6	4,6-5,56

Návrhový průtok (Q_d) odpovídá výkonu modulů. Zvolený počet jednotek pro intenzifikaci je ideální.

Tab. 36 Povolené množství vypouštění látek z ČOV (u stavby v trvalém provozu) pro 2400 EO

Ukazatel	Hodnota „p“ (mg/l)	Hodnota m“ (mg/l)	balance (t/rok)
CHSK _{Cr}	70	120	7,200
BSK ₅	18	25	1,500
NL	20	30	1,200
N-NO ₃	-	-	-
P _{celk}	prům. 8	15	0,600
N-NH ₄	prům. 2	5	0,210

Hodnoty z tabulky 36 jsou přísnější, než hodnoty z tabulky 25. Největší změnou je úprava legislativy, kdy již není vyžadováno hlídání hodnot dusičnanů na odtoku. To dovolilo odstranění interní recirkulace.

Ověření správnosti technologického schématu

Navržené technologické schéma celé ČOV bylo ověřeno a nebyli nalezeny téměř žádné nedostatky. Jediné, co bych vytkl, je instalace jediného zařízení česlí. Celé technologické schéma nalezneme v příloze 1.

Instalace membrány a ostatní fotografická dokumentace nových částí zařízení z 1. etapy rekonstrukce



Obr. 32 Budova česlí a chemického hospodářství



Obr. 33 Samočistící strojní česle



Obr. 34 Čerpadla pro dávkování chemie



Obr. 35 Nádoby na chemikálie a záchytné vany proti jejich úniku



Obr. 36 Shrabky z česlí (vlevo po intenzifikaci a vpravo před intenzifikací)



Obr. 37 Instalace membránových modulů



Obr. 38 Náhled do membránové komory



Obr. 39 Strojovna 3 (vlevo) pro strojní vybavení, původní budova (vpravo)



Obr. 40 Zdvihací zařízení a strojovna 3



**Obr. 41 Nová dmychadla pro nitrifikaci membránové komory a jedno jako záložní
(v pravo dole obrázek původního dmychadla pro porovnání)**



Obr. 42 Akumulační nádrž permeátu a dvě zubová čerpadla



Obr. 43 Pohled do akumulční nádrže permeátu



Obr. 44 Frekvenční měniče pro dmychadla a čerpadla permeátu (vlevo)

Porovnání hodnot látkového zatížení vyčištěné vody před intenzifikací a po intenzifikaci

Tab. 37 Porovnání jakosti vody před a po intenzifikaci

	Před intenzifikací	Po intenzifikaci	Jednotky
BSK ₅	4	<1	mg/l
CHSK _{Cr}	52	47	mg/l
NL	18,4	< 2	mg/l
N-NH ₄ ⁺	8,1	2,5	mg/l
Pc	0,6	1,6	mg/l
N-NO ₃ ⁻	5,1	10	mg/l
Celkové kovy	-	6,14	mg/l
NEL	0,18	<0,1	mg/l
C10 – C40	100	<50	µg/l

V tabulce bylo patrné výrazné zlepšení téměř veškerých hodnot. Nejvýznamnější zlepšení považují u ropných látek, které dosahovaly hodnot pod mezí stanovitelnosti. Dále je patrné výrazné zlepšení NL, NH₄, které byly hlavním důvodem volby intenzifikace. Hodnoty před intenzifikací jsou průměrné hodnoty za necelý rok 2016 a hodnoty po intenzifikaci jsou první naměřené hodnoty od spuštění technologie membrán.

3.2.8 Rizika ČOV po intenzifikaci

Každá technologie má svá rizika. Jako nejhorší scénář u jakékoliv ČOV je ohrožení životního prostředí. V první řadě je nutné zajištění stálého přísunu elektrické energie. Při výpadku může dojít k akumulaci vysokého množství odpadních vod v čerpací jímce a překročení její kapacity. Následně pak dojde k úniku odpadních vod do okolí. Jako největší nedostatek s ohledem na životní prostředí považují umístění bezpečnostního přelivu již v čerpací jímce. Tento fakt zamezí využití kapacity ostatních nádrží. Proto doporučuji umístit na ČOV čerpací zařízení s dieslovým agregátem. Toto zařízení umožní přečerpávat odpadní vodu i do ostatních nádrží. Tím dojde k prodloužení doby potřebné na obnovení dodávky elektrického proudu. Zejména je možnost využít rezervní nádrž, která po intenzifikaci nemá své využití.

V minulosti již došlo k úniku znečišťujících látek do okolního prostředí. Důvodem byla chyba na flotačním zařízení. Toto riziko je v současnosti minimalizováno díky instalované membránové technologii. Přesto bych doporučoval instalaci měřících

zařízení za flotačním zařízením a do akumulární nádrže permeátu. Jednalo by se zejména o měření úniku olejů a ropných látek. Tímto by se ulehčila identifikace a následné řešení vzniklých poruch. Mezi další rizika, která se mohou na ČOV objevit, je špatné fungování biologické části. Počítám však s letitými zkušenostmi provozu původní ČOV a tím i povědomím o veškerých možných rizicích biologické části.

Poslední a nejdůležitější věc, kterou bych nechtěl opomenout, je péče o veškerá strojní zařízení. Zejména se jedná o péči strojních česlí. Pokud tyto česle budou vykazovat jakékoliv poruchy, je nutné provést nápravu v co nejkratším termínu nápravu. Pokud by se tak nestalo, ohrozili bychom veškeré strojní vybavení. Zejména by mohlo dojít k poruše čerpadel a samotných membránových modulů. V případě poruchy není na závodě adekvátní náhrada nových česlí. Domnívám se, že investice v podobě dalších česlí s šířkou průlin 1 mm by zvýšila životnost čerpadel a membránových modulů. Tímto by se zajistila návratnost investice a případné úspory nákladů na obnovu těchto zařízení. Jako příklad bych uvedl odvodňovací zařízení značky Huber. U tohoto zařízení se prováděla pravidelná údržba obsluhou. To zajistilo, že zařízení bude stále využíváno i na intenzifikované ČOV.

Závěr

Intenzifikace za použití membránové technologie považuji za nejlepší možné řešení pro současnost i budoucnost, jelikož se všechny útvary povrchových vod na území České republiky vymezují jako citlivé oblasti (podle nařízení vlády č. 401/2015 Sb.).

