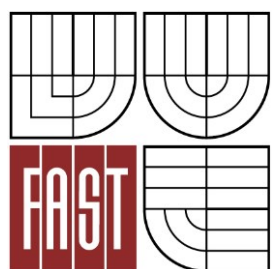




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

NÁVRH ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD V LOKALITĚ S EXTRÉMNÍMI POŽADAVKY NA JAKOST VYČIŠTĚNÝCH VOD

DESIGN OF WWTP AT LOCALITY WITH EXTREME DEMANDS ON QUALITY OF TREATED
WASTEWATER

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

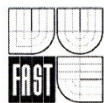
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. RADEK KRUPICA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. PETR HLAVÍNEK, CSc.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště Ústav vodního hospodářství obcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant Bc. Radek Krupica

Název Návrh čistírny odpadních vod v lokalitě s extrémními požadavky na jakost vyčištěných vod.

Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Hlavínek, CSc.

Datum zadání diplomové práce 31. 3. 2012

Datum odevzdání diplomové práce 11. 1. 2013

V Brně dne 31. 3. 2012

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu



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

Podklady a literatura

- [1] Metcalf & Eddy. Wastewater engineering: treatment and reuse (4th International Edition). McGraw-Hill, New York. 2003. ISBN 0-07-041690-7.
- [2] Van Bente a kol.: Membrane Bioreactors, Operation results of an MBR WWTP, STOWA, ISBN: 1843391732
- [3] Grady, C.P.Leslie ; Daigger, Glen T. ; Love, Nancy G. ; Filipe, Carlos D.M. Biological Wastewater Treatment, Third Edition, IWA Publishing, 2011. 991 s. ISBN 9780849396793
- [4] Water Environment Federation Technical Practice Committee. Nutrient Removal, WEF MOP 34 (Water Resources and Environmental Engineering Series). McGraw-Hill Professional; 1 edition. 2010668 s. ISBN 9780071737098.
- [5] Hlavínek P., Mičín J., Prax P.: Příručka stokování a čištění, ISBN 80-86020-30-4, NOEL 2000, Brno 2001
- [6] Krejčí a kol.: Odvodnění urbanizovaných území - koncepční přístup, ISBN 80-86020-39-8, NOEL 2000, Brno 2002
- [7] Sborníky Water Science and Technology, IWA Publishing

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Diplomová práce bude zaměřena na řešení extrémních požadavků na čištění odpadních vod v oblastech zvýšeného zájmu (Národní parky, Chráněné krajinné oblasti). Práce je řešena na základě spolupráce s praxí – firmou AQUA PROCON. Bude zpracován přehled postupů a technologií, zejména s ohledem na snižování nutrientů. V druhé části práce bude zpracován projekt čistírny odpadních vod v konkrétní lokalitě Moravského Krasu. Podklady si diplomant zajistí po dohodě s vedoucím práce v rámci diplomového semináře u fy AQUA PROCON. Při zpracování textů, výpočtů a výkresové části dokumentace bude v maximální míře využita výpočetní technika.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozdělte 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).

.....

doc. Ing. Petr Hlavínek, CSc.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá technologiemi čištění odpadních vod, které dosahují vysoké kvality vyčištěné vody, zejména s ohledem na odstraňování nutrientů. V úvodu práce jsou popsány zvláště chráněná území ČR, kde by měly být kladeny maximální nároky na kvalitu vypouštěných odpadních vod. Následuje popis legislativních požadavků na jakost vypouštěných odpadních vod. Dále je zpracován vliv nutrientů – dusíku a fosforu na životní prostředí a principy jejich odstraňování z odpadních vod. V další části je uveden přehled technologických procesů používaných k dosažení dané požadované kvality odtoku. Na závěr je zpracován přehled technologií používaných jako terciální stupeň čištění odpadních vod s důrazem na membránové technologie.

Druhou částí práce je studie návrhu čistírny odpadních vod s membránovou technologií pro obce Sloup a Šošůvka, které se nachází v chráněné krajinné oblasti Moravský kras.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the wastewater treatment technologies by means of which high quality of the treated wastewater is attained, especially with regard to removing nutrients.

The introduction of the thesis contains, among others, descriptions of the reserves in the Czech Republic where it is extremely important to insist on the highest quality of the discharged wastewaters. Then follows a summary of the quality requirements on the discharged wastewaters as stipulated in the legislation. Furthermore, I analyse the impact of the nutrients – nitrogen and phosphorus – on the environment and the principles of their removal from the wastewaters. In the next section I concentrate on the technological processes by means of which the required quality of the wastewater is achieved. The conclusion includes a list of technologies used as the tertiary wastewater treatments with emphasis on membrane technologies.

The second part of my thesis is a study of a project of a wastewater treatment plant (WWTP) with membrane technology for the villages of Sloup and Šošůvka located within the protected landscape area of Moravian Karst.

KLÍČOVÁ SLOVA

čistírna odpadních vod, nutriety, dusík, fosfor, nitrifikace, denitrifikace, membránová separace, třetí stupeň čištění

KEYWORDS

wastewater treatment plant, nutrients, nitrogen, phosphorus, nitrification, denitrification, membrane separation, tertiary treatment

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KRUPICA, Radek. *Návrh čistírny odpadních vod v lokalitě s extrémními požadavky na jakost vyčištěných vod*. Brno, 2013. 101 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Hlavínek, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci, Návrh čistírny odpadních vod v lokalitě s extrémními požadavky na jakost vyčištěných vod, vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pod vedením vedoucího diplomové práce doc. Ing. Petra Hlavínka, CSc.

V Brně dne

.....

Bc. Radek Krupica

PODĚKOVÁNÍ

Úvodem této diplomové práce bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli potřebné informace k dané problematice, zvláště pak děkuji svému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Petru Hlavínkovi, CSc. za cenné rady, připomínky a náměty, čímž mi významně pomohl ke zpracování zadaného tématu.

V Brně dne

.....

Bc. Radek Krupica

OBSAH

1	ÚVOD	11
2	ZVLÁŠTĚ CHRÁNĚNÁ ÚZEMÍ	12
2.1	Národní parky	12
2.2	Chráněnné krajinné oblasti	12
2.2.1	Moravský kras	13
2.3	Národní přírodní rezervace	14
2.4	Přírodní rezervace	14
2.5	Národní přírodní památky	15
2.6	Přírodní památky	15
3	LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY NA JAKOST VYPOUŠTĚNÝCH ODPADNÍCH VOD	16
3.1	Citlivé oblasti	16
3.2	Nejlepší dostupná technologie	17
4	NUTRIENTY A JEJICH EFEKT NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ	18
4.1	Dusík.....	18
4.1.1	Amoniakální dusík	19
4.1.2	Dusičnany	20
4.1.3	Dusitany	20
4.1.4	Koloběh dusíku	21
4.2	Fosfor.....	21
4.2.1	Koloběh fosforu	23
4.3	Dusík a fosfor v odpadních vodách	24
4.4	Přeměny dusíku a fosforu v ŽP	24
4.4.1	Oxidace amoniaku a dusitanů	24
4.4.2	Denitrifikace	24
4.4.3	Amonifikace	24
4.4.4	Akumulace fosforu v organismech	25
4.4.5	Fotochemický rozklad	25
4.4.6	Efekt slanosti	25
4.5	Vliv nutrientů na ŽP	25
4.5.1	Eutrofizace	25

5	PRINCIPY ODSTRAŇOVÁNÍ DUSÍKU	27
5.1	Biologické.....	27
5.1.1	Biomasa ve vznosu.....	27
5.1.2	Biofilm.....	28
5.1.3	Hybridní.....	28
5.2	Fyzikálně - chemické.....	28
5.2.1	Chlorace.....	28
5.2.2	Stripování amoniaku.....	29
5.2.3	Iontová výměna.....	30
5.2.4	Membránová separace.....	31
6	PRINCIPY ODSTRAŇOVÁNÍ FOSFORU.....	32
6.1	Biologické odstraňování fosforu.....	32
6.2	Chemické odstraňování fosforu	34
6.2.1	Srážení solemi železa a hliníku.....	35
6.2.2	Srážení vápnem.....	36
7	PROCESY BIOLOGICKÉHO ODSTRAŇOVÁNÍ DUSÍKU.....	37
7.1	Nitrifikace	37
7.2	Denitrifikace	37
8	ROZDĚLENÍ PROCESŮ K ODSTRAŇOVÁNÍ NUTRIENTŮ DLE POŽADOVANÉ KVALITY ODTOKU.....	40
9	VYBRANÉ PROCESY PRO ODSTRAŇOVÁNÍ DUSÍKU.....	42
9.1	Anammox®	42
9.2	Sharon®	42
9.3	Denitrifikační filtry	43
9.3.1	Tetra Denite®.....	43
9.3.2	Leopold®.....	44
9.3.3	Biostyr®.....	45
10	TERCIÁLNÍ STUPEŇ ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD.....	46
10.1	Filtrace.....	46
10.1.1	Pískové filtry.....	48
10.1.2	Vícevrstvé filtry.....	49
10.1.3	Zemní filtry.....	49
10.2	Biologické nádrže.....	50
10.3	Speciální Technologie	51
10.3.1	Dynasand® D2.....	51
10.3.2	Actiflo®.....	51
10.3.3	DensaDeg®.....	52
10.3.4	CoMag™.....	53

10.3.5	Blue PRO™	53
10.3.6	Trident® HS	54
10.4	Membránové technologie	55
10.4.1	Tlakové membránové procesy	55
10.4.2	Charakteristika membrán	56
10.4.3	Materiály membrán	58
10.4.4	Uspořádání filtračního procesu	59
10.4.5	Zanášení membrán	60
10.4.6	Čištění membrán	60
10.4.7	Konfigurace membrán	62
10.4.8	ČOV a membránová technologie	65
10.5	Adsorbce	67
10.6	Hygienické zabezpečení odtoku	68
11	PRAKTICKÁ ČÁST – STUDIE ČOV SLOUP	70
11.1	Úvod, účel studie	70
11.2	Identifikační údaje stavby	70
11.3	Podklady	70
11.4	Charakteristika zájmového území	70
11.4.1	Hydrologické poměry	71
11.5	Současný stav	72
11.6	Nový navrhovaný stav – technické řešení	75
11.6.1	Primární stupeň	76
11.6.2	Sekundární stupeň	76
11.6.3	Kalové hospodářství	76
11.7	Technická data	77
11.7.1	Demografické poměry, návrh počtu EO	77
11.7.2	Průtoky na ČOV	77
11.7.3	Koncentrace znečištění na vstupu do ČOV	77
11.7.4	Výstupní parametry	78
11.7.5	Posouzení recipientu – směšovací rovnice	78
11.8	Popis objektů	78
11.8.1	Provozní budova	78
11.8.2	Lapák štěrku	78
11.8.3	Budova mechanického předčištění	79
11.8.4	Dešťová zdrž	80
11.8.5	Aktivační nádrže	81
11.8.6	Budova membránových nádrží	81
11.8.7	Kalové hospodářství	83
11.8.8	Měrné objekty	84
11.9	Zhodnocení studie	84
12	ZÁVĚR	85
13	POUŽITÁ LITERATURA	86

SEZNAM TABULEK	91
SEZNAM GRAFŮ	93
SEZNAM OBRÁZKŮ	94
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	96
SEZNAM PŘÍLOH.....	99
SUMMARY.....	100

1 ÚVOD

Voda je jednou ze základních podmínek života. Bez vody by na Zemi zcela jistě neexistoval život v takové podobě, jak ho známe. I když voda pokrývá téměř 71 % zemského povrchu, je pro člověka drahocennou a ničím nenahraditelnou surovinou, kterou používá nejen v zemědělství při rostlinné a živočišné výrobě, ale i v mnoha průmyslových odvětvích. Sladké vody jsou necelá 3 % veškeré vody na Zemi, přičemž pro člověka je využitelné přibližně 1 %.

Proto by měl každý s vodou nakládat hospodárně a použitou vodu vracet do přírody minimálně v takové kvalitě v jaké ji odebral. Česká republika je pramennou oblastí, bývá také označována jako „střecha Evropy“. Většina vody z ní odtéká do okolních států a následně do moří a oceánu. Proto je v České republice kladen relativně velký důraz na čištění odpadních vod. Na základě Evropské směrnice č. 91/271/EHS, Vodního zákona č. 254/2001 Sb. a Nařízení vlády č. 61/2003 v platném znění, jsou všechny útvary povrchových vod v ČR vymezeny jako citlivé oblasti. Česká legislativa dokonce nařizuje ve většině ukazatelů přísnější limity pro čištění odpadních vod než Evropská směrnice. A je velice pravděpodobné, že v zájmu ochrany životního prostředí se tyto limity budou neustále zpříšňovat.

Se zpříšňováním limitů vzrůstají požadavky na čistírenskou technologii. Tradiční dvoustupňové ČOV mnohdy již nejsou schopny plnit zpříšňující se limity. Proto stále častěji dochází k intenzifikaci stávajících ČOV třetím stupněm čištění nebo dodatečným zvýšeným odstraňováním nutrientů. V oblastech zvýšeného zájmu jako jsou národní parky či chráněné krajinné oblasti je vhodné rovnou navrhovat třetí stupeň čištění i když z hlediska legislativy k tomu investor nemusí být vždy nucen.

Zajímavou alternativou k tradičnímu třetímu stupni čištění odpadních vod se v posledních letech stávají membránové technologie. Jejich velkou výhodou představují malé prostorové nároky, nízké odtokové parametry a hygienické zabezpečení vyčištěných vod. Takto vyčištěné vody lze rovnou využít jako vody užitkové.

2 ZVLÁŠTĚ CHRÁNĚNÁ ÚZEMÍ

Zákon č.114/1998 Sb., o ochraně přírody a krajiny rozlišuje šest níže uvedených kategorií zvláště chráněných území. Všechna zvláště chráněná území mají zákonem stanovené ochranné podmínky a jejich zřizovací předpisy mohou tyto podmínky blíže specifikovat s ohledem na charakter daného území. Pro zvláště chráněná území mohou být také vyhlášena ochranná pásma, ve kterých mohou být omezeny některé činnosti, např. činnost stavební. [46]

Tab. 2.1 Počet a rozlohy zvláště chráněných území ČR k 31. 12. 2010 [7]

	Národní parky	Chráněné krajinné oblasti	Národní přírodní rezervace	Přírodní rezervace	Národní přírodní památky	Přírodní památky
Počet [ks]	4	25	114	799	107	1218
Rozloha [ha]	119 489	1 086 737	28 961	38 316	3915	22 552
% rozlohy ČR [%]	1,51	13,77	0,37	0,48	0,05	0,28

2.1 NÁRODNÍ PARKY

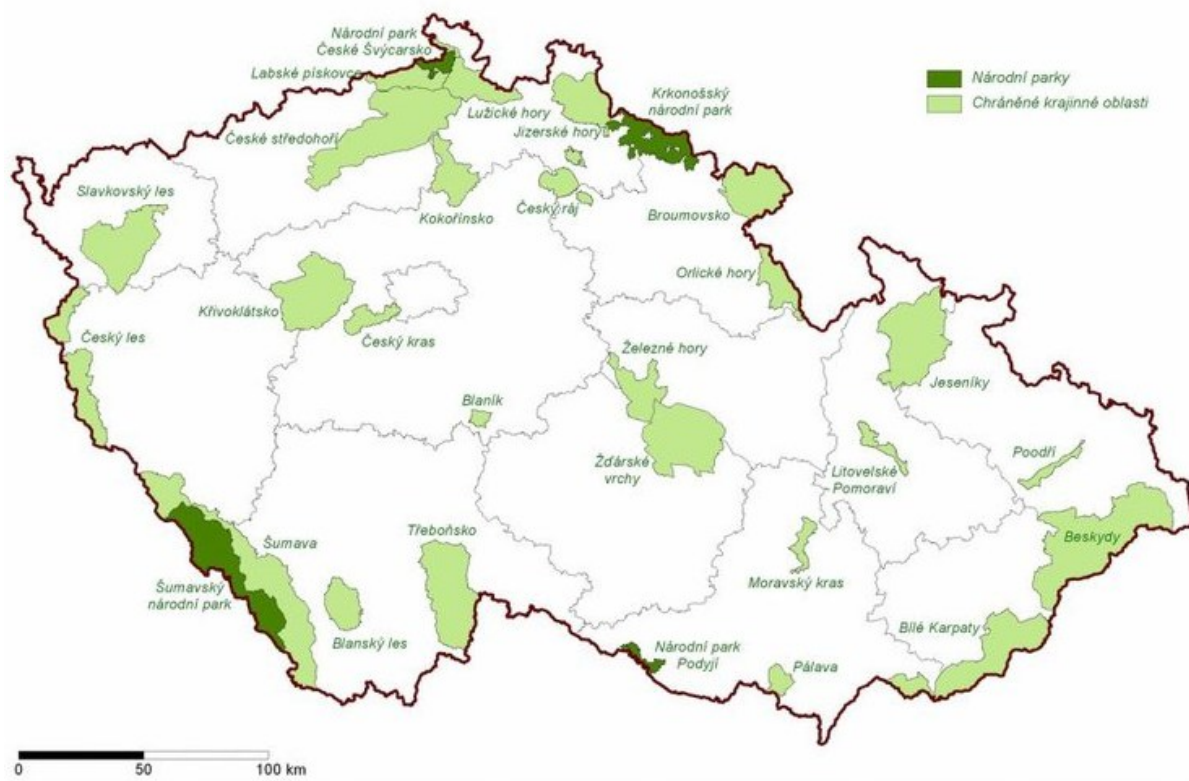
Národní parky tvoří rozsáhlá území, jedinečná v národním nebo mezinárodním měřítku, jejichž značnou část zaujímají přirozené nebo lidskou činností málo ovlivněné ekosystémy, ve kterých rostliny, živočichové a neživá příroda mají mimořádný vědecký a výchovný význam.

V současné době jsou v České republice ustanoveny čtyři národní parky: NP Šumava, NP Krkonoše, NP Podyjí a NP České Švýcarsko. (obrázek 2.1)

2.2 CHRÁNĚNNÉ KRAJINNÉ OBLASTI

Chráněné krajinné oblasti jsou rozsáhlá území s harmonicky utvářenou krajinou, charakteristicky vyvinutým reliéfem, významným podílem přirozených lesních ekosystémů a travních porostů. Obvykle se dělí na čtyři zóny odstupňované ochrany. Vymezení těchto zón určuje Ministerstvo životního prostředí vyhláškou. S ohledem na tyto podmínky ochrany v jednotlivých zónách lze některé takto chráněné území hospodářsky využívat.