Dále veškeré ověřené výpočty byly s jistou odchylkou a jejich správnost se ověří při fungování ČOV. Samotná kvalita výkresové části byla na velmi vysoké úrovni. Již při porovnávání výpočtové a výkresové dokumentace původní ČOV s dokumentací intenzifikované ČOV, ukázala na rozdílnou úroveň zpracování.

Zajímavostí je, že se již nejedná o kontinuální provoz, jak je běžné u pouze biologického způsobu čištění. Odtok z ČOV je řízen v závislosti na výšce hladin v membránových komorách.

Jako jediný nedostatek bych uvedl chybějící požadavky na kvalitu vypouštěných odpadních vod. Uvedené hodnoty (Tab. 36) považuji za nedostatečné. Domnívám se, že u veškerých průmyslových závodů, které nejsou popsány ve vyhlášce, by se mělo jednat o individuální přístup. Především v tabulce 36 postrádám stanovené limity pro ropné látky, oleje a případně i množství železa.

3.2.9 Dodatečná intenzifikace ČOV pro úpravu části vyčištěné odpadní vody na vodu chladicí

Současná ČOV po intenzifikaci však stále není schopná dostatečně vyčistit odpadní vody, aby byla možnost jejího zpětného využití ve výrobě. Proto je nutné provést návrh na její dodatečnou intenzifikaci. Konkrétně se jedná o volbu technologie a stručný návrh řešení.

Požadované vlastnosti na chladicí vody najdeme v tabulce 38. Ve stejné tabulce také nalezneme některé naměřené hodnoty z ultrafiltrace.

Tab. 38 Požadované vlas. pro chladicí vody a naměřené hodnoty po ultrafiltraci

Ukazatel	Jednotka	Limitní hodnota	Naměřené hodnoty
pH	-	6,2 - 9	-
Měrná elektrolytická vodivost	μS/cm	≤ 300	1190
Fe celkové	mg/l	≤ 1	-
Alkalita	mg/l	≤ 600	-
Chloridy	mg/l	≤ 250	216
Sulfáty	mg/l	≤ 350	76,2 (SO ₄ ²⁻)

Úpravu pH je možné provádět dávkováním chemikálie. Konduktivita (měrná elektrolytická vodivost) průmyslové vody má nadlimitní hodnoty. Bude nutné vyhledat řešení pro další úpravu (odsolení) vyčištěné vody. Z hlediska ostatních ukazatelů by neměl nastat problém v nedodržení limitních hodnot.

Technologie schopné vodu upravit na požadované vlas. chladicí vody

Membránová technologie je téměř jediná, která v současné době zvládne odstranit rozpuštěné soli ve vodě. Pokud budeme vycházet z obr. 4, zjistíme, že je možné využít nanofiltraci, případně reverzní osmózu (hyperfiltrace). Také existuje řešení pomocí Elektrodialýzy. Tomuto řešení se však v rámci práce nebudeme věnovat.

U nanofiltrace se uvádí účinnost odstranění minerálních solí 80 % – 85 %. U reverzní osmózy se jedná o 95 % až 99 % minerálních solí. U obou těchto technologií se předpokládá kombinace s jinou předsazenou membránou. Díky instalaci membrán (ultrafiltrace), byly vytvořeny ideální podmínky pro zapojení dalšího stupně čištění a znovuvyužití vyčištěné odpadní vody. Z tabulky 38 lze dojít k závěru, že nanofiltrace by měla být dostačující řešení. Přesto však po oslovení externí firmy byla doporučena technologie reverzní osmózy. K nanofiltraci jsem nedostal žádné vyjádření. Domnívám se, že důvodem je nejistota v nanofiltrační technologii. Částečně vyšší provozní náklady reverzní osmózy oproti nanofiltraci, je možné kompenzovat ředěním vod z reverzní osmózy s vodou z ultrafiltrace.

Volba konkrétní technologie, náklady spojené s intenzifikací a samotným provozem

Jako technologii jsem zvolil reverzní osmózu, která má však několik omezení pro přitékající vodu. Zejména se jedná o množství Fe, Mn a volného chloru. Pokud budou

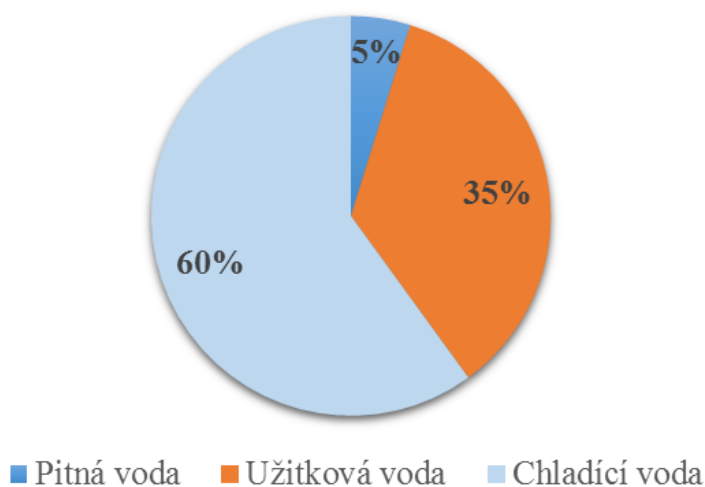
výsledky z rozborů překračovat hodnoty 0,2 mg/l zmíněných látek, bude nutná předúprava před reverzní osmózou. Jinak vzhledem k ostatnímu látkovému zatížení přitékající na osmózu, bude nutné posouzení externí firmou, která tuto technologii bude dodávat.

Tab. 39 Porovnání nákladů reverzní osmózy s využíváním pitné vody

Druh technologie	Reverzní osmóza	Pitná voda z veřejného vodovodu
Předpokládané náklady na instalaci	1 384 000 Kč	-
Předpokládané náklady na provoz	5,5 – 6,0 Kč/ bez DPH /m ³	47,97 Kč/ bez DPH/ m ³
Předpokládané náklady na provoz za 1 rok	250 000 – 270 000 Kč/ bez DPH	2 160 000 Kč/ bez DPH
Návratnost investice reverzní osmózy	7 měsíců	-
Úspora za každý následující rok	1 890 000 Kč/ bez DPH	-

Reverzní osmóza bude vybavena šesti membránami. Cena za jeden kus se uvádí asi 18000 Kč. Dále se uvádí životnost (závislá na údržbě a péči o zařízení) membrán 2–5 let. Domnívám se, že v případě lepší péče o zařízení lze dosáhnout i vyšší životnosti, než je uváděna. Například ve státní pokladně mají tento druh membrány již 10 let. Počítá se také s poměrem ředění 5:1. Potřebný stavební prostor činí 6 x 2,3 m. Minimální přítok na linku reverzní osmózy činí 9 m³/h.

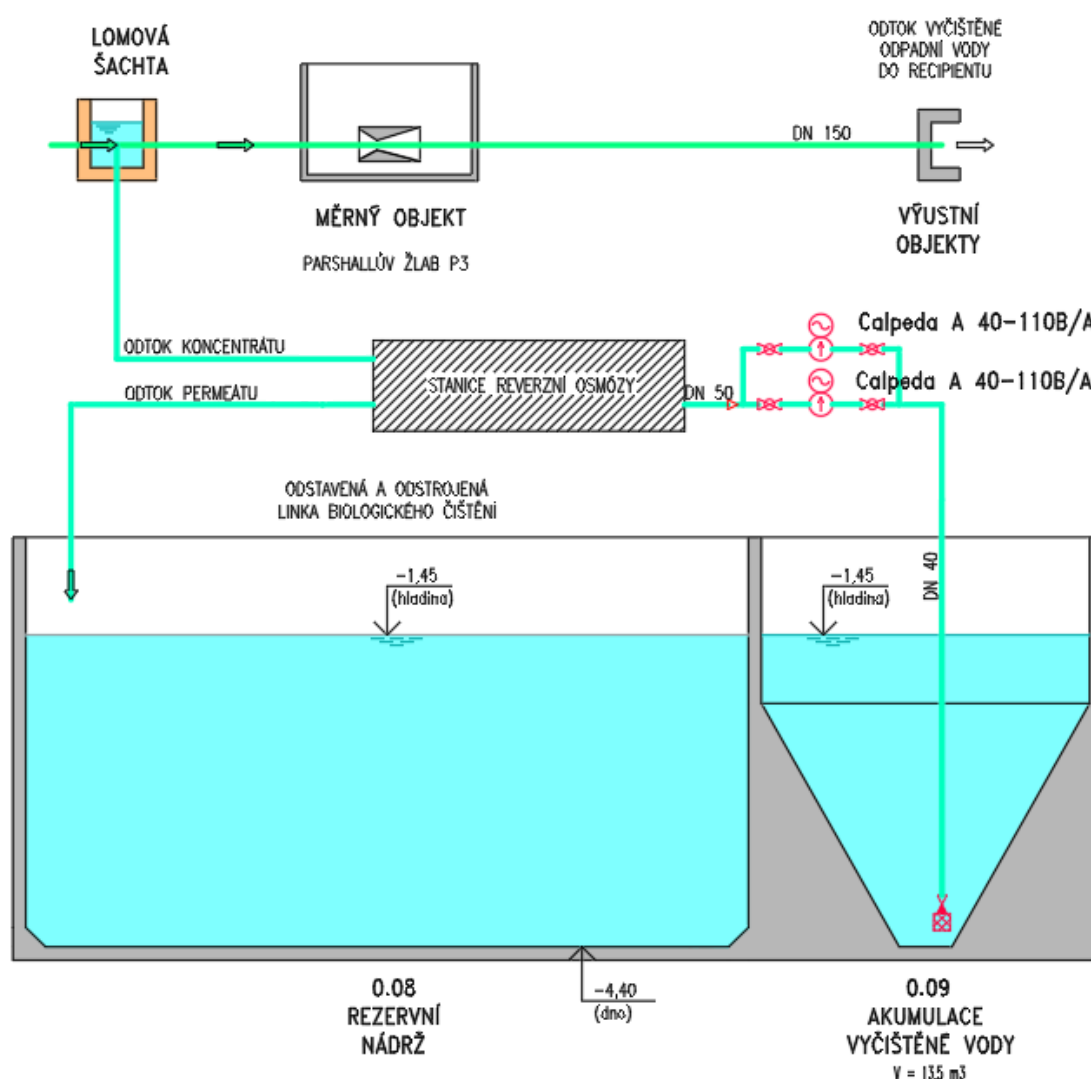
Procentuální rozdělení vody na závodě



Obr. 45 Rozdělení vody na závodě III

Podle obrázku 45 lze vyčíst, že v případě použití reverzní osmózy se bude recyklovat 60 % veškeré vody vypouštěné ze závodu. Dalších 35 % vypouštěné vody má skrytý potenciál. V současné době se často mluví o klimatických změnách. Tyto změny jsou již v současnosti patrné nedostatkem vody v letních měsících, snižováním hladiny podzemních vod atd. Navíc by se v případě recyklace uváděných 35 %, dosáhlo úspory cca 1 100 000 Kč za každý rok. Také by tento závod mohl sloužit jako inspirace pro ostatní průmyslové závody jak ekonomicky a ekologicky zacházet se zdroji kvalitní pitné vody. Do budoucna se také předpokládá zvyšování cen za vodu. To přinese větší úsporu, než je úspora současná.