V České republice se nachází v současnosti 25 chráněných krajinných oblastí (obrázek 2.1), které jsou pod správou příslušných správ chráněných krajinných oblastí. [45, 64]



Obr. 2.1 Mapa NP a CHKO v ČR [13]

2.2.1 Moravský kras

Moravský kras byl zřízen 4. 7. 1956 a je tedy druhým nejstarším velkoplošným chráněným územím v České republice. Zároveň je se svou rozlohou 92 km² nejrozsáhlejší krasová oblast České republiky. Zaujímá téměř 24 km dlouhý a 2 až 6 km široký pás devonských vápenců severně od Brna v jihozápadní části Dražanské vrchoviny.

Území Moravského krasu lze hydrogeologicky rozdělit na tři samostatně se vyvíjející jeskynní systémy.

Severní část

Jedná se o nejrozsáhlejší jeskynní systém, který souvisí s podzemní říčkou Punkvou. Tato říčka vzniká v podzemí soutokem Bílé vody a Sloupského potoka. Některé zdejší jeskyně např. Amatérská jeskyně, Sloupsko-šoňvská jeskyně, Punkevní jeskyně, dosahují délky až několika kilometrů.

Střední část

Je tvořena jeskynními systémy podzemního Jedovnického a Křetínského potoka. Nejrozsáhlejší systémem jeskyní lze zde nalézt mezi Rudickým propadáním a Býčí skálou.

Jižní část

K nejvýznamnějším jeskyním s krápníkovou výzdobou v jižní části patří Ochotské jeskyně. Netopýří jeskyně, jeskyně Malčina a Pekárna lze zařadit mezi další významné jeskyně této části. Tuto oblast odvodňují potoky Hostěnický a Říčka.

V CHKO Moravský kras se také nachází 4 národní přírodní rezervace, 2 národní přírodní památky a 11 přírodních rezervací (obrázek 2.2). [23, 56]



Obr. 2.2 Přehledná mapa CHKO Moravský kras [24]

2.3 NÁRODNÍ PŘÍRODNÍ REZERVACE

Národní přírodní rezervace jsou charakterizována jako území mimořádných přírodních hodnot, kde jsou na přirozený reliéf s typickou geologickou stavbou vázány významné a jedinečné ekosystémy v národním či mezinárodním měřítku. Dohromady s územími I. zón národních parků to jsou nejpřísněji chráněné území České republiky. Tato ochrana se snaží zajistit přirozené fungování ekosystémů s jejich vzájemnými vazbami.

2.4 PŘÍRODNÍ REZERVACE

Za přírodní rezervaci může být stanoveno menší území soustředěných přírodních hodnot se zastoupením typických a významných ekosystémů pro danou geografickou oblast. Jedná se o podobné území jako v případě národní přírodní rezervace, avšak významné pouze v regionálním nebo nadregionálním měřítku, ne však v národním či mezinárodním měřítku.

2.5 NÁRODNÍ PŘÍRODNÍ PAMÁTKY

Za národní přírodní památky mohou být vyhlášeny přírodní útvary o menší rozloze, především geologické či geomorfologické útvary, naleziště nerostů nebo vzácných či ohrožených druhů v částech ekosystémů s národním nebo mezinárodním ekologickým, vědeckým či estetickým významem. Národní přírodní památky mohou být nejen nedotčená území, ale i území, které svou činností formoval člověk.

2.6 PŘÍRODNÍ PAMÁTKY

Útvar vyhlášený za přírodní památku má stejnou charakteristiku jako národní přírodní památka. Jen její význam zůstává v regionálním nebo nadregionálním měřítku, nikoli v národním či mezinárodním měřítku. [64, 46]

3 LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY NA JAKOST VYPOUŠTĚNÝCH ODPADNÍCH VOD

Od 1. 4. 2004 je Česká republika členem Evropské unie. Důležitým právním dokumentem EU, který upravuje problematiku čištění odpadních vod, je směrnice Rady 91/271/EEC o očištění městských odpadních vod. Cílem této směrnice je ochrana životního prostředí před nepříznivými účinky vypouštění městských odpadních vod a odpadních vod z určitých průmyslových odvětví. Pro vypouštění vody z čistíren odpadních vod požaduje stanovit emisní limity a systém vzorkování, rozborů a kontroly. Přísnější podmínky stanoví pro tzv. citlivé oblasti (kapitola 3.1). To jsou oblasti zasažené nebo ohrožené eutrofizací, anebo vodní útvary určené pro odběr pitné vody. [15, 55]

V České republice je základním právním dokumentem na ochranu vod zákon 254/2001 Sb., o vodách. Jeho cílem je mimo jiné chránit povrchové a podzemní vody, a zlepšování jakosti povrchových a podzemních vod. Odpadní vody jsou definovány v § 38 jako „vody použité v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických a jiných stavbách, zařízeních, nebo dopravních prostředcích, pokud mají po použití změněnou jakost (složení, nebo teplotu), jakož i jiné vody z nich odtékající, pokud mohou ohrozit jakost povrchových, nebo podzemních vod. Odpadní vody jsou i průsakové vody z odkališť, nebo ze skládek odpadu“. [65]

3.1 CITLIVÉ OBLASTI

V České republice jsou citlivé oblasti stanoveny zákonem 254/2001 Sb., o vodách, konkrétně § 32 citlivé oblasti, a nařízením vlády 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, konkrétně § 10 citlivé oblasti. Dle těchto předpisů jsou všechny útvary povrchových vod na území České republiky vymezeny jako citlivé oblasti.

„Emisní standardy pro citlivé oblasti a pro vypouštění odpadních vod do vod povrchových ovlivňujících kvalitu vody v citlivých oblastech v ukazatelích znečištění celkový dusík a sloučeniny dusíku a celkový fosfor odpovídají hodnotám těchto ukazatelů znečištění uvedeným v tabulkách“ (tab. 3.1 a tab. 3.2) [44]

Tab. 3.1 Emisní standardy ukazatelů přípustného znečištění odpadních vod dle NV 61/2003 v mg/l [44]

Kategorie ČOV (EO)	CHSK _{Cr}		BSK ₅		NL		N-NH ₄ ⁺		N _{celk}		P _{celk}	
	p	m	p	m	p	m	průměr	m	průměr	m	průměr	m
< 500	150	220	40	80	50	80	-	-	-	-	-	-
500 - 2 000	125	180	30	60	40	70	20	40	-	-	-	-
2001 - 10 000	120	170	25	50	30	60	15	30	-	-	3	8
10 001 - 100 000	90	130	20	40	25	50	-	-	15	30	2	6
> 100 000	75	125	15	30	20	40	-	-	10	20	1	3

hodnoty p – přípustné koncentrace „p“ nejsou aritmetické průměry za kalendářní rok a mohou být překročeny v povolené míře dle přílohy č. 5 NV 61/2003 v platném znění.

hodnoty m – maximální koncentrace „m“ jsou nepřekročitelné.

průměr – hodnoty jsou aritmetické průměry koncentrací za kalendářní rok a nesmí být překročeny.

Tab. 3.2 Přípustná minimální účinnost čištění vypouštěných odpadních vod v % [44]

Kategorie ČOV (EO)	CHSK _{Cr}	BSK ₅	N-NH ₄ ⁺	N _{celk}	P _{celk}
< 500	70	80	-	-	-
500-2000	70	80	50	-	-
2001-10000	75	85	60	-	70
10 001-100 000	75	85	-	70	80
> 100 000	75	85	-	70	80

3.2 NEJLEPŠÍ DOSTUPNÁ TECHNOLOGIE

Vodoprávní úřad stanoví v povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových emisní limity kombinovaným přístupem maximálně do výše emisních standardů uvedených v tab. 3.1.

„V případě, že kombinovaným přístupem vypočtené emisní limity nemohou být dosaženy ani za použití nejlepších dostupných technologií v oblasti zneškodňování odpadních vod a z důvodu místních přírodních podmínek, stanoví vodoprávní úřad emisní limity ve výši nejpřísnějších limitů, kterých lze použitím nejlepší dostupné technologie v oblasti zneškodňování odpadních vod nebo v místních přírodních podmínkách dosáhnout.“ [44]

Tab. 3.3 Dosažitelné hodnoty koncentrací a účinností pro jednotlivé ukazatele znečištění při použití nejlepší dostupné technologie v oblasti zneškodňování městských odpadních vod [44]

Kategorie ČOV (EO)	Nejlepší dostupná technologie	CHSK _{Cr}			BSK ₅			NL		N-NH ₄ ⁺			N _{celk}			P _{celk}		
		konc. [mg/l]		účín. [%]	konc. [mg/l]		účín. [%]	konc. [mg/l]		konc. [mg/l]		účín. [%]	konc. [mg/l]		účín. [%]	konc. [mg/l]		účín. [%]
		p	m		p	m		p	m	prům	m		prům	m		prům	m	
< 500	1	110	170	75	30	50	85	40	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500 - 2 000	2	75	140	75	22	30	85	25	30	12	20	75	-	-	-	-	-	-
2001 - 10 000	3	70	120	80	18	25	90	20	30	8	15	80	-	-	-	2	5	75
10 001 - 100 000	4	60	100	80	14	20	90	18	25	-	-	-	14	25	70	1,5	3	80
> 100 000	5	55	90	85	10	15	95	14	20	-	-	-	10	16	75	0,7	2	85

- 1 – Nízko až středně zatěžovaná aktivace nebo biofilmové reaktory.
- 2 – Nízko zatěžovaná aktivace se stabilní nitrifikací.
- 3 – Nízko zatěžovaná aktivace se stabilní nitrifikací a se simultánním srážením fosforu + mikrosíta či jiná filtrace.
- 4 – Nízko zatěžovaná aktivace s odstraňováním nutrientů + terciální stupeň včetně srážení fosforu eventuálně dávkování externího substrátu.
- 5 – Nízko zatěžovaná aktivace s odstraňováním nutrientů + terciální stupeň včetně srážení fosforu, dávkování externího substrátu

hodnoty p – přípustné koncentrace „p“ nejsou aritmetické průměry za kalendářní rok a mohou být překročeny v povolené míře dle přílohy č. 5 NV 61/2003 v platném znění.

hodnoty m – maximální koncentrace „m“ jsou nepřekročitelné.

prům. – hodnoty jsou aritmetické průměry koncentrací za kalendářní rok a nesmí být překročeny.

V praxi může být dosahováno lepších výsledků, než uvádí tabulka 3.3. Tyto limity byly stanoveny tak, aby naplňovaly podstatu definice nejlepší dostupné technologie (zavedení za ekonomicky a technicky přijatelných podmínek a zároveň nejúčinnější pro ochranu vod), v co možná největším počtu konkrétních praktických aplikací.

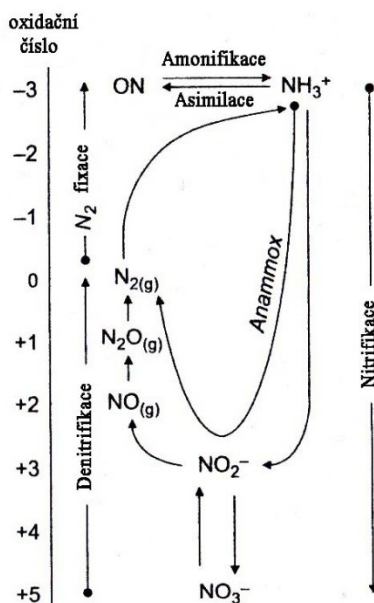
4 NUTRIENTY A JEJICH EFEKT NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Pojmem nutrienty rozumíme minerální živiny, které hrají zásadní roli při výživě a růstu mikroorganismů. Mezi nutrienty řadíme dva významné makrobiogenní prvky – dusík a fosfor. Tyto prvky se v různých formách nachází ve všech vodách povrchových, podzemních i odpadních. Mají také významný vliv na biologické procesy čištění odpadních vod. [17]

4.1 DUSÍK

Původ dusíku ve vodách je jak přirozený (vzniká rozkladem organických dusíkatých látek rostlinného nebo živočišného původu), tak i antropogenní (ze zemědělství, splaškové odpadní vody). Dusík se do vody také dostává atmosférickou depozicí dusíkatých látek, které mohou být přirozeného i antropogenního původu.

Dusík se vyskytuje ve vodních systémech v různých oxidačních číslech $-III$ až $+V$ (obrázek 4.1) a v iontové i neiontové formě.



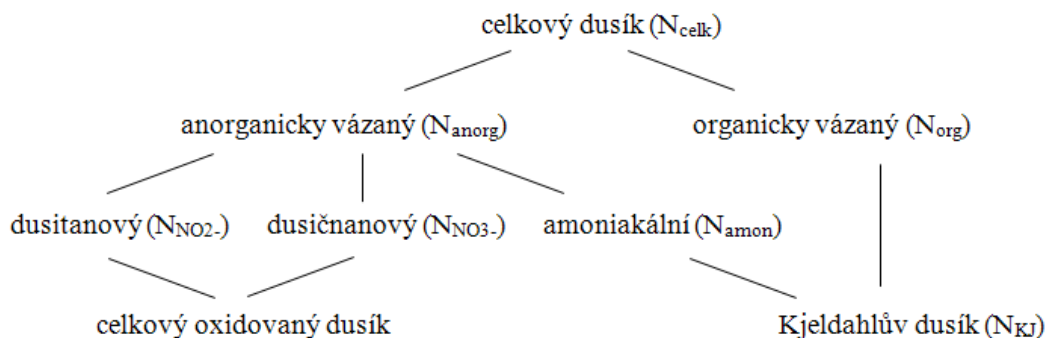
Obr. 4.1 Zjednodušené schematické zobrazení forem dusíku ve vodním prostředí v závislosti na oxidačním čísle [63]

Hlavní formy výskytu dusíku ve vodách:

- elementární N_2
- anorganicky vázaný
 - amoniakální – nedisociovaný $N-NH_3$
 - disociovaný $N-NH_4^+$
 - dusitanový $N-NO_2^-$
 - dusičnanový $N-NO_3^-$
 - umělého původu – kyanidy CN^-
 - kyanatany CNO^-
 - a další
- organicky vázaný (bílkoviny, aminokyseliny, močovina...) [12]

V souvislosti s analýzou dusíkatých látek ve vodě a prezentací naměřených hodnot se rozlišují

jednotlivé skupiny dusíkatých látek následovně (obr. 4.2).



Obr. 4.2 Skupiny dusíkatých látek [12]

Celkový dusík – součet všech forem dusíku ve vodě mimo rozpuštěného N_2 (rovnice 4.1).

$$N_{celk.} = N_{anorg.} + N_{org.} \quad (4.1)$$

Anorganický dusík – součet všech anorganických forem dusíku (rovnice 4.2).

$$N_{anorg.} = N_{amon.} + N_{NO_2^-} + N_{NO_3^-} \quad (4.2)$$

Amoniakální dusík – celkový amoniakální dusík, bývá často označen pouze jako $N-NH_3$ nebo $N-NH_4^+$ (rovnice 4.3).

$$N_{amon.} = N_{NH_3} + N_{NH_4^+} \quad (4.3)$$

Oxidované formy dusíku (rovnice 4.4).

$$N_{ox.} = N_{NO_2^-} + N_{NO_3^-} \quad (4.4)$$

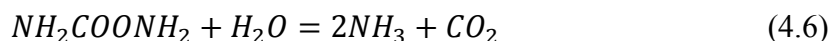
Kjeldahlův dusík – součet amoniakálního a organického dusíku (rovnice 4.5).

$$N_{KJ} = N_{amon.} + N_{org.} \quad (4.5)$$

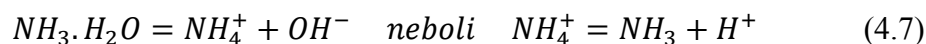
[17, 34]

4.1.1 Amoniakální dusík

Amoniak NH_3 je produktem mikrobiálního rozkladu organické hmoty odumřelých těl rostlin a živočichů a produktem jejich metabolismu. Hlavním produktem metabolismu suchozemských teplokrevných živočichů je močovina, která je ve vodě rozkládána působením enzymu ureázy na amoniak a oxid uhličitý (rovnice 4.6).

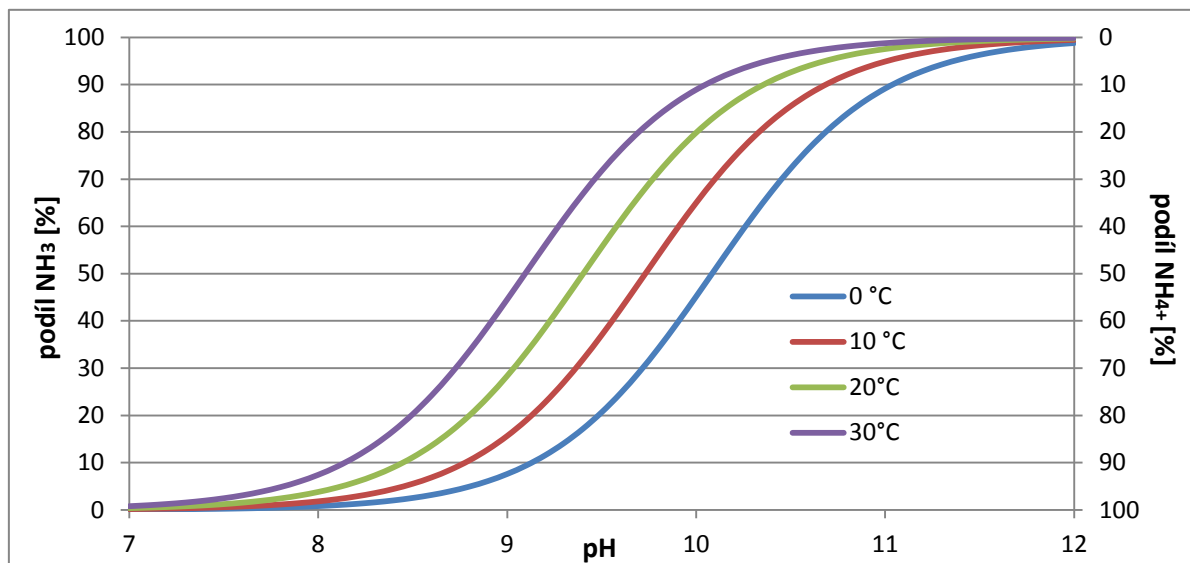


Amoniakální dusík se ve vodě vyskytuje ve dvou formách jako disociovaný ion NH_4^+ a nedisociovaný NH_3 ($NH_3 \cdot H_2O$). (rovnice 4.7)



Výskyt jednotlivých forem amoniakálního dusíku je závislý na pH a na teplotě (graf 4.1).