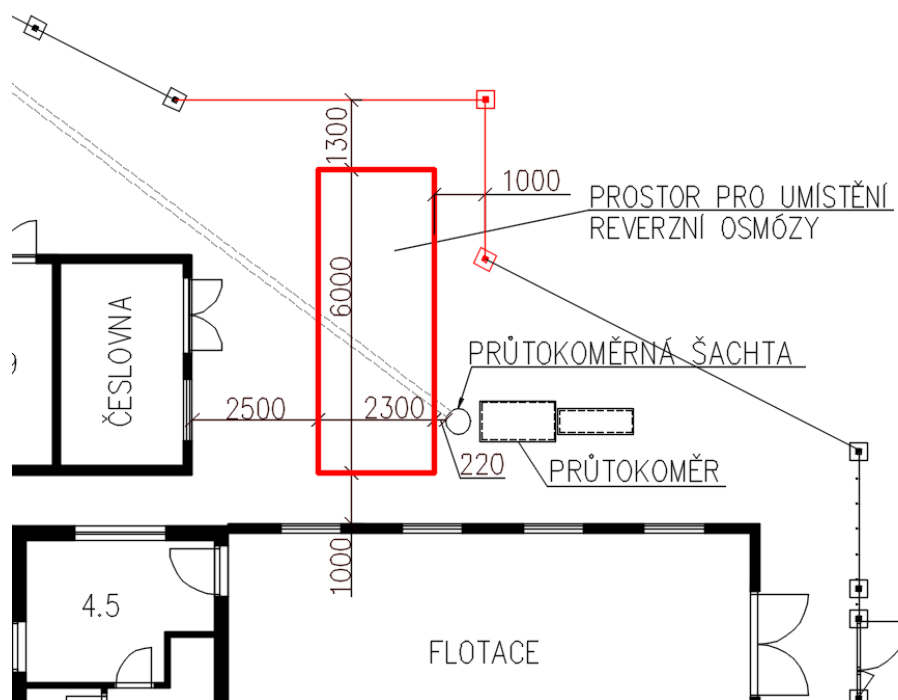
Technologické schéma a půdorysný návrh umístění technologie reverzní osmózy.



Obr. 46 Technologické schéma reverzní osmózy

Technologické schéma uváděné na obr. 46 je jedno z mnoha možných řešení. Dalším řešením může být změna povrchových čerpadel za ponorná, odtok koncentráту do kalojemu atd. Pokud by se zacházelo s koncentrátem jako s odpadem, zvýšila by se tím ochrana životního prostředí.

Ideální umístění reverzní osmózy vzhledem k nádržím je zobrazeno na obrázku 47.



Obr. 47 Situace umístění reverzní osmózy

Závěr

Reverzní osmóza je výborným řešením, při kterém dojde k úspoře nákladů na provoz, zvýšení ochrany životního prostředí a šetrnému hospodaření s pitnou vodou. Tato technologie může mít také pozitivní vliv také na závod. Tím je myšlena možnost neprovádět poměr ředění s vodou z ultrafiltrace a využívat pouze vodu z reverzní osmózy. Při této variantě sice dojde k mírnému zvýšení nákladů, avšak je předpokládána návratnost v podobě zvýšené životnosti ostatních strojních zařízení, které přijdou s touto vodou do styku. Dále bych chtěl zmínit možnou investici do vyrovnávacích nádrží. Zda budou potřeba, je nutné rozhodnout podrobným sledováním denní potřeby a následným výpočtem.

3.2.10 Současný stav dočišťovací (retenční) nádrže

Dočišťovací nádrž o rozloze 1600 m² se nachází jako poslední bariéra mezi vodami z ČOV a přírodním recipientem. Jedná se o umělou vodní nádrž. Podložní vrstva nádrže se skládá, z písčitého podsypu, geotextillie, těsnicí fólie, štěrkového podsypu a vrstvy kamenné dlažby. Původně se odběr vzorku vyčištěné odpadní vody prováděl na odtoku z ČOV. V současné době bude měření jakosti vody probíhat na odtoku z retenční nádrže. Do této nádrže natéká kromě vody z ČOV také voda dešťová.



Obr. 48 Dočišťovací nádrž z ptačí perspektivy v letním měsíci [5]

Z obrázku 48 je na první pohled patrné celkové pokrytí hladiny zelenými řasami a sinicemi. Do určitého měřítka je výskyt fytoplanktonu (řasy a sinice) žádoucí, jelikož slouží jako potrava pro drobné živočichy a podporuje samočistící efekt nádrže. Při pokrytí celé hladiny však dochází ke zhoršení přestupu kyslíku do retenční nádrže. Také se mění způsob čištění. Přejíždí se z aerobního čištění na anaerobní čištění. Anaerobní způsob čištění může doprovázet zápach, má negativní vliv na oživení a kyslíkový režim nádrže. Navíc při plném pokrytí fytoplanktonu dochází ke zvyšování hodnoty BSK₅ až o 90 %. [16]



Obr. 49 Dočišťovací nádrž v zimním měsíci

V zimním období je pro změnu patrné zamrzání hladiny. To může mít za následek zamezení růstu fytoplanktonu a nedostatečný přestup kyslíku.

Pro dobrou účinnost čištění je také nutné sledovat celý systém dočišťovací nádrže. Například při stáří sedimentu více jak 3 roky, může docházet k uvolňování fosforu a jiných látek ze sedimentu. Tím se i přes sebelepší způsob čištění může objevit zhoršená jakost vody. To může mít za následek porušení povolených limitů na odtoku. [16]



Obr. 50 Odstraňování sedimentu v roce 2011



Obr. 51 Odstraňování sedimentu v roce 2011

3.2.11 Intenzifikace dočišťovací (retenční) nádrže

Před samotnou úpravou dočišťovací nádrže doporučuji provést odstranění sedimentu. K poslednímu odbagrování sedimentu došlo v roce 2011. Jednalo se o první odstranění usazenin od spuštění nádrže v roce 2000. Zbavení sedimentu bylo provedeno po více jak 11 letech. Jelikož dříve bylo měření odtoku prováděno za ČOV, jak bylo zmíněno, nebylo potřeba provádět intenzivnější péči o nádrž. Po skončení intenzifikace ČOV bude však měření probíhat za malou vodní nádrž. Proto doporučuji provést odbagrování v nejbližším období a další odstraňování provádět každé 3 roky. Případně jako efektivnější a ekonomičtější možnost bych doporučil podrobné sledování hodnot kvality vody na odtoku a jejich porovnávání s předchozími měření. Výsledkem by bylo určené období, kdy je nutné provést odstranění sedimentu.

V dalším kroku zlepšení čistícího efektu nádrže, se zaměříme na dodatečné okysličení nádrže, které zvýší dočišťovací účinnost a zabrání zamrznání vodní hladiny v zimním období.

Mechanické aerátory

Proti zamrznání a pro okysličení nádrže doporučuji umístit plovoucí aerační zařízení. Jednalo by se například o provzdušňovací a zároveň míchací zařízení značky Triton od firmy ZEMSKÝ Rohatec, s.r.o. Převážně v letních podmínkách se zabrání vzniku anaerobní zóny a tím se částečně zabrání přemnožení sinic po celé ploše nádrže.