Graf 4.1 Závislost podílu nedisociovaných molekul NH_3 na hodnotě pH a teplotě [32]



Nedisociovaný NH_3 je toxický pro vodní organismy i některé bakterie. Toxicita pro ryby se projevuje již od koncentrací 0,01–0,04 mg/l.

Amoniakální dusík je využíván fotolitotrofními organismy k syntéze biomasy, můžeme ho najít téměř ve všech druzích vod. Rozdíl je pouze v jeho koncentraci. V přírodních srážkových, podzemních a povrchových vodách se vyskytuje v koncentracích desetin až jednotek mg/l. Splaškové vody obsahují většinou desítky mg/l a vody z průmyslu a zemědělství dosahují koncentrace až stovek mg/l. [11, 32]

4.1.2 Dusičnany

Dusičnany vznikají ve vodách nitrifikací amoniaku. Dále s vodou reagují oxidy dusíku z atmosféry za vzniku kyseliny dusičné, která může způsobovat kyselé srážky. Antropogenními zdroji jsou především splachy ze zemědělských půd hnojených dusíkatými hnojivy.

Dusičnany podobně jako dusitany jsou celkem dobře rozpustné ve vodě. V neznečištěných podzemních i povrchových vodách dosahuje koncentrace dusičnanového dusíku řádu jednotek mg.l^{-1} , v průmyslových odpadních vodách až 100 mg/l. V posledních desetiletích dochází k nárůstu koncentrace dusičnanového dusíku ve vodách především vlivem antropogenní činnosti. Dusičnany se, na rozdíl např. od NH_4^+ , nesorbují v půdě a pronikají do podzemních vod. Ve vodách se redukují biochemicky procesem denitrifikace. Celková redukce na N_2 , částečně také NO_3^- a NH_3 je možná v alkalickém prostředí ($\text{pH} > 8,0$) vlivem Fe^{2+} za katalytického působení Cu. Fotolitotrofní organismy využívají dusičnanový dusík ke stavbě biomasy. [32]

4.1.3 Dusitany

Dusitany ve vodách vznikají mikrobiální oxidací NH_4^+ (nitrifikace) nebo redukcí NO_3^- (denitrifikace). Malé množství dusitanů se dostává do srážkových vod při atmosférických výbojích. K antropogenním zdrojům dusitanů patří zejména průmyslové odpadní vody z výroby barviv a povrchové úpravy kovů, kde se dusitany používají jako inhibitory koroze.

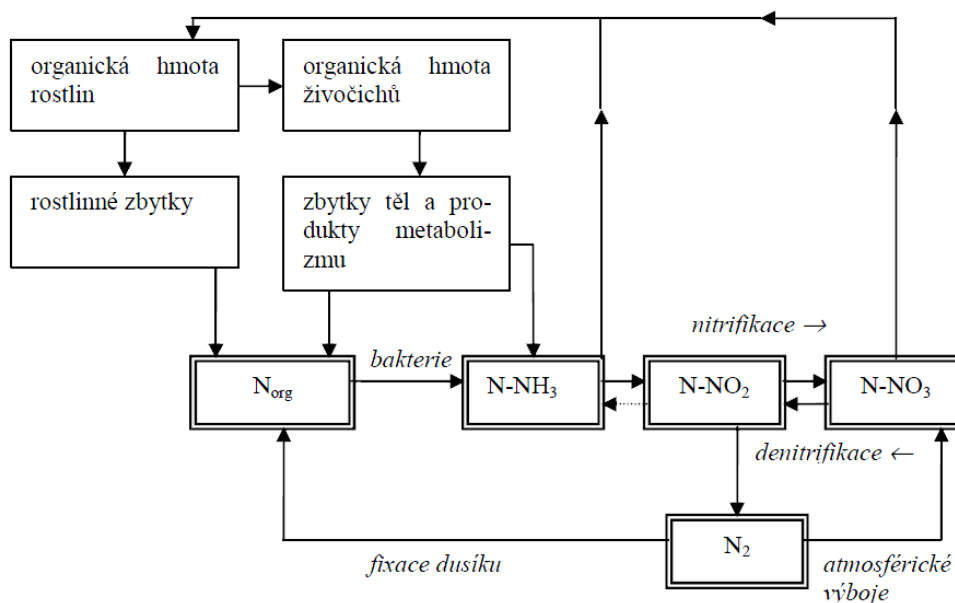
Ve vodách jsou dusitany nestálé, jelikož jsou snadno chemicky a biochemicky oxidovány na dusičnany, nebo biochemicky redukovány na dusík. Proto se v přírodních podzemních

a čistých povrchových vodách takřka nevyskytují, nebo jsou v nich obsaženy pouze ve stopových koncentracích. Ve znečištěných a odpadních vodách se dusitany vyskytují v řádu jednotek mg/l. Lze je tedy považovat za indikátory fekálního znečištění. Nicméně pokud jsou dusitany anorganického původu, svou indikátorovou hodnotu ztrácejí. Anorganické dusitany vznikají ve vodách obsahujících Fe^{2+} nebo Mn^{2+} při redukcí dusičnanů kovy. Dusitany jsou zdraví škodlivé a pro ryby toxické již v setinách mg/l, v gastrointestinálním traktu živočichů se přeměňují na karcinogenní nitrosaminy. [11, 32]

4.1.4 Koloběh dusíku

Dusík je obsažen v organické hmotě všech živých organismů. Organická hmota odumřelých jedinců, nebo produkty metabolismu těchto organismů jsou rozkládány mikroorganismy. První fází rozkladu je hydrolytické štěpení bílkovin na peptidy, dále na aminokyseliny, které jsou rozkládány procesem amonifikace, při kterém se uvolňuje dusík ve formě amoniaku. V aerobním prostředí je amoniak oxidován nitrifikačními bakteriemi na dusitany a dále dusičnany. Naopak v anoxických podmínkách jsou denitrifikačními procesy dusičnany redukovány na dusitany a ty na elementární dusík a oxid dusný, malá část může přecházet až a amoniak. Elementární dusík jsou schopny využívat a fixovat do buněčné hmoty některé mikroorganismy a některé sinice rodu *Microcystis*. Amoniak a dusičnany jsou rostlinami a některými mikroorganismy využívány ke stavbě buněčné hmoty. Vyšší živočichové přijímají dusík vázaný v organických sloučeninách z rostlinné nebo živočišné potravy.

Mezi významné antropogenní vlivy na koloběh dusíku v biosféře lze zařadit průmyslovou fixaci atmosférického dusíku při výrobě umělých dusíkatých hnojiv, spalování fosilních a syntetických paliv, při kterém vznikají oxidy dusíku NO_x , odpady z chovu hospodářských zvířat, odpady z měst a průmyslu a další. [33]



Obr. 4.3 Koloběh dusíku [33]

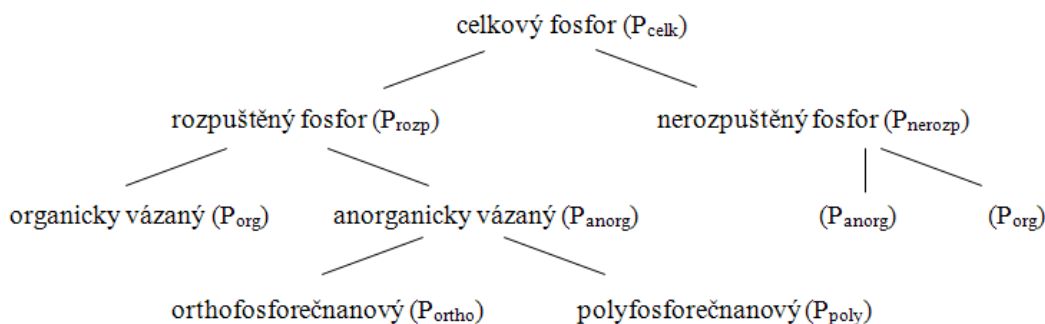
4.2 FOSFOR

Fosfor je významnou součástí přírodních vod, protože patří k důležitým živinám pro nižší i vyšší organismy, které ho přeměňují na organicky vázaný fosfor. Při úhynu těchto organismů se fosfor dostává zpět do prostředí. Zde je využíván především zelenými vodními

rostlinami, proto má zásadní význam při eutrofizaci povrchových vod. Z tohoto důvodu je jeho koncentrace ve vyčištěných odpadních vodách legislativně upravena a monitorována. (viz kapitola 3) [17]

Fosfor se do vody dostává také z přírodního prostředí vyluhováním z některých minerálů např.: apatitu [$3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Ca}(\text{F},\text{Cl})_2$], variscitu ($\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), strengitu ($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), vivianitu [$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$] a také z antropogenních zdrojů jako jsou fosforečná hnojiva, odpadní vody z praní a splaškové odpadní vody.

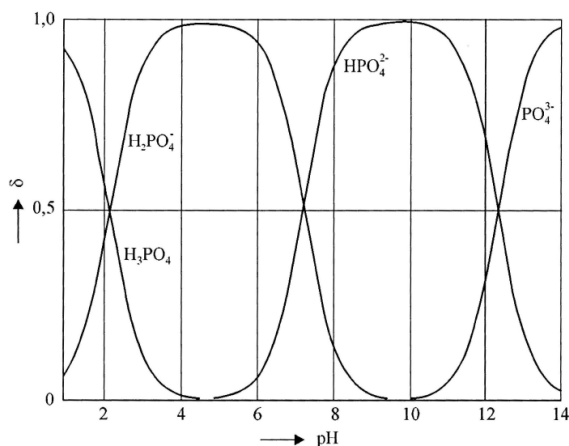
Celkový fosfor vyskytující se ve vodách se dělí na rozpuštěný a nerozpuštěný. Obě skupiny se dále dělí na anorganicky a organicky vázaný fosfor. Rozpuštěný anorganicky vázaný fosfor lze dále dělit na ortofosforečnany a polyfosforečnany (obr. 4.4). V praxi se rozlišují zejména tyto tři formy: ortofosforečnany, polyfosforečnany a organicky vázaný fosfor. [12]



Obr. 4.4 Formy výskytu fosforu [12]

Orthofosforečnany mohou být jednoduché nebo komplexní a v iontové nebo neiontové podobě. Jde především o soli kyseliny fosforečné.

- jednoduché – PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- – produkty disociace v závislosti na pH (obr. 4.5),
- komplexní – $[\text{CaHPO}_4]$, $[\text{MgHPO}_4]$, $[\text{FeHPO}_4]^+$, $[\text{CaHPO}_4]^-$.



Obr. 4.5 Distribuční diagram kyseliny trihydrogenfosforečné a jejich iontových forem [12]

Polyfosforečnany mohou být také jednoduché nebo komplexní a v iontové nebo neiontové podobě. Jde zejména o di- a trifosforečnany, polyfosforečnany s řetězovou strukturou (tzv. katena-polyfosforečnany, které jsou odvozené od kyseliny difosforečné $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$ a trifosforečné $\text{H}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$), polyfosforečnany s cyklickou strukturou (tzv. cyklo-polyfosforečnany, které mají obecný vzorec $(\text{HPO}_3)_n$).

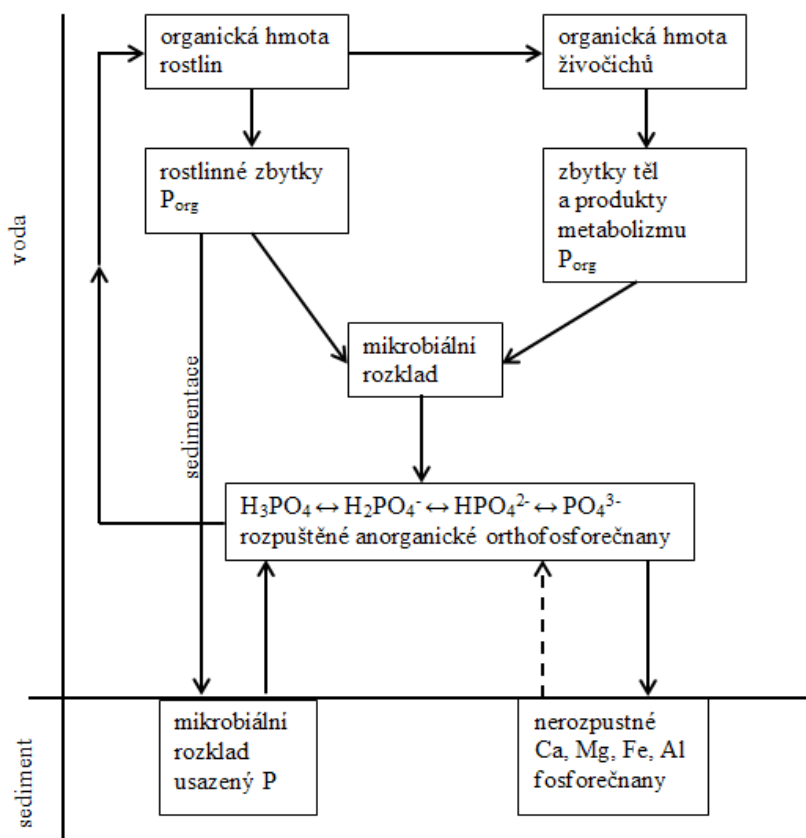
Nerozpuštěný anorganicky vázaný fosfor je tvořen málo rozpustnými fosforečnany Ca, Mg, Fe, Al apod., které mohou být volně dispergované nebo chemicky či sorpčně vázané na jiných anorganických a organických nerozpuštěných látkách nebo sedimentech. Těchto vlastností se využívá i při chemickém srážení fosforu. [12]

4.2.1 Koloběh fosforu

Fosfor je jedním z nejdůležitějších prvků limitujících produkční procesy ekosystému. Fosfor se na Zemi nachází především v sedimentech a horninách. V zemské kůře je obsažen ve formě nerozpustných fosforečnanů vápenatých, hořečnatých, hlinitých a železitých. Fosforečnany se do prostředí uvolňují zvětráváním litosféry nebo katabolickými reakcemi živých organismů.

Do ekosystému se fosfor dostává v podobě rozpustných ortofosforečnanů. Ty jsou asimilovány primárními producenty a tak vstupují do dalších článků potravinového řetězce. Po uhynutí organismů se fosfor částečně vrací do koloběhu a část je vázána ve formě nerozpustných sedimentů. Hlavní podíl na koloběhu fosforu má látkový metabolismus živých organismů. Jejich produkty metabolismu se dostávají do prostředí v rozpuštěné formě, která je přijatelná pro rostliny. Zvětráváním hornin se značná část fosforečnanů dostává do vody a končí na dně oceánů v sedimentech. Takto dochází ke ztrátám fosforu z biosféry. Naopak rybolovem, činností mořských ptáků a těžbou mořských produktů se fosfor z moří recykluje.

Mezi antropogenní vlivy na koloběh fosforu můžeme zařadit používání fosforečnanových hnojiv, rybolov a těžbu fosfátů, což jsou neobnovitelné zdroje a po jejich vyčerpání je fosfor nenahraditelný. [48]



Obr. 4.6 Koloběh fosforu [48]

4.3 DUSÍK A FOSFOR V ODPADNÍCH VODÁCH

Koncentrace dusíku a fosforu v odpadních vodách se pohybuje v širokých mezích (viz tabulka 4.1). Důležitý je ale vztah mezi těmito koncentracemi a hodnotou BSK₅ udávaný jako poměr BSK₅:N:P = 100:10:1. V případě, že je tento poměr splněn, je zajištěna produkce biomasy. Převážná většina splaškových odpadních vod obsahuje nadbytek nutrientů. Klasický aktivační systém zaměřený na eliminaci uhlíkatých organických látek odstraňuje dusík a fosfor jen do výše uvedeného poměru, což odpovídá pro dusík 15–30 % a pro fosfor 20–40 %. Proto je nutné nutrienty na ČOV odstraňovat speciálními procesy. [17]

Tab. 4.1 Orientační složení komunálních splaškových odpadních vod [8]

ukazatel	rozmezí hodnot	jednotky
hodnota pH	6,5–8,5	
nerozpuštěné látky	200–700	mg/l
z toho usaditelné	73	%
z toho neusaditelné	27	%
rozpuštěné látky	600–800	mg/l
BSK ₅ s potlačením nitrifikace	100–400	mg/l
CHSK _{Cr}	250–800	mg/l
TOC	asi 250	mg/l
N _{celk}	30–70	mg/l
N-NH ₄	20–45	mg/l
P _{celk}	5–15	mg/l
poměr BSK ₅ :CHSK _{Cr}	0,5	-

4.4 PŘEMĚNY DUSÍKU A FOSFORU V ŽP

4.4.1 Oxidace amoniaku a dusitanů

Proces oxidace amoniaku na dusitany a následně dusičnany se nazývá nitrifikace. Na ČOV proces probíhá obdobně jako v přírodě. Podrobný popis procesu je v kapitole 7.1. Největším rozdílem je to, že na ČOV se snažíme tento proces maximálně zefektivnit a navodit pro něj nejvhodnější podmínky (provzdušňování, úprava pH). [63]

4.4.2 Denitrifikace

Denitrifikace je biochemický proces probíhající v přirozeném prostředí, kterého se využívá v inženýrských objektech při čištění odpadních vod. Ve sladkovodních vodách se jedná o proces přeměny rozpuštěného anorganicky vázaného dusíku na plynný dusík N₂ pomocí organotrofních anaerobních organismů. Podrobněji viz kapitola 7.2. [63]

4.4.3 Amonifikace

Amonifikace je přeměna organických dusíkatých látek na amoniak. Jedná se o mikrobiální proces, při kterém se z bílkovin a jiných organických sloučenin obsahujících aminové skupiny, uvolňuje amoniak. Amonifikaci provádějí tzv. amonifikační bakterie, které svými proteolytickými enzymy rozkládají bílkoviny na aminokyseliny, které jsou pak dále deaminovány až na plynný amoniak NH₃, popřípadě amonný ion NH₄⁺. Tento proces je velice

důležitý při čištění odpadních vod, protože organicky vázaný dusík se stává dostupný pro nitrifikaci. [63]

4.4.4 Akumulace fosforu v organismech

Rostliny přijímají fosfor ve formě dihydrogenfosforečnanu nebo hydrogenfosforečnanu. Příjem fosforu a jeho akumulace je spojená s inkorporací na nízkomolekulární sloučeniny (estery kyseliny fosforečné, fosforylové cukry). Fosfor v rostlinném organismu může velice snadno a rychle přecházet z jedné organické sloučeniny do druhé. Nejčastější organické sloučeniny fosforu v rostlinách tvoří fosfolipidy, DNA, RNA, ATP, ADP aj. Popis akumulace fosforu v bakteriích, které se využívají na ČOV při biologickém odstraňování fosforu je uveden v kapitole 6.1. [21]

4.4.5 Fotochemický rozklad

Fotochemické procesy mohou vést k uvolňování nízkých molekulárních forem dusíku a fosforu z rozpuštěné organické hmoty, zejména z huminových látek. Globální účinky tohoto jevu nejsou zcela známy. Rychlosti fotochemických procesů dusíku a fosforu mohou být různé a zatím se o nich ví jen málo. [63]

4.4.6 Efekt slanosti

Slanost vod se zvyšuje při ústí řek do moří a oceánů. Množství soli výrazně ovlivňuje chování, konformaci a reaktivitu rozpuštěných organických látek a fotochemické reakce. Může mít vliv také na transport dusíku navázaného na organické sloučeniny. [63]

4.5 VLIV NUTRIENTŮ NA ŽP

4.5.1 Eutrofizace

Eutrofizace znamená zvyšování úživnosti (trofie) vod. V posledních desetiletích se s ní setkáváme zejména u povrchových vod v rozvinutých zemích. Eutrofizace představuje soubor přírodních a uměle vyvolaných procesů vedoucích ke zvyšování obsahu anorganických živin ve vodách. V podstatě se jedná o zamoření vod živinami. Tyto živiny spolu s vhodnými klimatickými podmínkami, jako jsou světlo a teplo, umožňují růst a rozvoj fotolitotrofních organismů (řas, sinic a vyšších rostlin). Z makrobiogenních prvků jsou ve vodním prostředí běžně k dispozici uhlík, vodík a kyslík. Rozhodují význam pro rozvoj fotolitotrofních organismů má tedy množství a dostupnost dusíku a fosforu.