Obr. 52 Provzdušňovací zařízení Triton [19]

Filtrace

Dalším mechanickým způsobem pro snižování hodnot znečištění je použití filtrace. Jako filtrační náplň se nejčastěji využívá písek a štěrk. Veškeré tyto filtry se často doplňují provzdušňovacím zařízením. Tento druh předčištění bych doporučoval umístit před přítokem dešťových vod do nádrže.

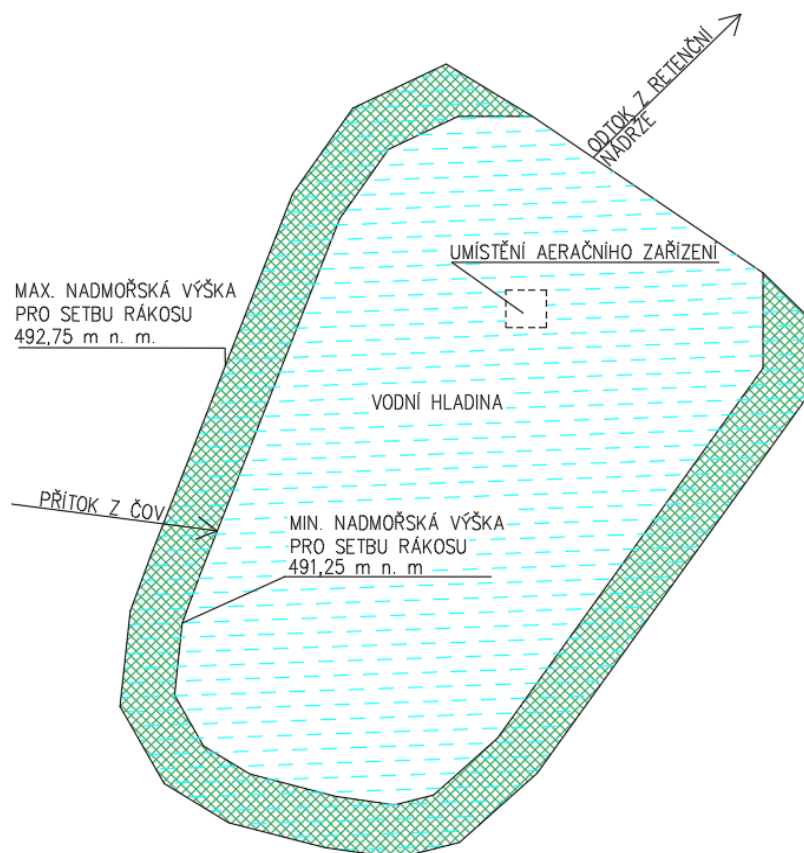
Plovoucí mokřady

Jedná se biologické pokrytí části nádrže. Při využití této metody intenzifikace se uvádí zlepšení účinnosti odstranění BSK_5 až 62,5 % BSK_5 . U $CHSK_{cr}$ se uvádí zvýšení účinnosti až o 57,5 % $CHSK_{cr}$. U fosforu dochází k odstranění až 75 % znečištění. U celkového dusíku dochází k odstranění až 56 % znečištění. Tyto plovoucí mokřady také zachycují plovoucí řasy. Tyto uvedené hodnoty účinnosti čištění byly měřeny u mokřad druhu *Eichhornia crassipes*. Tento druh je však nevhodný do našeho podnebného pásu. Jako alternativu lze použít například Rákos obecný, Orobinec širokolistý a úzkolistý, Chrastice rákosovitá, Zblochan vodní, Skřípinec jezerní, Zevar vzpřímený a Sítina rozkladitá, Blatouch bahenní, Kosatec žlutý, Kyprej vrbice a Tužebník jilmový. Hodnoty účinnosti se pak mohou odlišovat. Do našich podmínek doporučuji setbu rákosu obecného (obr. 51). Tato rostlina je vhodná do stojatých, nebo mírně tekoucích eutrofizovaných vod. Tato rostlina dorůstá do výšky až 4 metrů a snáší hloubku až 1,5 m. Tuto rostlinu nepříznivě ovlivňuje nedostatek živin, sucho a zatopení. Pro klíčení jsou optimální teplotní podmínky 20 °C – 25 °C. Výhodou této rostliny je, že snižuje množství fosforu

v sedimentu a tím může dojít k oddálení doby odbahnění nádrže. Nevýhodou této rostliny je vytváření zelené hmoty a invazivnost. [16]



Obr. 53 Rákos obecný [26]



Obr. 54 Půdorysné uspořádání technologie intenzifikace malé vodní nádrže

Mechanické odstraňování řas

Další možností, jak se zbavit plovoucího fytoplanktonu, který se v letních měsících přemnoží, je mechanické odstraňování z hladiny. Vzhledem k rozloze nádrže, by mělo dostačovat řešení za použití ručního stíracího zařízení.

Nasazení ryb

Také existuje varianta, kdy se do nádrže vysadí vodní živočichové. Zejména by se jednalo o sladkovodní ryby. V případě tohoto řešení je nutné použít zároveň provzdušňovací zařízení, které zabezpečí dostatečný přísun kyslíku pro vodní živočichy. Tato varianta (chov ryb) se již dříve v nádrži nacházela. Došlo však k osídlení nádrže vydrami. Tyto živočichové jsou schopni vymýtit ryby téměř veškerých rozměrů. Jedinou možnou obranou je elektrický ohradník okolo nádrže. Z hlediska ryb by se mohlo například o Karas obecný, Amur Bílý atd.