Stechiometrický poměr prvků v biomase řas je C:N:P = 106:16:1. Fotolitotrofní organismy potřebují přísun uhlíku, dusíku a fosforu právě v tomto poměru, přičemž z 1 mg fosforu se může vytvořit až 115 mg řas.

Dle zákona limitujících faktorů (Liebigův zákon minima) má pro produkci organismů rozhodující význam ten prvek, který je v relativním nedostatku, nezávisle na tom, že ostatní faktory jsou k dispozici v přebytku. Ve vodním prostředí bývá přítomen, z potřebných makrobiogenních prvků, v relativním nedostatku fosfor, i přes to, že je ho potřeba nejméně. Často se tak fosfor stává limitujícím prvkem eutrofizace. [33]

Tab. 4.2 Rozlišení trofie vod dle koncentrace fosforu [11]

Stupeň trofie	Koncentrace P [$\mu\text{g/l}$]
Oligotrofie	< 10
Mezotrofie	10–35
Eutrofie	35–100
Hypertrofie	>100

K hlavním ekologickým důsledkům eutrofizace lze zařadit:

- masový rozvoj vodního květu sinic a vegetačního zbarvení,
- úbytek vyšších rostlin v důsledku nadměrného rozvoje fytoplanktonu,
- snížená samočistící schopnost řek a jezer,
- úbytek citlivějších organismů a tím tedy snížení biodiverzity,
- rozvoj bentických řas a snížení poréznosti dnových sedimentů,
- narušení kyslíkového režimu vod,
- produkce toxických látek sinicemi. [33]

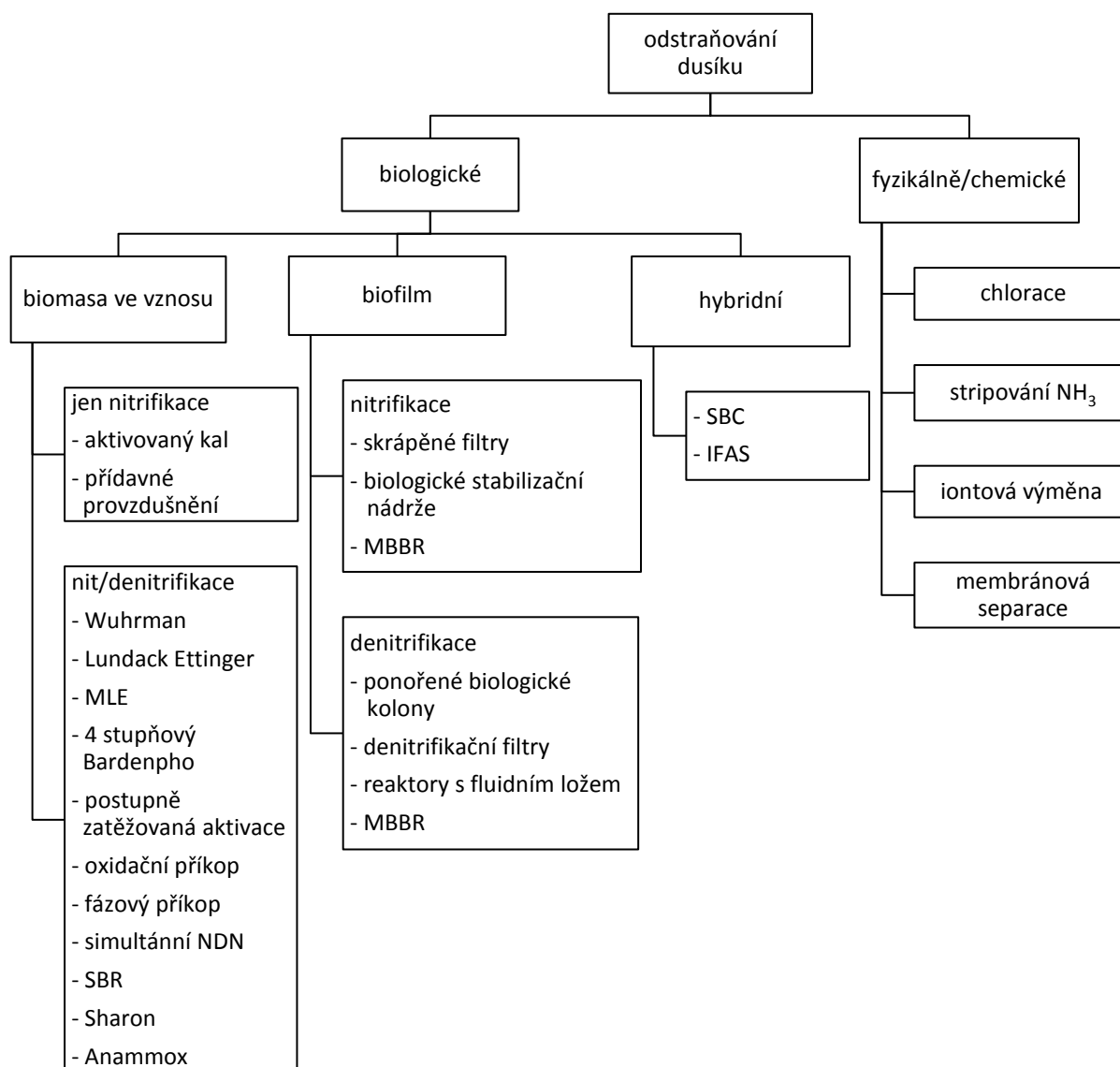
Eutrofizace přirozená

Přirozeně dochází k eutrofizaci například tak, že se u dna jezer hromadí sedimenty z odumřelých organismů. Ty se následně rozkládají za vzniku jednoduchých anorganických látek, dusíku, fosforu, popřípadě silikátů. Tento proces je dlouhodobý a přeměna oligotrofních jezer na eutrofní může trvat tisíce let. [33]

Eutrofizace antropogenní

Antropogenní eutrofizace je způsobována lidskou činností, především splachy dusíkatých a fosforečných hnojiv ze zemědělsky obdělávaných půd, ale i z půd s intenzivním chovem dobytka. Dále vypouštěním komunálních odpadních vod do recipientu bez toho, aby tyto vody byly vyčištěny na ČOV, která zajišťuje odstraňování dusíku a fosforu z odpadních vod. [33]

5 PRINCIPY ODSTRAŇOVÁNÍ DUSÍKU



Obr. 5.1 Přehled metod odstraňování dusíku z odpadních vod [63]

5.1 BIOLOGICKÉ

5.1.1 Biomasa ve vznosu

Čištění odpadních vod pomocí biomasy ve vznosu (aktivaci) spočívá ve vytvoření aktivovaného kalu v provzdušňované aktivační nádrži. Aktivovaný kal je tvořen směsí nejrozličnějších mikroorganismů, jako jsou bakterie, houby, plísně, kvasinky, vláknité organismy, vyšší organismy a prvoci. V důsledku bioflokulace dochází ke shlukování těchto mikroorganismů do vloček aktivovaného kalu, které se „vznášejí“ v čištěné odpadní vodě.

V základním uspořádání se aktivace skládá z provzdušňované nádrže, kde aerobní organismy oxidačními procesy v přítomnosti molekulárního kyslíku rozkládají organické látky obsažené v odpadní vodě. Konečnými produkty tohoto biochemického procesu jsou oxid uhličitý a voda, u substrátu obsahujícího dusík obvykle ještě amoniak. Mikroorganismy potřebují k syntéze buněčné hmoty biogenní prvky (uhlík, vodík, kyslík, dusík, fosfor, síru aj.), které

získávají z vnějšího prostředí i z rozloženého biologického substrátu. Syntetickými pochody se tvoří organická hmota pro nové buňky a zásobní látky mikroorganismů. Potřebné množství mikroorganismů je vypěstováno jejich zapracováním, přičemž se vychází z jejich přítomnosti v odpadní vodě. Přebytek aktivovaného kalu je ze systému odváděn jako přebytečný kal. [52]

5.1.2 Biofilm

Mikroorganismy směsné kultury jsou přisedlé na pevném nosiči, na kterém vytváří biologickou blánu tzv. biofilm. Princip čištění odpadních vod pomocí biofilmu je v podstatě shodný s čištěním aktivací, jelikož se uplatňují podobné procesy. [52]

5.1.3 Hybridní

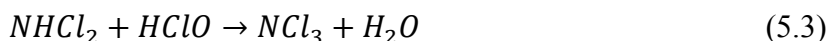
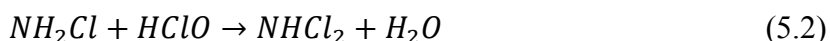
Hybridní systémy se vyznačují kombinací suspendované formy růstu bakterií s růstem kultur na pevných nosičích ponořených v aktivaci (typu náplní biologických filtrů) nebo na pevných nosičích ve fluidním loži (např. polyuretanové pěnové náplně). Výhodou těchto systémů je akumulace suspendované a biofilmové kultury v jednom reaktoru. To umožňuje navýšení objemu biomasy v systému a tím i navýšení kapacity ČOV. [52]

5.2 FYZIKÁLNĚ - CHEMICKÉ

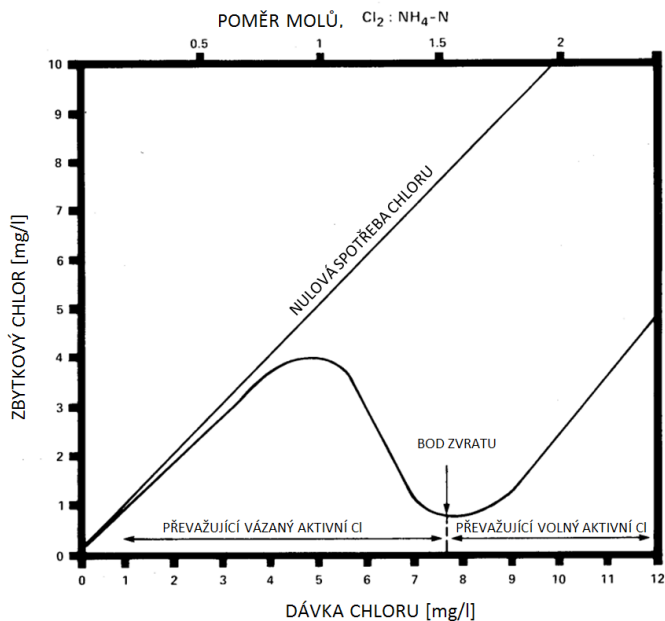
Dusík může být z odpadních vod odstraněn pomocí fyzikálně-chemických metod převedením na plynný dusík N_2 . Mezi tyto metody patří chlorace, stripování amoniaku NH_3 a iontová výměna. Fyzikálně-chemické metody odstraňování dusíku se běžně nepoužívají, využívají se především při čištění problematických průmyslových odpadních vod, které nelze čistit biologicky. [59, 63]

5.2.1 Chlorace

Při přidání chloru do odpadní vody s obsahem amoniakálního dusíku, reaguje amoniak s kyselinou chlornou za vzniku monochloraminů NH_2Cl , dichloraminů $NHCl_2$ a trichloraminů NCl_3 (rovnice 5.1 a 5.2 a 5.3).



Tyto reakce jsou závislé na hodnotě pH, teplotě, kontaktní době a počátečním poměru chloru k amoniaku. Chlor se dávkuje až do bodu zvratu, kdy je jeho zbytková koncentrace minimální. Typická chlorační křivka je zobrazena na obrázku 5.2.

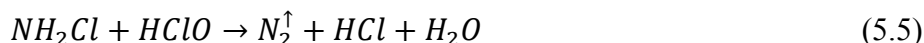


Obr. 5.2 Chlorační křivka [59]

Při pH v rozmezí 7,0–8,0 je reakce s amoniakem velmi rychlá a všechnen volný chlor je zreagován na monochloraminy při hmotnostním poměru 5:1 chlor:amoniakální dusík. Jakmile hmotností poměr překročí 5:1, monochloraminy se začnou rozkládat za vzniku dichloraminů a amoniaku (rovnice 5.4).



Monochloraminy jsou následně oxidovány v nadbytku chloru v mírně zásaditém prostředí za vzniku plynného dusíku (rovnice 5.5).



Teoreticky je pro oxidaci amoniaku na plynný dusík třeba hmotnostní poměr 7,6:1 chloru:amoniakálnímu dusíku. Vzhledem k tomu, že se část amoniaku přeměňuje na dusičnany a jiné dusíkaté sloučeniny, skutečná praktická dávka chloru je často kolem 10 mg/l Cl₂.

Chlor je silné oxidační činidlo a vytváří množství vedlejších produktů. Reakce s organickými látkami mohou vést ke vzniku chlorovaných organických sloučenin, především trihalogenmethanů, které jsou považovány za potenciální lidský karcinogen. [59, 63]

5.2.2 Stripování amoniaku

Stripování odpadních vod je proces, při kterém přichází odpadní voda do kontaktu s proudem plynu tak, že dochází k přenosu těkavých znečišťujících látek z vodní do plynné fáze. Samotný proces se skládá z těchto částí:

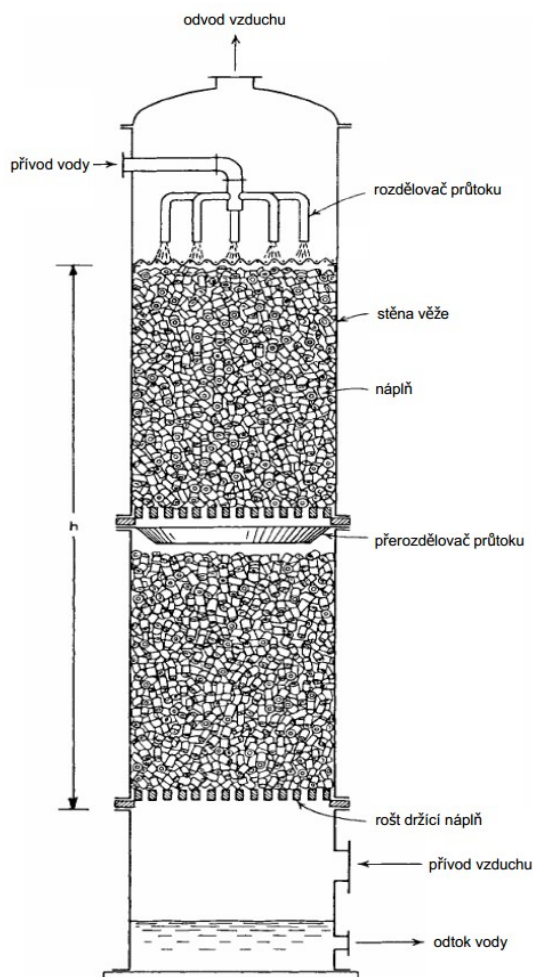
- zvyšování pH vody na hodnotu v rozmezí 10,8–11,5,
- vznik a rozstříkávání kapek ve stripovací věži,
- zajištění kontaktu kapiček vody s velkým proudem cirkulovaného vzduchu (plynu).

Jednou z velkých výhod tohoto způsobu odstraňování amoniakálního dusíku je jeho extrémní jednoduchost. Odpadní voda s vysokou hodnotou pH je čerpána na vrchol stripovací věže. Do

výplně věže je vháněn vzduch, který je následně vypouštěn do ovzduší, nebo čištěn a vrácen zpět do procesu.

Faktory, které nejvíce ovlivňují účinnost stripování amoniaku:

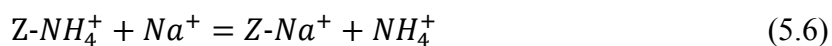
- typ stripovací jednotky (protiproudé věže, průtokové věže, stripovací nádrže),
- pH (takové, aby amonné ionty byly přeměněny na plynný amoniak, $\text{pH} > 9,5$),
- teplota (se snižující se teplotou klesá účinnost procesu),
- hydraulické zatížení (typické $81,5 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$). [59]



Obr. 5.3 Schéma stripovací věže [27]

5.2.3 Iontová výměna

Iontová výměna je proces, při kterém dochází k vratné výměně iontů se stejnou polaritou náboje. K výměně dochází většinou mezi vodným roztokem a nerozpustnou pevnou látkou. Odpadní voda protéká přes kolonu, která je naplněna přírodními nebo syntetickými iontovými měniči. Pro odstraňování amoniakálního dusíku se používá přírodní zeolit (klinoptiolit). Jeho kapacita pro odstraňování amoniakálního dusíku je konstantní při rozmezí $\text{pH} 4,0\text{--}8,0$, mimo toto rozmezí se výrazně snižuje. Jakmile je absorpční kapacita zeolitu vyčerpána, je nutná regenerace. Regenerace se obvykle provádí pomocí roztoku NaCl . Sodík v solném roztoku je nahrazen amonnými ionty zachycenými v zeolitu (rovnice 5.6).