Porovnání přítoku z membrány s odtokem z dočišťovací nádrže

Tab. 40 Porovnání přítoku z membrány s odtokem z dočišťovací nádrže

Ukazatele	Přítok na dočišťovací nádrž	Odtok z dočišťovací nádrže	Jednotky
BSK ₅	<1	3,5	mg/l
CHSK _{Cr}	47	80	mg/l
NL	< 2	4,7	mg/l
N-NH ₄ ⁺	2,5	6,52	mg/l
Pc	1,6	2,47	mg/l
N-NO ₃ ⁻	10	5,48	mg/l
Celkové kovy	6,14	-	mg/l
NEL	<0,1	-	mg/l
C10 – C40	<50	<50	µg/l

Při pohledu na tabulku 40 je patrné zhoršení vody na odtoku z dočišťovací nádrže. Jedná se o poslední odběr v roce 2017. Důvodů zhoršení jakosti je hned několik. Jako například zmíněné vysoké množství sedimentů, přítok dešťových vod a vyšší látkové zatížení odtékající z ČOV během intenzifikace. Pro zajímavost byly sledovány hodnoty odtoku i z minulých let a ve většině případů docházelo ke zlepšení jakosti vody na odtoku z dočišťovací nádrže.

Závěr

Doporučuji provést alespoň některá zmíněná opatření ke zlepšení jakosti vody v dočišťovací nádrži. Také je nutné zvýšit celkovou péči o nádrž a vložit investice do její údržby. Těmito opatřeními bychom měli v horším případě dosáhnout stejné jakosti vody, jako má voda na odtoku z ČOV a v lepším případě zvýšení jakosti vody na odtoku z nádrže.

4 ZÁVĚR

Teoretická část práce nás seznámila s některými způsoby čištění městských a průmyslových odpadních vod a o možnostech jejich kombinace. Především se jednalo o flotaci, odstraňování tuku pomocí lapolu, čištění pomocí česlí, aktivační nádrže, dosazovací nádrže, membránové technologii a dočištění pomocí malé vodní nádrže.

Praktická část práce popsala stávající způsob čištění na průmyslovém závodě firmy Bosch Diesel s. r. o.. Provedla posouzení současného stavu ČOV, které rozhodlo, že volba intenzifikace byla správným řešením. Dále nás informovala o stavu po intenzifikaci, správnosti návrhu, jejich nedostatcích, rizik a přinesla návrhy na zlepšení fungování ČOV. Nedostatky v intenzifikaci nebyly téměř žádné. Jediné, co jsem vytkl, je instalace pouze jednoho zařízení česlí a nedostatečné měření úniku olejů a ropných látek. Z hlediska legislativy jsem označil za nedostatečné zvolené emisní limity, které byly zvoleny jako hodnoty pro běžné vody splaškové. Část práce nám také představila rozdíl mezi hodnotami uváděnými v literatuře a praxí. Dále byla navržena dodatečná intenzifikace, která se týkala návrhu reverzní osmózy. Reverzní osmóza se zejména týkala jejího použití, návrhu technologického schématu a umístění samotné technologie. Po instalaci zmíněné technologie bude možné znovu využívat vyčištěnou odpadní vodu jako vodu chladicí. Tento krok povede ke snížení nákladů na vodu. V poslední fázi práce jsou provedeny možné návrhy k intenzifikaci čištění dočišťovací nádrže za ČOV. Jedná se především o odstranění sedimentu, instalaci aeračního a míchacího zařízení, chov ryb, setba rostlin a ruční stírání hladiny v letních měsících.

5 POUŽITÉ ZDROJE

- [1] MALÝ, Josef a Jitka MALÁ. Chemie a technologie vody. 2., dopl. vyd. Brno: ARDEC, c2006. ISBN 80-86020-50-9.
- [2] *Ústav vodního hospodářství obcí* [online]. 2010 [cit. 2010-11-08]. Dostupné z WWW: <water.fce.vutbr.cz>.
- [3] Ani čistá voda není tak úplně čistá. *Masarykova univerzita* [online]. Brno: Masarykova univerzita, Martina Fojtů, 2012 [cit. 2017-01-23]. Dostupné z: <https://www.online.muni.cz/tema/3227-ani-cista-voda-neni-tak-uplne-cista>
- [4] Výskyt a zdravotní rizika zbytků humánních léčiv v pitných vodách. *Státní zdravotní ústav* [online]. Praha: MUDr. Kožíšek, 2012 [cit. 2017-01-23]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/centrum-hygieny-zivotniho-prostredi/vyskyt-a-zdravotni-rizika-zbytku-humannich-leciv-v-pitnych>
- [5] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2017-01-23]. Dostupné z: www.mapy.cz
- [6] *Čistírny odpadních vod pro ekvivalentní počet obyvatel (EO) větší než 500* Zdroj: <http://www.tzb-info.cz/normy/csn-75-6401-2014-10>. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [7] HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX. Stokování a čištění odpadních vod. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-25350.
- [8] Technologická zařízení. *Ekosystem* [online]. Praha: EKOSYSTEM spol. s r.o., ©2005-2012 [cit. 2017-01-23]. Dostupné z: <http://www.plasty-ekosystem.cz/dalsi-vyrobky/technologicka-zarizeni>
- [9] Fotogalerie. *Fontana* [online]. Brno: FONTANA R, ©2017 [cit. 2017-01-23]. Dostupné z: <http://www.fontanar.cz/fotogalerie.php> nařízení vlády č. 401/2015 Sb.
- [10] MALÝ, Josef a Petr HLAVÍNEK. Čištění průmyslových odpadních vod. Brno: NOEL 2000, 1996. ISBN 80-86020-05-3.
- [11] HLAVÍNEK, Petr. *Aktivační čistírny odpadních vod se separací kalu ponořeným membránovým modulem: Activated sludge wastewater treatment plants with sludge separation by means of submerged membrane module : teze přednášky k profesorskému jmenovacímu řízení v oboru Vodní hospodářství a vodní stavby*. Brno: VUTIUM, 2012. ISBN 978-80-214-4436-2.
- [12] REJCHRT, Pavel. *Membránové technologie – zlom v pojetí čistíren odpadních vod nebo greenwashing: Případová studie jedné modernizace*. Brno, 2012. Bakalářská diplomová práce. Masarykova Univerzita. Vedoucí práce Mgr. Bohuslav Binka, Ph.D.
- [13] Modules. *Alfa Laval* [online]. Lund: Alfa Laval Corporate AB, ©2015 [cit. 2017-01-31]. Dostupné z: <http://www.alfalaval.cz/products/separation/membranes/Modules/>

- [14] Reverzní osmóza. *MemBrain* [online]. Stráž pod Ralskem: MemBrain, ©2017 [cit. 2017-01-31]. Dostupné z: <https://www.membrain.cz/reverzni-osmoza.html>
- [15] HUBER šnekový odvodňovač kalu S-PRESS. *Huber* [online]. Brno: Huber CS, ©2017 [cit. 2017-02-06]. Dostupné z: <http://www.hubercs.cz/cz/produkty/zpracovani-kalu/odvodneni/huber-snekovy-odvodnovac-kalyu-s-press.html>
- [16] Biologické nádrže využívané k čištění a dočišťování odpadních vod. *Asio* [online]. Brno: Asio, ©2011-2017 [cit. 2017-02-06]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/356.biologicke-nadrze-vyuzivane-k-cisteni-a-docistovani-odpadnich-vod>
- [17] HAŠLER, Petr. *Sinice a řasy v životním prostředí našich ryb* [online]. Olomouc, 2006 [cit. 2017-02-06]. Dostupné z: <http://www.rybar.info/rasy1.pdf>
- [18] ŠÁLEK, Jan a Václav TLAPÁK. *Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2006. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-86769-74-7.
- [19] Typy provzdušňovacích zařízení. *Zemský Rohatec* [online]. Rohatec: ZEMSKÝ Rohatec, ©2010 [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: <http://www.zemsky.cz/provzdusnovaci-zarizeni/typy-provzdusnovacich-zarizeni>
- [20] *Stratiotes aloides* (řezan pilolistý) (čeled' Hydrocharitaceae, vodňankovitě). *Botanická zahrada Liberec* [online]. Liberec: Botanická zahrada Liberec [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: <http://www.botaniliberec.cz/foto/detail/?f=988>
- [21] Eda Environmental Ltd. *Eda Environmental Ltd* [online]. Canada: Eda Environmental, [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.edaenv.ca/>
- [22] Lenntech. *Eda Environmental Ltd* [online]. Delft: Lenntech, ©1998-2017 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.lenntech.nl/producten/Microdyn-Nadir/BC416F-C104-UP150/BC-416F-C104-UP-150/index.html>
- [23] Chemické listy. *Chemické listy* [online]. Praha: Chemické listy, - [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1999_07_432-440.pdf
- [24] Power Plastics s.r.o. *Power Plastics* [online]. Ždár nad Sázavou: Power Plastics, - [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.powerplastics.cz>
- [25] Ekomonitor. *Ekomonitor* [online]. Chrudim: Ekomonitor, - [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.ekomonitor.cz/vyrobky/provzdusnovaci-veze>
- [26] Herbář wendys. *Herbář wendys* [online]. -: Herbář wendys, ©2017 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://botanika.wendys.cz/index.php/14-herbar-rostlin/781-phragmites-australis-rakos-obecný>

- [27] BKG - úprava vody s.r.o. *Membránové technologie* [online]. Hradec Králové: Ekomonitor, ©2017 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.bkg.cz/membranove-technologie-70>
- [28] Chudoba J a kol.: Biologické čištění odpadních vod. 1991, SNTL Praha

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Orientační hodnoty produkce specifického znečištění v g/d na 1 obyvatele (populační ekvivalent) [7].....	4
Tab. 2 Množství jednotlivých látek obsažených v moči [1]	5
Tab. 3 Emisní standardy pro vody vypouštěné z městské čistírny v mg/l [11]	8
Tab. 4 Hodnoty oxidačně redukčního potenciálu v závislosti na prostředí [1] [7].....	11
Tab. 5 Základní návrhové parametry aktivace [1] [7]	13
Tab. 6 Rozlišení aktivovaného kalu [1] [7].	13
Tab. 7 Základní vlastnosti MF [10] [11] [12]	16
Tab. 8 Základní vlastnosti UF [10] [11] [12].....	16
Tab. 9 Základní vlastnosti NF [10] [11] [12].....	17
Tab. 10 Základní vlastnosti RO [10] [11] [12]	17
Tab. 11 Výhody a nevýhody membránových uspořádání [12].....	18
Tab. 12 Kvalitativní srovnání různých membránových uspořádání [12]	19
Tab. 13 Technologické parametry [10].....	21
Tab. 14 Technologické parametry [10].....	22
Tab. 15 Přehled jednotlivých závodů v Jihlavě a jejich charakteristika	25
Tab. 16 Rozměry nádrží.....	30
Tab. 17 Rozměry nádrží.....	31
Tab. 18 Rozměry uskladňovací nádrže	32
Tab. 19 Návrhové údaje flotace	35
Tab. 20 Přítok na flotaci	36
Tab. 21 Odtok z flotace.....	36
Tab. 22 Projektované průtokové parametry	37
Tab. 23 Projektované látkové zatížení na přítoku do čerpací stanice	38
Tab. 24 Rozdělení průtoků na ČOV	38
Tab. 25 Povolené množství vypouštěných látek z čistírny odpadních vod	39
Tab. 26 Počet překročení povoleného látkového znečištění ve vyčištěných odpadních vodách.....	39
Tab. 27 Skutečný přítok na čerpací stanici za část roku 2016	40
Tab. 28 Poměr nutrientů v odpadní vodě.....	41
Tab. 29 Kalový index aktivovaného kalu	41
Tab. 30 Rozměry a užité objemy nádrží po rekonstrukci	47
Tab. 31 chválené hydraulické návrhové parametry nové ČOV	47
Tab. 32 Navržené látkové zatížení intenzifikované ČOV pro 2400 EO ₆₀	48

Tab. 33 Některé základní parametry biologické části.....	48
Tab. 34 Základní vlastnosti membránového modulu.....	50
Tab. 35 Kapacitní průtok membránami	51
Tab. 36 Povolené množství vypouštění látek z ČOV (u stavby v trvalém provozu) pro 2400 EO	51
Tab. 37 Porovnání jakosti vody před a po intenzifikaci	59
Tab. 38 Požadované vlas. pro chladicí vody a naměřené hodnoty po ultrafiltraci	61
Tab. 39 Porovnání nákladů reverzní osmózy s využíváním pitné vody	62
Tab. 40 Porovnání přítoku z membrány s odtokem z dočišťovací nádrže.....	71