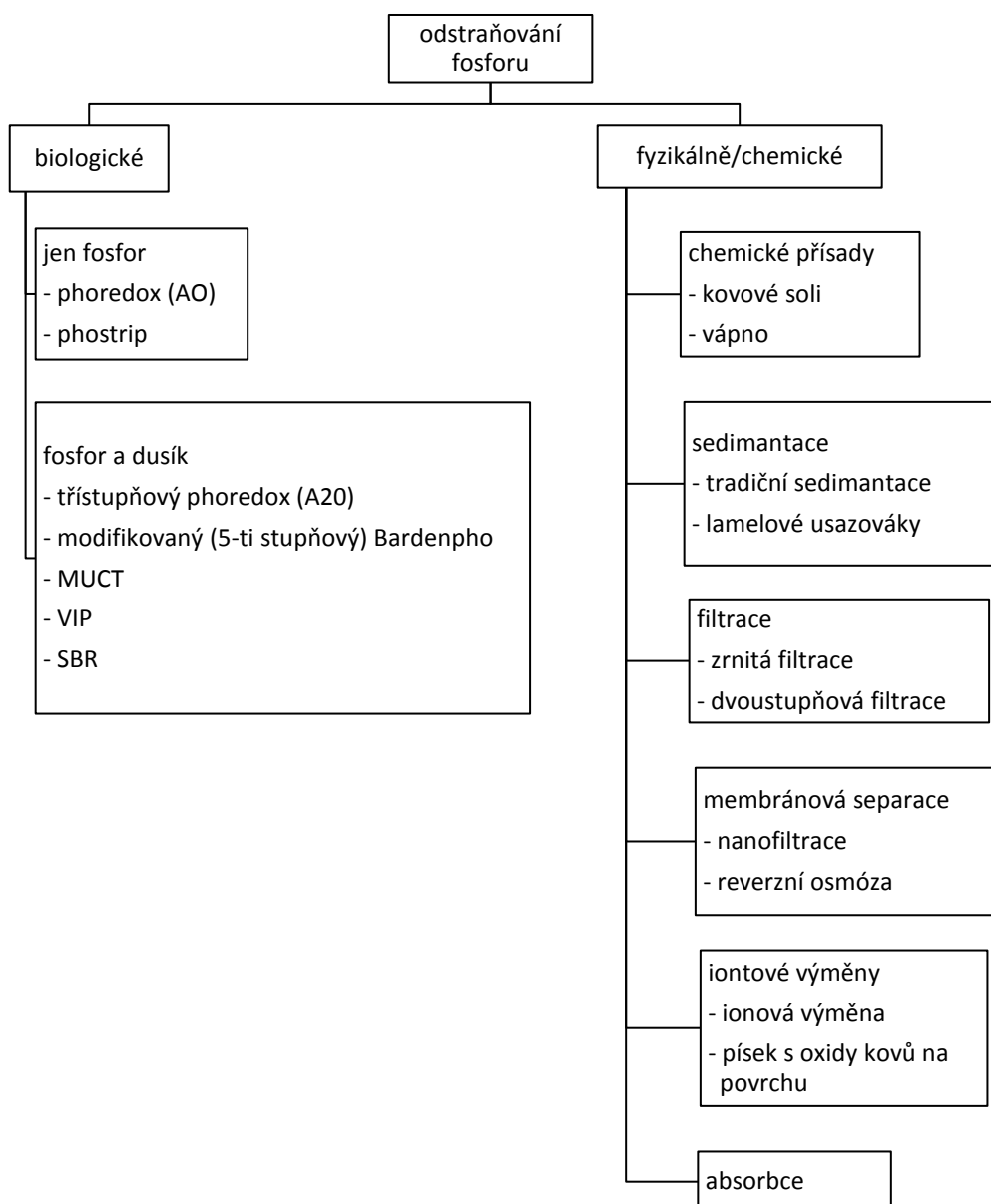


Solný roztok je následně zneškodněn nebo recyklován k dalšímu použití při dalším cyklu regenerace. Iontová metoda se běžně nepoužívá kvůli své vysoké ceně, nicméně při správném použití je velmi účinná. [59]

5.2.4 Membránová separace

Principy procesů, jejich rozdělení a možnosti využití jsou popsány v kapitole 10.4.

6 PRINCIPY ODSTRAŇOVÁNÍ FOSFORU



Obr. 6.1 Přehled metod odstraňování fosforu z odpadních vod [63]

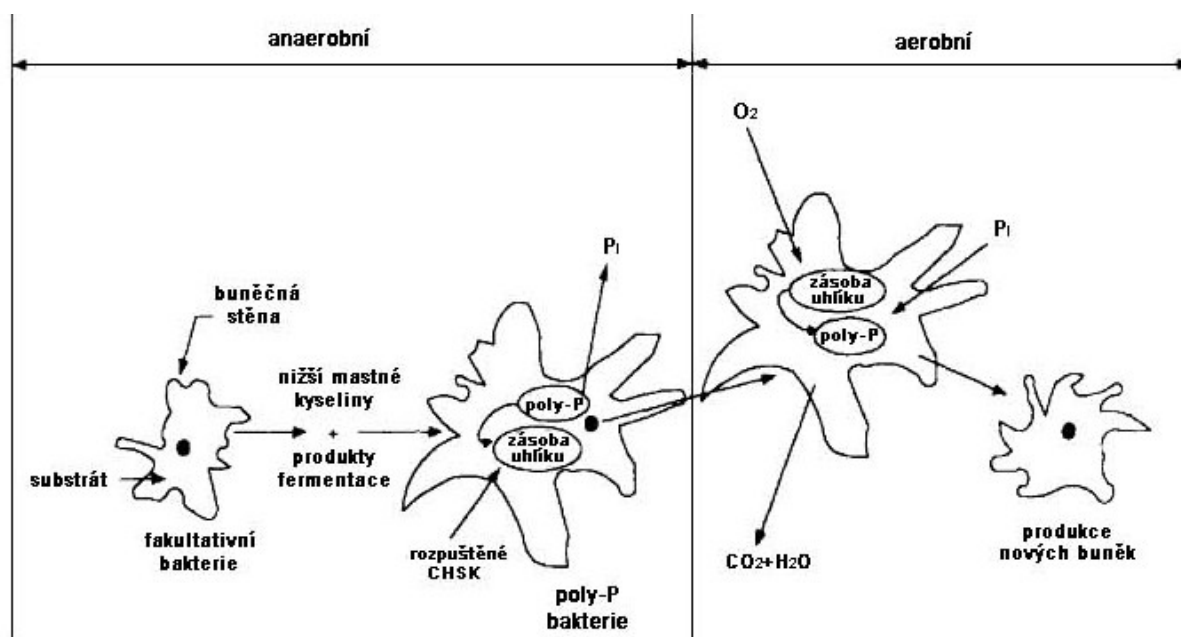
6.1 BIOLOGICKÉ ODSTRAŇOVÁNÍ FOSFORU

Při biologickém čištění odpadních vod dochází činností biomasy ke snížení obsahu fosforu v odpadní vodě. V případě nastavení vhodných podmínek je možno docílit zvýšeného biologického odstraňování fosforu. Systémy zvýšeného biologického odstraňování fosforu jsou založeny na vyšším příjmu fosforu do buněk některých mikroorganismů tzv. poly-P bakterií. Poly-P bakterie jsou převážně bakterie rodu *Acinetobacter* a příbuzných rodů. Tyto bakterie jsou schopné v čistých kulturách obsahovat až 8 % fosforu v sušině, v aktivacích s příznivými podmínkami mohou obsahovat v sušině přebytečného kalu 2,5 až 5 % fosforu.

Základní podmínkou systémů se zvýšeným biologickým odstraňováním fosforu je střídání anaerobních a aerobních podmínek. [17, 36]

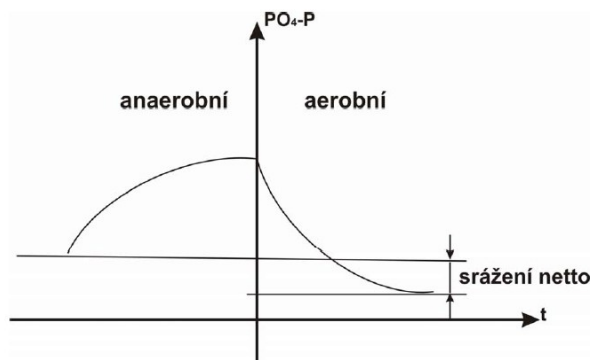
V anaerobních podmínkách není přítomen ani volný, ani vázaný kyslík a tak nemůže docházet k oxidaci organických látek přítomných ve vodě. Poly-P bakterie, jako obligátně aerobní chemoorganotrofní organismy, nemohou v anaerobním prostředí růst, přijímají však některé jednoduché organické sloučeniny (mastné kyseliny, alkoholy s krátkým uhlíkovým řetězcem) a syntetizují je na zásobní látky (zejména kyselinu poly- β -hydroxymáselnou). energii k této přeměně získávají rozkladem polyfosforečnanů ze svých zásobních buněk. Přitom také dochází k depolymeraci polyfosforečnanů a uvolňování ortofosforečnanů do okolní vody. (obrázek 6.2 anaerobní část)

V aerobním prostředí Poly-P bakterie získávají energii oxidací organického substrátu a endogenní respirací zásobních látek. Část takto získané energie spotřebovávají na tvorbu nových buněk a část na akumulaci ortofosforečnanů z vnějšího prostředí a jejich přeměnu na zásobní polyfosforečnany. (obrázek 6.2 aerobní část) [17, 36]



Obr. 6.2 Princip biologického odstraňování fosforu [14]

Celkově tedy dochází v anaerobním prostředí k uvolňování fosforečnanů do vnějšího prostředí, naopak v aerobním prostředí jsou fosforečnany z vnějšího prostředí odebírány. Podstatné je, že příjem fosforu do buněk bakterií výrazně převyšuje jeho uvolňování a tedy dochází k tomu, že je fosfor z vody odstraňován. [17, 36]



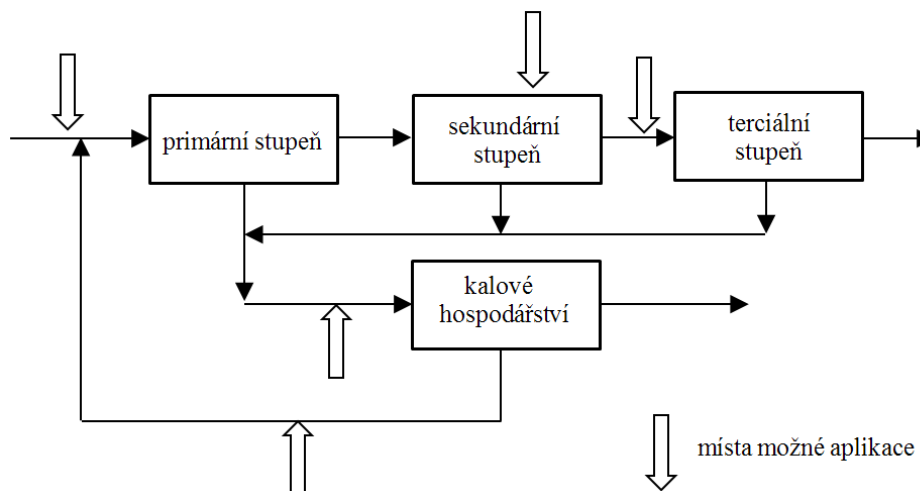
Obr. 6.3 Závislost koncentrace ortofosforečnanů na čase v anaerobní a aerobní stupni při biologickém odstraňování fosforu. [62]

6.2 CHEMICKÉ ODSTRAŇOVÁNÍ FOSFORU

Chemické srážení fosforu na ČOV je velmi rozšířené kvůli snadné realizaci a pro jednoduchost provozování. Způsobuje však zvýšenou produkci kalu a s tím spojené další provozní náklady. Pro srážení fosforečnanů z městských odpadních vod se používají soli železa, hliníku nebo vápno. [63] Obecně lze proces srážení rozdělit na 3 fáze:

- směšovací fáze – dávkování chemikálií, míchání,
- flokulační fáze – srážení fosforečnanů, koagulace a flokulace vloček,
- separační fáze – sedimentace, filtrace nebo flotace. [17]

Kovové soli mohou být přidány na jednom nebo více místech technologické linky ČOV:



Obr. 6.4 Místa možné aplikace koagulantu [43]

Mezi hlavní metody srážení patří předsrážení (primární), simultánní srážení (sekundární), srážení po biologickém čištění (terciální) nebo jejich kombinace.

Předsrážení

Činidlo se dávkuje před primární usazovací nádrž, ve které vzniklé sraženiny sedimentují. Je nutné srážení řídit tak, aby byla zajištěna zbytková koncentrace fosforu 1,5–2,0 mg/l pro asimilaci organismů v aktivační nádrži. Primární srážení zvyšuje produkci primárního kalu a snižuje produkci sekundárního kalu. [19]

Simultánní srážení

Odstraňování fosforu probíhá společně s biologickým čištěním. Činidlo se dávkuje do aktivační nádrže. Biologický i chemický kal sedimentují v dosazovací nádrži. Dochází ke zvýšené produkci kalu, snížení jeho stáří a komplikacím s denitrifikací. [19]

Terciální srážení

Nejběžnější metodou odstraňování fosforu. Srážení je zařazeno za klasickou technologickou linku s aktivací. K separaci chemického kalu lze použít kromě sedimentace také filtrace nebo flotaci. Podrobněji jsou různé technologie popsány v kapitole 10. [19]

Tab. 6.1 Účinnost metod srážení fosforu [19]

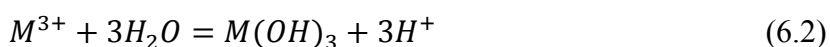
metoda	účinnost odstranění P	účinnost odstranění BSK ₅
přímé srážení	min. 90%	min. 90%
simultánní srážení	75–95 %	90 %
terciální srážení	95 %	min. 90%

6.2.1 Srážení solemi železa a hliníku

Srážení se realizuje přidáním solí železa nebo hliníku do odpadní vody, následně vznikají nerozpustné sraženiny v podobě fosforečnanů. Obecně lze tyto reakce pro železité/hlinité soli zjednodušeně vyjádřit jako (M = Fe nebo Al):

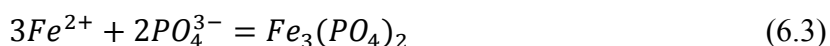


Současně dochází ke tvorbě hydroxidů:

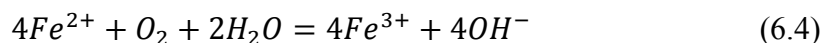


Průběh reakcí závisí na látkovém poměru P:M a hodnotě pH (optimální 4,0–8,0). Srážení je účinnější v kyselém prostředí, v alkalickém dochází k tvorbě hydroxidů. Vzniklé fosforečnany a hydroxidy se shlukují do vloček, které lze odstranit mechanickým způsobem tj. sedimentací nebo filtrací. [19, 20]

Při použití železnatých solí rozhoduje o výsledném produktu typ prostředí. V anoxických nebo anaerobních podmínkách probíhá reakce následovně:



V aerobních podmínkách:



Železnatá sůl je oxidována na železitou, dále reakce probíhá dle rovnic 6.3 nebo 6.4. Koagulanty na bázi Fe a Al se většinou dávají v nadbytku a jejich množství se stanovuje na základě vločkovacího pokusu pro každou konkrétní situaci individuálně.

Při chemickém srážení fosforu dochází také k odstranění výrazné podílu organického znečištění (BSK₅). V případě primárního srážení tak může nastat situace, že organické znečištění chybí u denitrifikace a musí být ve formě externího substrátu dodáváno. [19, 20] V následující tabulce 6.2 jsou uvedeny používané soli železa, hliníku.

Tab. 6.2 Nejběžněji používané soli železa a hliníku pro chemické srážení fosforu [43]

chemikálie	dostupná forma a skladování	výhody	nevýhody
síran hlinitý Al ₂ (SO ₄) ₃	<ul style="list-style-type: none"> roztok nebo pevná látka stabilní za pokojové teploty v uzavřených kontejnerech a normálních skladovacích podmínkách takřka neomezená trvanlivost 	<ul style="list-style-type: none"> nejběžnější forma hlinité soli použitelný k dosažení nízké koncentrace fosforu v OV 	<ul style="list-style-type: none"> pro optimální srážení může vyžadovat snížení pH zahuštění a odvodnění kalu může být obtížnější než v případě solí železa
hlinitan sodný Na ₂ Al ₂ O ₄	<ul style="list-style-type: none"> roztok nebo pevná látka roztok má 2–3 měsíční trvanlivost pevná látka 6 měsíční trvanlivost silně zásaditý 	<ul style="list-style-type: none"> nespotřebovává alkalitu vhodné pro mírně zásadité odpadní vody, nebo vody, kde je nutné pH již dále snižovat 	<ul style="list-style-type: none"> je třeba zabránit zvyšování pH nad optimální úroveň (např. rozpouštěním CO₂) nížší účinnost než síran hlinitý

polyaluminium chlorid PAC	<ul style="list-style-type: none"> • různě silné roztoky, hydratovaná forma • nutno skladovat v materiálu, který je odolný vůči kyselinám 	<ul style="list-style-type: none"> • nemění pH odpadní vody • různé složení v závislosti na výrobcí • může pomoci snížit zákal 	<ul style="list-style-type: none"> • není kompatibilní s uhlíkovou ocelí, nerezovou ocelí, mosazí a hliníkem • vyšší jednotková cena
chlorid železitý FeCl ₃	<ul style="list-style-type: none"> • roztok • velmi žíravý • vytváří skvrny na betonu a jiných materiálech 	<ul style="list-style-type: none"> • běžnější než chlorid železnatý nebo síran železnatý • používán pro dosažení nízké koncentrace fosforu 	<ul style="list-style-type: none"> • zvláště žíravý, vyžaduje speciální potrubí • při nedostatečné separaci pevných látek může způsobit načervanání čištěné vody
chlorid železnatý FeCl ₂	<ul style="list-style-type: none"> • roztok • méně žíravý než FeCl₃ 	<ul style="list-style-type: none"> • dostupný, jako levný vedlejší produkt některých průmyslových procesů 	<ul style="list-style-type: none"> • jako vedlejší produkt může obsahovat velké množství příměsí jako volné kyseliny nebo kovy • dosahuje nízkých hodnot fosforu pouze při vysokém pH
síran železnatý FeSO ₄	<ul style="list-style-type: none"> • pevná látka • po rozpuštění kyselý • ve vlhkém vzduchu oxiduje 	<ul style="list-style-type: none"> • dostupný, jako levný vedlejší produkt některých průmyslových procesů 	<ul style="list-style-type: none"> • jako vedlejší produkt může obsahovat velké množství příměsí jako volné kyseliny • dosahuje nízkých hodnot fosforu pouze při vysokém pH

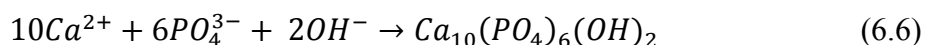
Mezi další používané chemikálie patří např.: síran železitý Fe₂(SO₄)₃, síran hlinito-amoný dodekahydrát NH₄Al(SO₄)₂·12H₂O.[43]

6.2.2 Srážení vápnem

Při přidání hydroxidu vápenatého Ca(OH)₂ do odpadní vody dochází nejprve k reakci s hydrogenuhličitanem za vzniku uhličitanu vápenatého CaCO₃:



Jakmile pH vzroste nad hodnotu 10, jsou fosforečnany sráženy vápennými ionty za vzniku hydroxiapatitu:



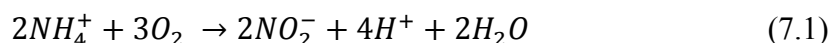
Přidáváním vápna se může pH zvýšit až nad hodnotu 11, přičemž aktivovaný kal vyžaduje hodnotu pH < 9, z toho důvodu není možné vápno přidávat přímo do biologického procesu.

Vzhledem k tomu, že vápno reaguje nejdříve s alkalitou vody, není jeho dávka primárně závislá na koncentraci fosforu. Dávka vápna potřebná ke srážení fosforu v odpadní vodě bývá obvykle 1,4 až 1,5 násobek celkové alkality vyjádřené v mg/l CaCO₃. Při použití vápna je nutná následná neutralizace odtoku např.: pomocí oxidu uhličitého CO₂. [41]

7 PROCESY BIOLOGICKÉHO ODSTRAŇOVÁNÍ DUSÍKU

7.1 NITRIFIKACE

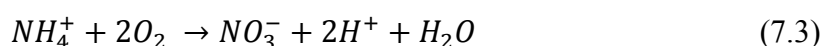
Nitrifikace je proces biochemické oxidace amoniakálního dusíku na dusitany a následně na dusičnany. Tento proces probíhá ve dvou stupních prostřednictvím nitrifikačních bakterií, které využívají CO_2 jako zdroj uhlíku a energii získávají oxidací amoniakálního dusíku. V prvním stupni zvaném nitritace je amoniakální dusík oxidován na dusitany bakteriemi rodu *Nitrosomonas* a *Nitrosococcus*:



Ve druhém stupni, nitrataci, jsou dusitany pomocí bakterií rodu *Nitrobacter* oxidovány na dusičnany:



Souhrnnou rovnicí nitrifikaci lze tedy zapsat takto:



Uvedené rovnice nezahrnují tvorbu nové biomasy.

Z výše uvedených rovnic 7.1, 7.2 a 7.3 vyplývá, že na oxidaci 1 molu amoniakálního dusíku na dusičnanový dusík se spotřebují 4 moly atomů kyslíku. Teoreticky se tedy spotřebuje na 1g amoniakálního dusíku N-NH_4^+ 4,57 g kyslíku O_2 (3,43 g nitritace, 1,14 g nitratice). Jelikož část dusíku je spotřebována na tvorbu nové biomasy nitrifikačních bakterií, skutečná spotřeba kyslíku je menší a to 4,33 g O_2 na 1 g odstraněného N-NH_4^+ . Tato spotřeba kyslíku je poměrně vysoká, a tudíž je nutné systémy s nitrifikací provzdušňovat tak, aby nebyl volný kyslík během procesu vyčerpán. Při nitrifikaci dochází také k uvolňování vodíkových iontů H^+ (patrně z rovnic 7.1 a 7.3) což způsobuje snižování hodnoty pH. U vod s nízkou tlumivou kapacitou se tento pokles kompenzuje nejčastěji přidávkem vápna.

Proces nitrifikace ovlivňují zejména koncentrace rozpuštěného kyslíku, hodnota pH, teplota a stáří kalu. Optimální hodnoty jsou popsány v následující tabulce 7.1. [19, 36]

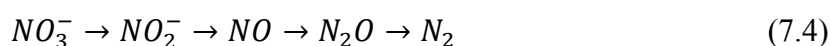
Tab. 7.1 Optimální podmínky pro nitrifikaci [11]

koncentrace rozpuštěného kyslíku	2–3 mg/l
pH	7,2–8,0 (kritické pH pod 5,5 a nad 9,0)
teplota	28–32 °C (kritická pod 5°C a nad 40°C)
stáří kalu	minimálně 4-6 dnů
doba kontaktu	minimálně 10 hodin
koncentrace sušiny aktivovaného kalu	minimálně 2 g/l

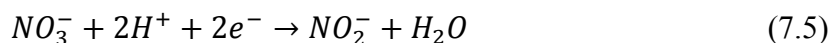
7.2 DENITRIFIKACE

Denitrifikace by měla navazovat na nitrifikaci, aby došlo k odbourání dusičnanů vzniklých při nitrifikaci. Denitrifikace je biochemický proces redukce dusičnanů na oxidy dusíku a dále na elementární dusík, který je z vody odvětráván do ovzduší. Tento proces probíhá v anoxickém prostředí a je výsledkem metabolické činnosti chemoorganotrofních fakultativně anaerobních bakterií. Ty při rozkladu organických látek využívají jako akceptor elektronů molekulární kyslík, ale v jeho nepřítomnosti používají náhradní akceptory a to dusitany a dusičnany, které

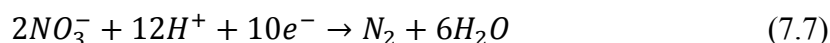
tak redukuje na oxidy dusíku a elementární dusík (rovnice 7.4 a 7.7). Zjednodušeně lze celý proces popsat rovnicí 7.4 takto:



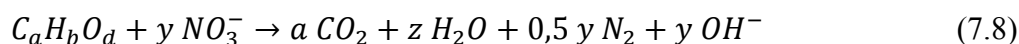
Redukce dusičnanů a dusitanů:



Celkově:



Tyto reakce probíhají pouze v přítomnosti redukujících látek, které jsou při biochemickém procesu současně oxidovány. To znamená, že je nutné dodávat do systému zdroj energie a uhlíku tzv. organický substrát. Substrát může být interní (org. látky v odpadní vodě, produkty endogenní respirace, primární kal z UN), nebo externí (metanol, kyselina octová, škrob aj.) Obecná rovnice oxidace organické sloučeniny dusičnanem pak vypadá takto:

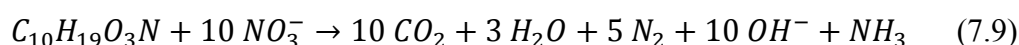


kde

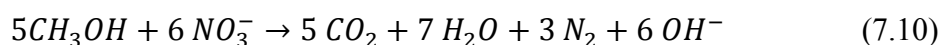
$$y = 0,2(4a + b - 2d)$$

$$z = 0,2(d + 2b - 2a)$$

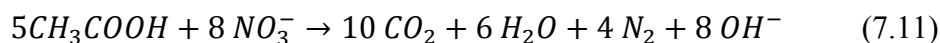
Pro biologicky rozložitelné organické látky v odpadní vodě: [41]



Při použití metanolu jako externího substrátu:



Při použití kyseliny octové jako externího substrátu:



Následující tabulka 7.2 uvádí teoretické hodnoty poměru mezi TSK a množstvím dusíku denitrifikované sloučeniny.

Tab. 7.2 Poměr TSK a N denitrifikované sloučeniny[36]

denitrifikace	mg TSK / mg N
N-NO ₃ ⁻ → N-NO ₂ ⁻	1,142
N-NO ₃ ⁻ → N-N ₂	2,856
N-NO ₃ ⁻ → N-N ₂ O	2,285
N-NO ₂ ⁻ → N-N ₂	1,713
N-NO ₂ ⁻ → N-N ₂ O	1,605

V praxi na denitrifikaci 1 mg N-NO₃ bývá spotřebováno minimálně 3 mg BSK. Při denitrifikaci se uvolňují ionty OH⁻ což vede k zvyšování hodnoty pH roztoku. Částečně se tak eliminuje snižování pH důsledkem nitrifikace.

Proces denitrifikace ovlivňují zejména koncentrace rozpuštěného kyslíku, hodnota pH, teplota a poměr CHSK:N. Optimální hodnoty jsou popsány v následující tabulce 7.3.

[19, 36]

Tab. 7.3 Optimální podmínky pro denitrifikaci [11]

koncentrace rozpuštěného kyslíku	pod 0,2 mg.l ⁻¹
pH	7,0–7,5
teplota	5–35 °C
organický uhlík	poměr CHSK:N = minimálně 3:1
redox potenciál	-50 – +50 mV

V následující tabulce 7.4 jsou shrnuty hlavní údaje o nitrifikaci a denitrifikaci.

Tab. 7.4 Porovnání nitrifikace a denitrifikace [19]

	nitrifikace	denitrifikace
reakce	biochemická oxidace	biochemická redukce
prostředí	aerobní (oxické)	anoxické
hlavní Mikroorganismy	chemolitotrofní	organotrofní
hlavní vstupující sloučenina	amoniakální dusík N-NH ₄ ⁺ , N-NH ₃	dusičnany
hlavní vystupující sloučenina	dusičnany	plynný dusík N ₂
uvolňuje se	vodíkový iont H ⁺	hydroxidové ionty OH ⁻
vliv na pH	dochází k poklesu	dochází k růstu
přípustné pH	7,0–8,5	6,0–9,0
závislost na teplotě	velká	malá
růstová rychlost bakterií	malá	velká
potřeba organického substrátu	ne	ano

8 ROZDĚLENÍ PROCESŮ K ODSTRAŇOVÁNÍ NUTRIENTŮ DLE POŽADOVANÉ KVALITY ODTOKU

Následující tabulky 8.1, 8.2 a 8.3 uvádí přehled procesů k odstraňování nutrientů dle požadované kvality odtoku. V následujících kapitolách 9 a 10 jsou podrobněji popsány technologie dosahující nejnižší koncentrace nutrientů na odtoku, tj. jsou na ně kladeny nejvyšší nároky na jakost vyčištěné vody.

Tab. 8.1 Vybrané procesy pro dosažení požadované koncentrace celkového fosforu na odtoku [25]

koncentrace [mg/l]	technologie
1,0–0,5	chemické srážení A/O proces; doporučeno s filtrací pětistupňový Bardenpho Phostrip; doporučeno s filtrací SBR reaktor
0,1–0,5	chemické srážení s filtrací třístupňový Westbank s filtrací MUCT s filtrací fázový izolovaný příkop s filtrací pětistupňový Bardenpho s dávkováním chemikálií a filtrací postupně zatěžovaná aktivace s filtrací
0,1 a méně	membránová filtrace vysoce výkonné filtry: <ul style="list-style-type: none"> • Trident, • Dynasand D2, • Blue PRO. CoMag proces

Filtrací se rozumí použití konvenčního filtru s pískovým nebo antracitovým ložem, vícevrstvého filtru, či obdobného filtru, jako třetího stupně čištění. (platí i pro tab. 8.2 a 8.3)

Tab. 8.2 Vybrané procesy pro dosažení požadované koncentrace celkového dusíku na odtoku [25]

koncentrace [mg/l]	technologie
8,0–3,0	A ² O; doporučeno s filtrací MLE SBR IFAS MBBR třístupňový Westbank proces čtyřstupňový Bardenpho proces Blue Plains proces
3 a méně	čtyřstupňový Bardenpho, filtrace nutná fázový izolovaný příkop s filtrací denitrifikace aktivovaným kalem s filtrací postupně zatěžovaná aktivace s filtrací denitrifikační filtry: Tetra filtr, Leopold filtr Biostyr filtr

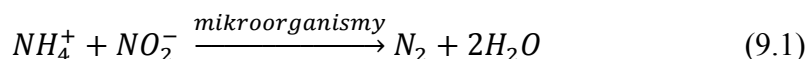
Tab. 8.3 Vybrané procesy pro dosažení požadované koncentrace celkového dusíku a současně fosforu na odtoku [25]

koncentrace $N_{\text{celk.}}$ [mg/l]	koncentrace $P_{\text{celk.}}$ [mg/l]	technologie
8,0–3,0	> 1,0–0,5	SBR; doporučeno s filtrací MUCT A/O proces postupně zatěžovaná aktivace s filtrací fázový izolovaný příkop třístupňový Westbank pětistupňový Bardenpho alternativně procesy z tab. 8.2 první řádek + chemické odstraňování fosforu
3,0 a méně	0,5–0,1	postupně zatěžovaná aktivace s filtrací pětistupňový Bardenpho s filtrací fázový izolovaný příkop s filtrací denitrifikační filtry alternativně procesy z tab. 8.2 druhý řádek + chemické odstraňování fosforu a filtrace
3,0 a méně	0,1 a méně	postupně zatěžovaná aktivace s chemickým odstraňováním fosforu a filtrací denitrifikační filtry s chemickým odstraňováním fosforu a filtrací membrány s chemickým odstraňováním fosforu

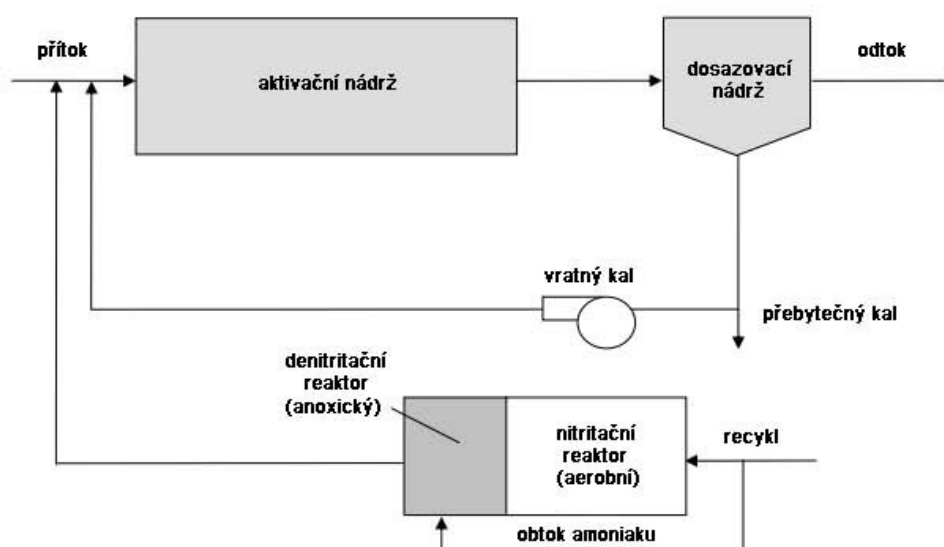
9 VYBRANÉ PROCESY PRO ODSTRAŇOVÁNÍ DUSÍKU

9.1 ANAMMOX[®]

Anaerobní oxidace amonného kationtu (ANAerobic AMMonium OXidaton) je proces, který byl objeven na počátku 90. let a má velký potenciál pro odstraňování amoniakálního dusíku z odpadní vody. Autotrofní bakterie kmene *Planctomyces* (*Candidatus Brocadia anammoxidans*, *Kuenenia stuttgartiensis*) přeměňují amonný kationt a oxid dusičitý na plynný dusík a vodu:



Ve srovnání s běžným procesem nitrifikace a denitrifikace, proces ANAMMOX nevyžaduje zdroj organického uhlíku pro nitrifikaci, má menší spotřebu energie na provzdušňování, menší produkci přebytečného kalu a nižší emise oxidu uhličitého.