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Samočistící česle nainstalované v průmyslovém závodu (před intenzifikací)	9
Obr. 2 Systém s předřazenou denitrifikací a dosazovací nádrží	12
Obr. 3 Ukázka šnekového lisu vyústěného do přistaveného kontejneru	14
Obr. 4 Filtrační spektrum membránových separačních procesů [12]	15
Obr. 5 Deskový modul [13]	19
Obr. 6 Odlučovač Lapol T	20
Obr. 7 Schéma koalescenčního filtru	20
Obr. 8 Procesy čištění v aerobních biologických nádržích (Šálek, 1997) [16]	23
Obr. 9 Grafický přehled částí světa, ve kterých se nachází závody, či pobočky	24
Obr. 10 Situace závodu III	26
Obr. 11 Schéma rotačního filtru	28
Obr. 12 Schéma flokulátoru	28
Obr. 13 Schéma flotačního zařízení	29
Obr. 14 Schéma čerpací stanice a česlí	29
Obr. 15 Technologické schéma části „velká linka“ a dosazovací nádrž	30
Obr. 16 Technologické schéma části „malá linka“ a dosazovací nádrž	31
Obr. 17 Uskladňovací nádrž kalu	32
Obr. 18 Technologické schéma zpracování kalu na ČOV	32
Obr. 19 Technologické schéma chemického hospodářství	33
Obr. 20 Půdorysné uspořádání podzemních nádrží	33
Obr. 21 Půdorysné uspořádání nadzemních částí	34
Obr. 22 Stávající objekt (strojovna) na ČOV ze vstupní strany	34
Obr. 23 Dočišťovací nádrž za ČOV	35
Obr. 24 Průtokové množství na ČOV	40
Obr. 25 Aktivační nádrž „malá linka“	42
Obr. 26 Aktivační nádrž „velká linka“	43
Obr. 27 Dosazovací nádrž „malá linka“	43
Obr. 28 Dosazovací nádrž „velká linka“	44
Obr. 29 Půdorysné uspořádání podzemních nádrží	46
Obr. 30 Půdorysné uspořádání nadzemních částí	46
Obr. 31 Membránový modul	50
Obr. 32 Budova česlí a chemického hospodářství	52
Obr. 33 Samočistící strojní česle	52

Obr. 34 Čerpadla pro dávkování chemie	53
Obr. 35 Nádoby na chemikálie a zachytné vany proti jejich úniku	53
Obr. 36 Shrabky z česlí (vlevo po intenzifikaci a vpravo před intenzifikací)	54
Obr. 37 Instalace membránových modulů	54
Obr. 38 Náhled do membránové komory	55
Obr. 39 Strojovna 3 (vlevo) pro strojní vybavení, původní budova (vpravo)	55
Obr. 40 Zdvihací zařízení a strojovna 3	56
Obr. 41 Nová dmychadla pro nitrifikaci membránové komory a jedno jako záložní (vpravo dole obrázek původního dmychadla pro porovnání)	56
Obr. 42 Akumulační nádrž permeátu a dvě zubová čerpadla	57
Obr. 43 Pohled do akumulční nádrže permeátu	58
Obr. 44 Frekvenční měniče pro dmychadla a čerpadla permeátu (vlevo)	58
Obr. 45 Rozdělení vody na závodě III	62
Obr. 46 Technologické schéma reverzní osmózy	63
Obr. 47 Situace umístění reverzní osmózy	64
Obr. 48 Dočišťovací nádrž z ptáčích perspektivy v letním měsíci [5]	65
Obr. 49 Dočišťovací nádrž v zimním měsíci	66
Obr. 50 Odstraňování sedimentu v roce 2011	66
Obr. 51 Odstraňování sedimentu v roce 2011	67
Obr. 52 Provzdušňovací zařízení Triton [19]	68
Obr. 53 Rákos obecný [26]	69
Obr. 54 Půdorysné uspořádání technologie intenzifikace malé vodní nádrže	69

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

CHSK _{Cr} ...	Chemická spotřeba kyslíku [mg/l]
BSK ₅ ...	Biochemická spotřeba kyslíku [mg/l]
ČOV...	Čistírna odpadních vod
pH..	Záporný dekadický logaritmus vodíkových iontů
IR...	Interní recirkulace
NL...	Nerozpuštěné látky
NEL...	Nepolární extrahovatelné látky
C10-C40...	Aromatické uhlovodíky
Pc...	Celkové množství fosforu
WWTP...	ČOV
Ncelk...	Celkové množství dusíku
Pcelk...	Celkové množství fosforu
KI...	Kalový index
NF...	Nanofiltrace
MF...	Mikrofiltrace
UF...	Ultrafiltrace
RO...	Reverzní osmóza
AOX...	Halogenované organické sloučeniny
EL...	Extrahovatelné látky
Q _{24m} ...	Průměrný denní průtok
Q _d ...	Maximální denní průtok
Q _{hmax} ...	Maximální hodinový průtok
B _x ...	Látkové zatížení
B _v ...	Objemové zatížení
Θ _x ...	Doba zdržení
Θ...	Stáří kalu

SEZNAM PŘÍLOH

1. Technologické schéma ČOV

SUMMARY

The theoretical part of the work acquaints us with some ways of cleaning urban and industrial waste water and the possibilities of their combination. Primarily it was flotation, fat trap, cleaning with help bar screen, activation tank, settling tank, membrane technology, and water treatment with a small water tank.

The practical part of the work described the existing industrial WWTP in the company Bosch Diesel. This part decided, that the intensification of WWTP was the right solution. It also informed us of the state of intensification, the accuracy of the proposal, its shortcomings, the risks and the proposals for improving the functioning of the WWTP. Weaknesses in intensification were almost none. The only thing I have said is the installation of only one bar screen and a lack of measurement of oil and oil leakage. From the point of view of the legislation, I have labeled as insufficient the selected emission limits, which have been chosen as values for conventional sewage. Part of the thesis also presented a difference between the values presented in literature and practice. The next was designed additional intensification, which was about reverse osmosis design. Reverse osmosis was related to possibilities technology, the design of the technological scheme and the location of the technology. After installation of the technology, it will be possible to reuse purified water as cooling water. This will reduce the cost of water. At the last stage of the thesis, are made possible to intensification the cleaning of the treatment tank behind WWTP. It is sediment removal, installation of aeration and mixing equipment, fish breeding, planting and manual wiping in the summer months.