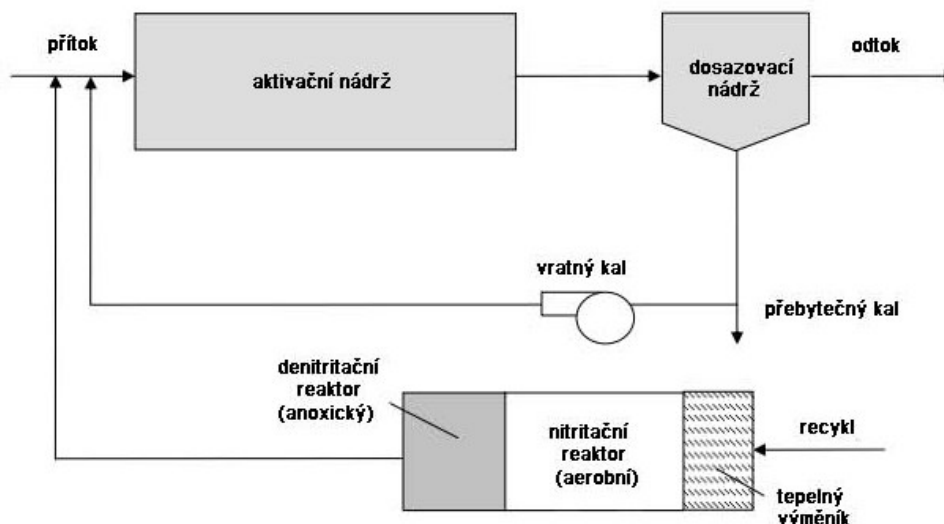


Obr. 9.1 Schéma procesu ANAMMOX [25]

Kombinaci částečné nitrifikace a procesu ANAMMOX v jednom reaktoru využívají další procesy známé jako DEMON (DE-amMONification), OLAND (Oxygen-Limited Autotrophic Nitrification-Denitrification), CANON (Completely Autotrophic Nitrogen removal over Nitrite process). [25, 43]

9.2 SHARON[®]

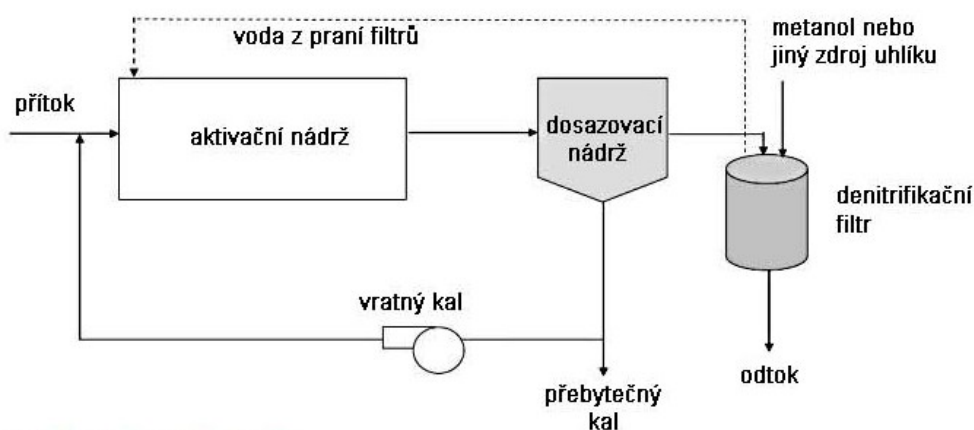
Název procesu tvoří počáteční písmena z anglického názvu (Single reactor for High activity Ammonia Removal Over Nitrite). Proces SHARON se od konvenčních biologických procesů čištění odpadních vod liší tím, že růst a vyplavování kalu jsou v rovnováze. Proces probíhá při zvýšené teplotě (30–35 °C) s krátkou dobou zdržení (1–2 dny). Za této teploty je růstová rychlost nitrifikačních bakterií vyšší než nitratačních, které jsou ze systému vyplavovány. Mikroorganismy přemění nitrifikací amoniak na dusitany a následně denitrifikací dusitany na plynný dusík. Krátkou dobou zdržení (vyplavováním nitratačních mikroorganismů) je zabráněno oxidaci dusitanů na dusičnany. Proces spotřebuje o 25 % méně kyslíku pro nitrifikaci a o 40 % méně CHSK ve srovnání s běžným procesem nitrifikace a denitrifikace. [25, 43]



Obr. 9.2 Schéma procesu SHARON [43]

9.3 DENITRIFIKAČNÍ FILTRY

Denitrifikační filtry jsou na trhu dostupné ve dvou hlavních konfiguracích a to jako filtry protékané shora a filtry protékané zdola. Filtry zajišťují jak denitrifikaci, tak i filtraci odpadní vody. Vzhledem k tomu, že jsou umístěny za aktivizační nádrže, je nutné do nich přidávat externí substrát, nejčastěji metanol. Denitrifikační filtry mají v porovnání s aktivizačními systémy s aktivovaným kalem malé rozměry, ale vyžadují zvýšené náklady na energii v podobě čerpání. Během průtoku odpadní vody přes filtr jsou dusičnany pomocí mikroorganismů metabolizovány na plynný dusík. Pro správnou účinnost filtrů je nutné jejich pravidelné praní. Praní probíhá obdobně jako u vodárenských filtrů vzduchem a vodou. [epadesign]



Obr. 9.3 Schéma možného zapojení denitrifikačních filtrů [25]

9.3.1 Tetra Denite®

Systém kombinuje denitrifikaci a filtrační proces pro odstranění dusičnanového dusíku a nerozpuštěných látek v jednom kroku. Denite je proces denitrifikace přisedlou biomasou, který zároveň slouží jako filtrace. Proces se používá jako konečný článek při požadavku na zvýšené odstraňování dusíku. Dosažitelné hodnoty na odtoku jsou uvedeny v tabulce 9.1. [54]

Tab. 9.1 Dosažitelné hodnoty na odtoku systému Tetra Denite® [54]

látka	dosažitelná koncentrace
dusičnanový dusík	< 1,0 mg/l
celkový dusík	< 3,0 mg/l
celkový fosfor	< 0,3 mg/l
zákal	< 2 NTU
nerozpuštěné látky	< 5 mg/l, typicky < 2 mg/l

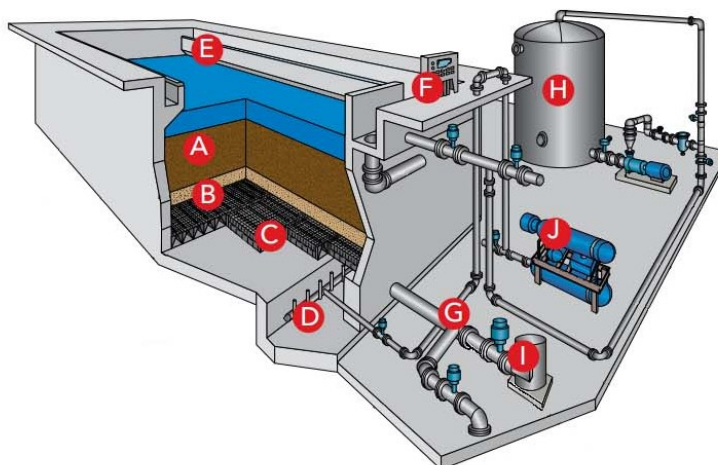
9.3.2 Leopold®

Proces se skládá ze tří částí:

Filtrační cyklus – metanol nebo jiný zdroj uhlíku (externí substrát) je přidáván do přítoku surové vody pro denitrifikační kulturu mikroorganismů ve filtračním loži. Voda protéká přes filtrační lože a mikroorganismy metabolizují dusičnany na plynný dusík.

Cyklus uvolnění dusíku – malé bublinky dusíku se akumulují ve filtračním loži. Krátké praní tyto bublinky uvolní a dusík uniká do atmosféry.

Prací cyklus – kompletní prací cyklus odstraní usazené pevné látky spolu s částí mikroorganismů z filtračního lože.



Obr. 9.4 Schéma denitrifikačního filtru Leopold [30]

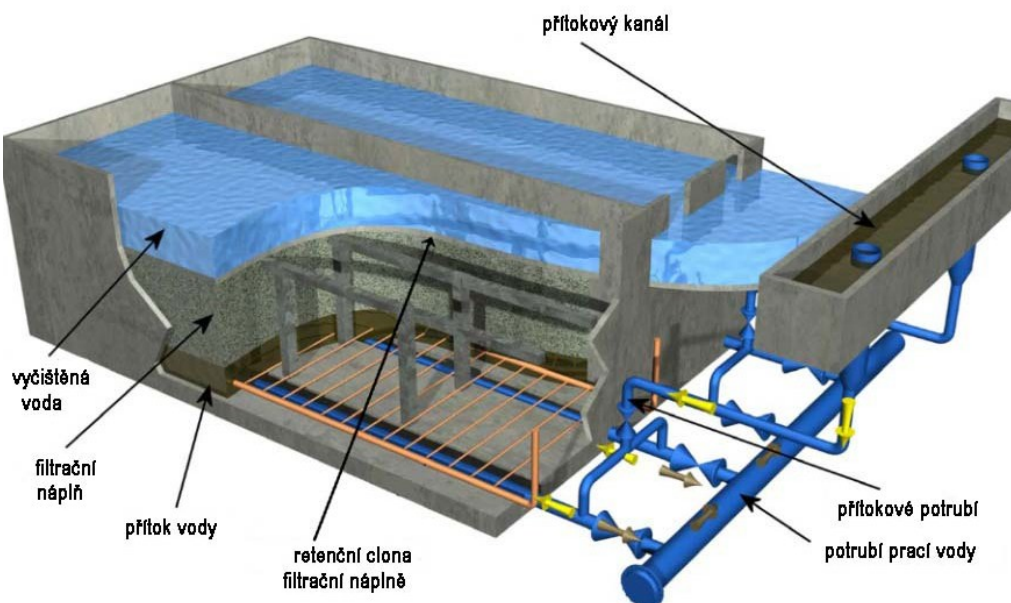
- A – filtrační médium, převážně křemičitý písek frakce 1,5–3,0 mm
- B – štěrky, frakce 3,0–19,0 mm
- C – drenážní systém Leopold Typ S
- D – aerační elementy distribuují vzduch při praní filtru
- E – přelivná hrana pro rovnoměrné rozdělení přítoku na filtry a odtok prací vody
- F – řídicí a kontrolní panel
- G – ventily pro řízení průtoku z a na filtr
- H – zásobník externího substrátu, nejčastěji metanolu
- I – čerpadlo prací vody, dodává vodu při pracím cyklu a při cyklu uvolnění dusíku
- J – dmychadlo, dodává vzduch při praní filtru [30]

9.3.3 Biostyr®

Tuto technologii lze využít pro druhý nebo i třetí stupeň čištění odpadních vod. Proces umožňuje celkové odbourávání dusíku v jednom stupni. Biostyr je proces založený na principech kombinace biologického filtru a fixované biomasy v biofilmu. Díky vlastnostem typickým pro filtry, není nutná instalace separačního stupně a fixovaná biomasa umožňuje relativně vysoké objemové zatížení. Odpadní voda může na filtr natékat jak gravitačně, tak tlakově. Při vhodném uspořádání tak nevznikají dodatečné provozní náklady způsobené čerpáním vody. Technologie Biostyr má schopnost zachytit podíl nerozpuštěných látek v případě špatné funkce dosazovacích nádrží. Jako náplň filtru slouží lehké polystyrenové kuličky s názvem Biostyrene. Proces lze provozovat jako nitrifikaci, simultánní nitrifikaci-denitrifikaci nebo denitrifikaci. [3]

Tab. 9.2 Návrhové a výkonové parametry technologie Biostyr [57]

proces	návrhové parametry	účinnost
nitrifikace	1,1–1,3 kg TKN/m ³ /den	TKN < 5–10 mg/l
nitrifikace-denitrifikace N	1,1–1,2 kg TKN/m ³ oxíc. média/den	TN < 5–20 mg/l
D	1,2 kg N-NO ₃ /m ³ anoxic. média/den	
denitrifikace	3 kg N-NO ₃ /m ³ média/den	N-NO ₃ < 2 mg/l



Obr. 9.5 Schéma filtru Biostyr [61]

10 TERCÍÁLNÍ STUPEŇ ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

Terciární stupeň čištění odpadních vod se v současnosti stává běžnou součástí komunálních čistíren odpadních vod. Aplikací terciárního stupně čištění se snižují koncentrace zbytkových polutantů za účelem splnění emisních standardů pro konkrétní ČOV. Právě odtokové hodnoty (emisní standardy nebo limity) a charakter zbytkového znečištění ovlivňují, zdali bude na odtoku ze sekundárního stupně čištění instalován terciální stupeň a jaký bude zvolen typ čistírenské technologie. Nicméně při správně navržené a provozované technologii většinou není nutné tento stupeň čištění budovat. Terciární čištění představuje soubor různých metod, kterými lze dosáhnout mnohem přísnějších limitů, než které vyžaduje česká legislativa. Kromě snížení koncentrace zbytkových polutantů lze pomocí terciárního stupně čištění dosáhnout i hygienického zabezpečení odtoku.

Technologie terciálního stupně čištění odpadních vod:

- filtrace,
- biologické nádrže,
- membránová separace,
- adsorpce,
- hygienické zabezpečení odtoku. [45]

10.1 FILTRACE

Filtrace se doporučuje všude, kde je požadována vysoká kvalita odtoku. Filtrace slouží především k snížení nerozpustných látek na odtoku. Téměř ve všech případech snižuje koncentraci NL pod 10 mg/l a v některých případech až pod 5 mg/l. Spolu s chemickým srážením fosforu lze pomocí filtrace dosáhnout také velmi nízkých koncentrací fosforu. [20]

Hlavní návrhové faktory, které ovlivňují odstraňování fosforu na filtrech:

- kvalita vody na přítoku,
- parametry filtračního lože,
- filtrační rychlost,
- tlaková ztráta,
- praní,
- průtok. [43]

Kvalita vody na přítoku

Důležité parametry pro navrhování terciálního filtračního systému jsou koncentrace NL, velikost a pevnost vloček. Typická koncentrace NL na odtoku ze sekundárního čištění je 6–30 mg/l s odpovídajícím zákalem 315 NTU. Distribuční diagram velikost vloček má bimodální rozdělení, což znamená, že existují dva vrcholy. První s velikostí vloček 0,8–1,2 μm a druhý s velikostí vloček 5–100 μm . [43]

Parametry filtračního lože

Mezi sledované parametry zrnitých filtračních médií patří hustota, velikost částic, sféricita, číslo nestejnzrnatosti a mocnost filtračního lože. Běžně používaná filtrační média a jejich vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 10.1, tabulka 10.2 ukazuje příklady některých filtrů.

Tab. 10.1 Hustota a sféricita běžných filtračních médií [43]

materiál	hustota [g/cm ³]	sféricita
písek	2,65	0,40–0,60
antracit	1,60	0,75–0,85
granát	4,20	0,60–0,80
ilmenit	4,50	-

Tab. 10.2 Příklady filtrů [43]

materiál	mocnost [m]	efektivní velikost částic [mm]	číslo nestejnorodnosti
běžný jednovrstvý filtr (pískový nebo antracitový)			
písek	0,45–0,75	0,015–0,03	1,2–1,6
antracit	0,60–0,90	0,03–0,08	1,3–1,8
hluboké jednovrstvé filtry (pískový nebo antracitový)			
písek	0,90–1,83	0,08–0,12	1,2–1,6
antracit	0,90–2,13	0,08–0,16	1,3–1,8
dvouvrstvé filtry			
písek	0,18–0,38	0,015–0,03	1,2–1,6
antracit	0,38–0,90	0,03–0,08	1,3–1,6
vícevrstvé filtry			
granát	0,05–0,15	0,008–0,024	1,5–1,8
písek	0,22–0,50	0,015–0,03	1,3–1,8
antracit	0,22–0,60	0,04–0,08	1,4–1,8

Filtrační rychlost

Návrhová rychlost závisí na pevnosti vloček a velikosti částic filtračního média. Obvykle se pohybuje v rozmezí 5–20 m/h.

Tlaková ztráta

Velikost tlakové ztráty na filtrech může být důležitá zejména v případě, pokud máme před filtry k dispozici pouze určitou tlakovou výšku. Tlakovou ztrátu na filtru je možné počítat např. dle rovnice:

$$h = \frac{Lk\mu}{\rho g} \cdot \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \cdot S_v^2 V \quad (10.1)$$

kde h ... tlaková ztráta [m],

L ... mocnost filtračního lože [m],

μ ... viskozita vody [kg.s/m²],

k ... Koženého konstanta = 5 pro většinu filtračních médií [-],

ρ ... hustota vody [kg/m³],

g ... gravitační zrychlení [m/s²],

ε ... pórovitost [-],

S_v ... specifický povrch, poměr objemu k povrchu částice [-],

V ... filtrační rychlost [m/s]. [43]

V případě dvouvrstevných filtrů se vypočítá ztráta pro každou vrstvu a následně se ztráty sečtou.

Praní

Účelem praní filtru je odstranit zachycené látky z filtračního lože. K praní filtrů dochází při překročení určité tlakové ztráty nebo při zhoršení kvality filtrátu nad přípustnou mez. Filtry mohou být propírány vodou, vzduchem, nebo vodou i vzduchem. Současné praní vodou a vzduchem vyžaduje méně vody a méně času než samotné praní pouze vodou. Současné praní může lépe vyčistit filtr a tím prodloužit dobu jeho cyklu. Filtry je třeba prát rychlostí 10–15 l/s.m po dobu 15–20 minut. Voda z praní filtru se vrací zpět na začátek technologické linky čištění odpadních vod. [25]

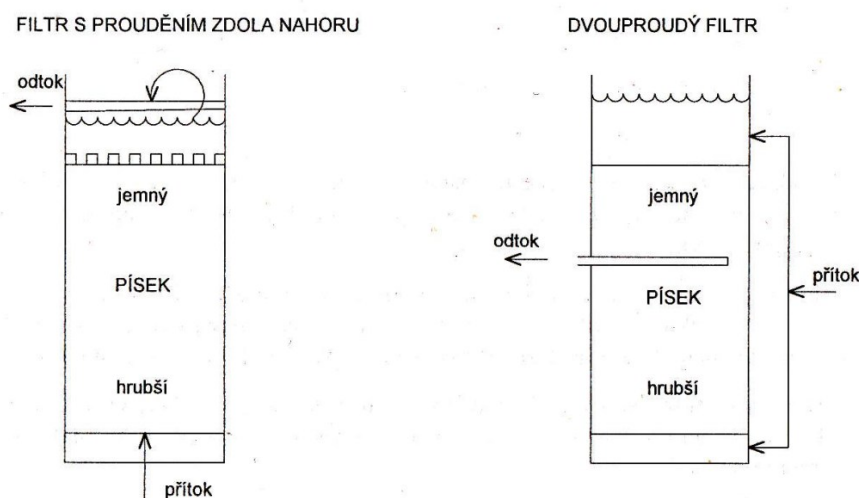
Kontrola průtoku

Filtrace se zdánlivou filtrační rychlostí. Voda je na filtr přiváděna tak, aby byl zajištěn konstantní průtok a konstantní hladina nad filtračním ložem, přičemž postupně narůstá tlaková ztráta.

Filtrace s proměnnou filtrační rychlostí. Principem je postupné snižování zdánlivé filtrační rychlosti (průtoku) v závislosti na rostoucí tlakové ztrátě na filtru. [43]

10.1.1 Pískové filtry

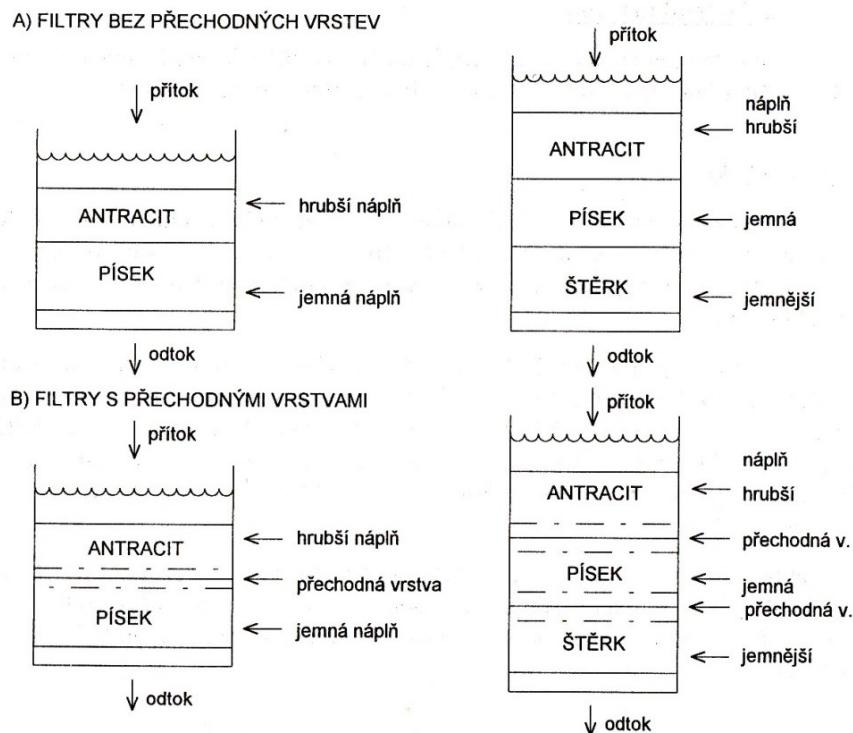
Filtr se skládá z pískového lože, obvykle protékaného shora dolů. NL jsou odstraňovány celou řadou procesů: mechanickým cezením, usazováním, adsorbci, absorbcí, působením elektrostatických sil. Zachytáváním NL ve filtru narůstá tlaková ztráta. Jakmile dosáhne určité hranice, je nutné filtr proprat. Výkon filtru závisí především na velikosti částic, typu a hloubce filtračního lože, na velikosti, typu a původu částic, které odstraňujeme a na filtrační rychlosti. Běžná mocnost filtračního lože u standartních filtrů je 0,6 m a u filtrů s hlubokým ložem 1,2–1,8 m. [20]



Obr. 10.1 Příklad klasických pískových filtrů [20]

10.1.2 Vícevrstvé filtry

Do vícevrstvých filtrů se jako náplň obvykle používá antracit a písek, popřípadě v kombinaci se štěrkem. Je možné využít i minerály jako granát a ilmenit. Ty mají vyšší hustotu než písek a snadno se po propírání filtru usadí u dna. Antracit je schopen adsorbovat kromě nerozpuštěných látek také organické sloučeniny. Antracit je měkčí než písek a během propírání může dojít k abrazi jeho zrn. Tyto menší částice pak mohou způsobit zaslepení filtru, pokud nejsou v průběhu praní odstraněny. K dalším možným kombinacím vícevrstvých filtrů lze zařadit aktivní uhlí + písek, umělá pryskyřice + písek, umělá pryskyřice + antracit. [20, 25]



Obr. 10.2 Příklad vícevrstvých filtrů [20]

10.1.3 Zemní filtry

Zemní filtry se uplatňují převážně k čištění odpadních vod z velmi malých zdrojů, jako jsou jednotlivé domy, jejich skupiny, sportovní a rekreační zařízení do cca 100 obyvatel. Další využití je možné pro čištění dešťových vod ze střech a čistých zpevněných ploch a také pro dočištění odpadních vod za biologickými čistírnami. Pro dočištění se používají filtry s jemnější náplní s hloubkou 0,8–1,2 m. Přípustné hydraulické zatížení pro biologicky vyčištěné vody se pohybuje v rozmezí 0,15–0,20 m/d v závislosti na velikosti zrn filtrační vrstvy. Orientačně lze uvažovat plochu zemního filtru 1–5 m² na 1 EO. Půdní filtry mohou být navrženy bez vegetace s krycí vrstvou zajišťující potřebnou tepelnou izolaci, nebo s travními porosty či speciálně vybranými rostlinami na povrchu. Půdní filtry lze dělit dle směru průtoku na filtry s vertikálním prouděním směrem dolů, horizontálním prouděním a radiálním prouděním. Zemní filtry se navrhují jako těsněné zemní jímky nebo rýhy vyplněné filtračním materiálem (minerální materiály charakteru drobného štěrku nebo písku, struska, škvára, umělé materiály se sorpčními vlastnostmi aj.). Jako těsnění se používá plastová fólie chráněná geotextilií nebo vhodné jílové zeminy.

Účinnost zemních filtrů závisí na druhu filtračního materiálu a denní nájpuštěné výšce. Pro dočišťování biologicky vyčištění odpadních vod lze předpokládat účinnost dle tab. 10.3. [19, 28]

Tab. 10.3 Účinnost zemních filtrů při dočišťování biologicky vyčištěné vody [19]

velikost zrn filtračního lože [mm]	max. denní výška [m]	účinnost [%]	
		BSK ₅	NL
jemnozrný 1–2	0,15	80	75
hrubozrný 2–4	0,20	75	70

10.2 BIOLOGICKÉ NÁDRŽE

V literatuře se můžeme setkat také s pojmy biologický rybník či stabilizační nádrže. Biologické nádrže slouží ke zlepšení fyzikálních, chemických a biologických vlastností přítékajících povrchových nebo odpadních vod. Biologické nádrže lze využít pro biologické čištění málo koncentrovaných odpadních vod nebo dočištění odpadních vod po biologickém čištění. Následující tabulka 10.4 uvádí rozdělení biologických nádrží dle koncentrace kyslíku, účelu a možnosti jejich využití. [28]

Tab. 10.4 Rozdělení biologických nádrží [28]

typ nádrží	rozdělení	možnosti využití
aerobní biologické nádrže	nízkozatěžované	čištění znečištěných povrchových a komunálních odpadních vod
	vysokozatěžované	čištění komunálních vod v klimaticky příznivých oblastech
	průběžně provzdušňované	intenzivní čištění komunálních odpadních vod
	dočišťovací	dočištění čištěných odpadních vod v biologických rybnících
fakultativní	dle konstrukce	přechod anaerobního a aerobního prostředí čistícího procesu
anaerobní biologické nádrže	průtočné, dle doby zdržení	anaerobní čištění odpadních vod předřazené aerobnímu čištění
	sedimentační, zemní nádrže	prodloužená sedimentace OV v jednoduchých zemních nádržích
	akumulační	čištění odpadních vod z cukrovarů, lihovarů, škrobáren

Biologické dočišťovací nádrže se navrhují na zatížení podle BSK₅ maximálně 35 kg/ha.d a teoretickou dobu zdržení minimálně 5 dnů. Hloubka vody v nádrži se navrhuje 0,7–2,0 m. Tvar nádrží má být blízký přírodním podmínkám s plochým dnem a bez ostrůvků. [příručka]

Následující tabulka 10.5 ukazuje předpokládanou účinnost dočišťovacích biologických nádrží provozovaných za mechanicko-biologickou ČOV.

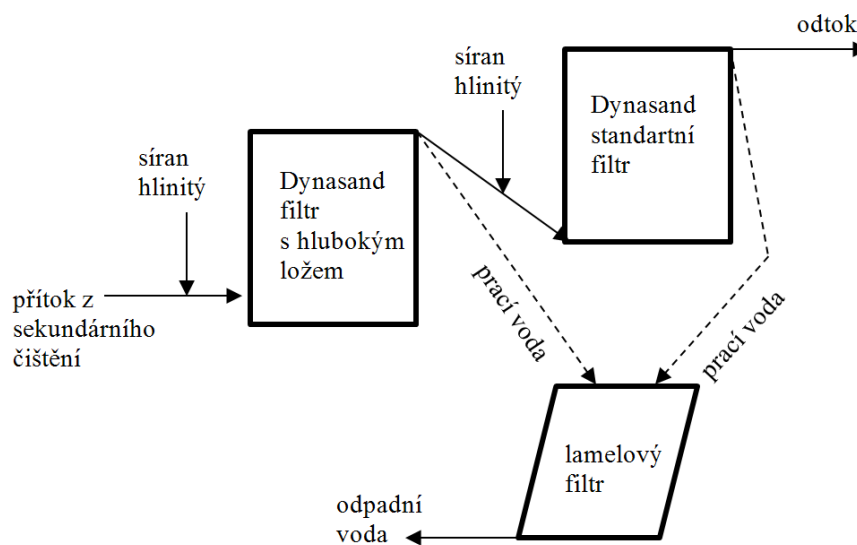
Tab. 10.5 Účinnost biologických dočišťovacích nádrží [19]

ukazatel	účinnost [%]
BSK ₅	35–40
CHSK _{Cr}	15–20
NL	30–35
P _{celk.}	35–40
N _{celk.}	20–25
Coliformní zárodky minimálně	95

10.3 SPECIÁLNÍ TECHNOLOGIE

10.3.1 Dynasand[®] D2

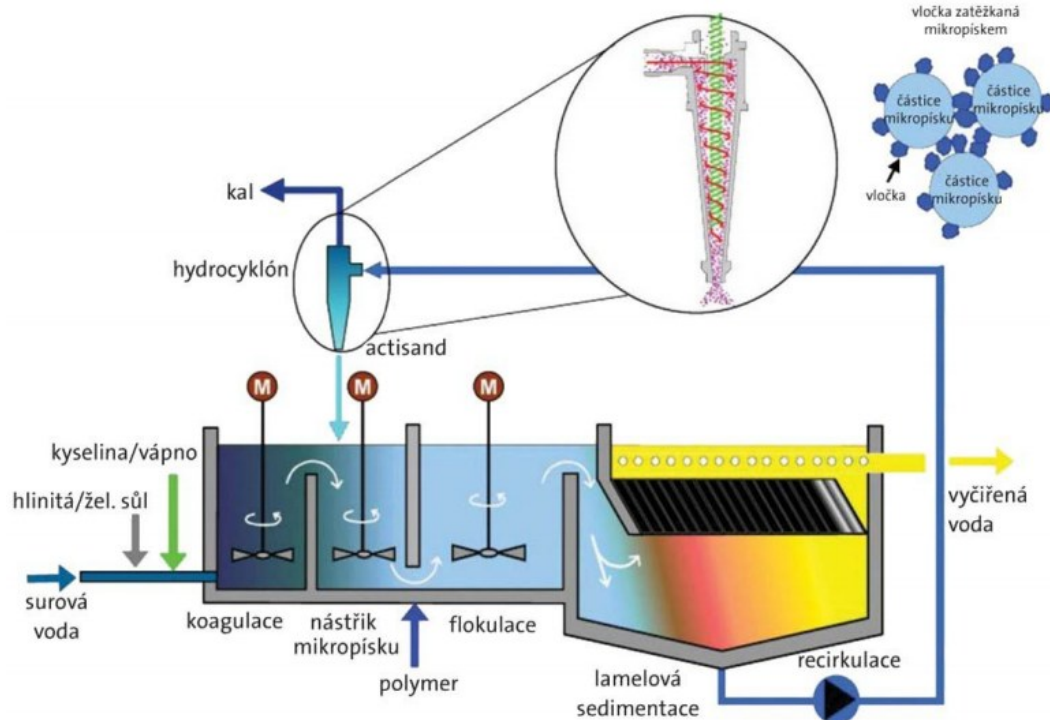
Skládá se ze dvou filtrů, jednoho s hlubokým ložem a jednoho se standartním ložem zapojených v sérii. Do systému je dávkován síran železitý (obrázek 10.3). Náplň filtru s hlubokým ložem je hrubý písek a probíhá v něm proces CCF (Continuous Contact Filtration) tj. koagulace, flokulace a separace. Druhý menší filtr je naplněn jemnějším pískem, z toho pak vytéká vyčištěná voda. Oba filtry jsou automaticky propírány a prací voda je čištěna ve speciálním lamelovém filtru. [25]



Obr. 10.3 Schéma procesu Dynasand D2 [25]

10.3.2 Actiflo[®]

Proces Actiflo je možné použít při čištění komunálních i průmyslových odpadních vod a také při úpravě pitné a procesní vody. Při čištění odpadních vod lze proces využít jako primární stupeň čištění před biofiltry, nebo jako terciální stupeň k odstranění nerozpuštěných látek a fosforu. V podstatě se jedná o intenzifikaci čířiče s lamelovým separátorem doplněným o dávkování mikropísku společně s anorganickým koagulantem a polymerním flokulantem. Díky vysoké koncentraci mikropísku v celém objemu čířiče dochází k vytváření kompaktních a rychle sedimentujících vloček. V sedimentační nádrži dochází k rychlému oddělení vyčiřené vody a kalu. Vyčiřená voda prochází lamelovou vestavbou a vrchním žlabem opouští čířič. [57, 42]



Obr. 10.4 Schéma procesu Actiflo [42]

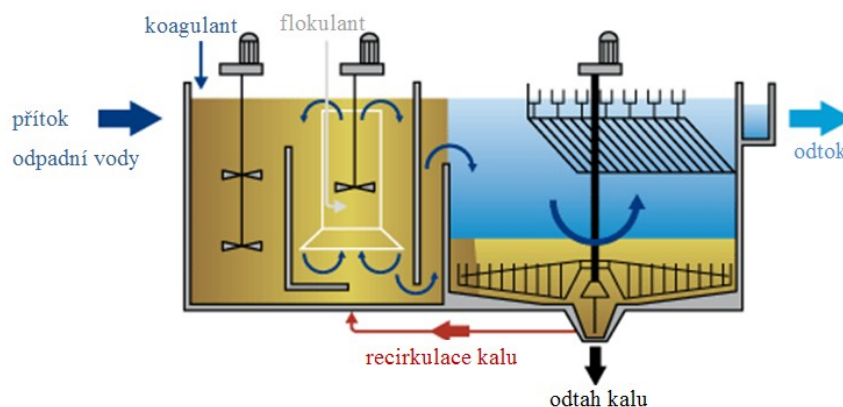
Výkon procesu Actiflo závisí především na dávkování koagulantu. Následující tabulka 10.4 udává běžnou účinnost procesu pro odpadní vody.

Tab. 10.6 Účinnost odstranění jednotlivých látek procesu Actiflo [57]

ukazatel	účinnost [%]
NL	80–95
CHSK	60–80
TKN	15–20
P	70–95
těžké kovy	80–95

10.3.3 DensaDeg®

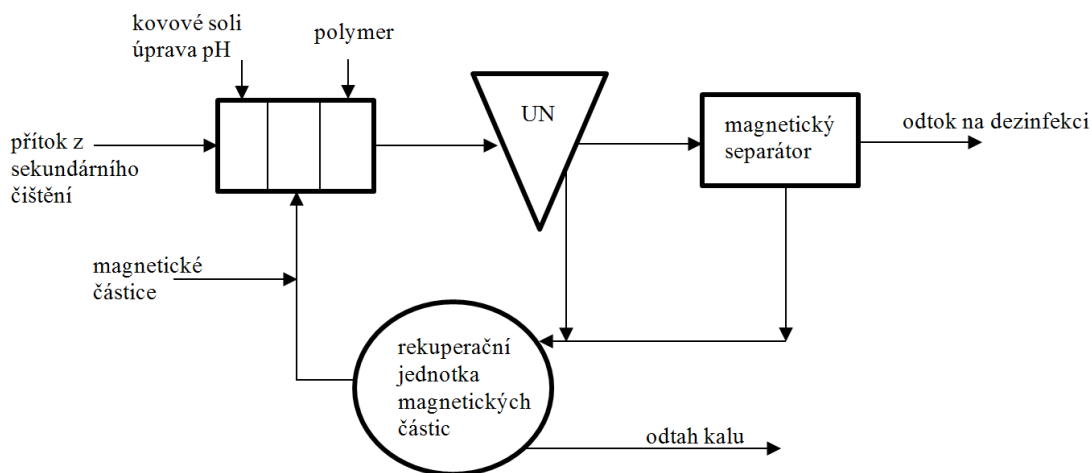
DensaDeg proces lze využít při primárním usazování, terciálním odstraňování fosforu a čištění dešťových vod. V první části nádrže dochází ke smísení přitékající odpadní vody s koagulanty, flokulanty a recirkulovaným kalem z druhé části nádrže. Následně voda protéká přes střední přepážku do druhé části – lamelové usazovací nádrže. Zde dochází k usazování kalu a odtoku vyčištěné vody. [57]



Obr. 10.5 Schéma procesu DensaDeg [58]

10.3.4 CoMag™

CoMag proces se skládá z flokulace, sedimentace a magnetické separace. Flokulační nádrž se skládá ze tří částí. V první části je přitékající odpadní voda míchána s kovovou solí. Dále se upravuje pH na optimální hodnotu pro odstraňování fosforu na základě složení dané odpadní vody. V druhé části nádrže jsou do vody přidány jemné magnetické částice ke zvýšení hustoty vloček. Pro zlepšení flokulace se ve třetí části přidává polymer. Následně voda odtéká do usazovací nádrže. Na odtoku z usazovací nádrže se nachází magnetický separátor, který přitahuje magnetické částice, které byly do vody přidány v druhé části flokulační nádrže a v usazovací nádrži se neusadily. Vyčištěná odpadní voda poté odtéká na dezinfekci. Celý systém obsahuje také rekuperační jednotku magnetických částic k minimalizování jejich ztrát. [25]

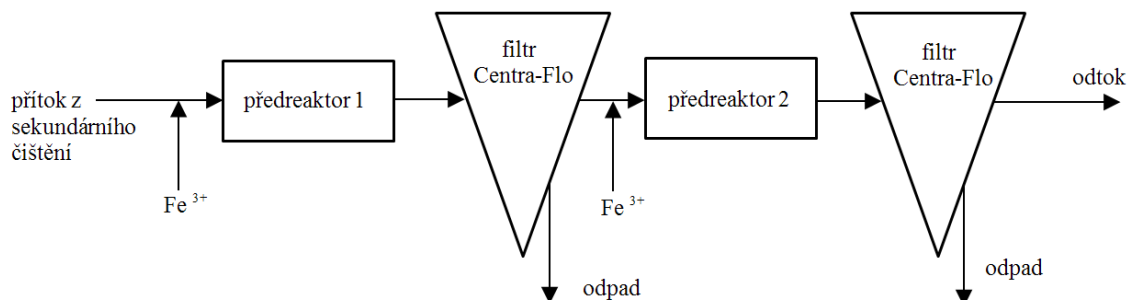


Obr. 10.6 Schéma procesu CoMag [25]

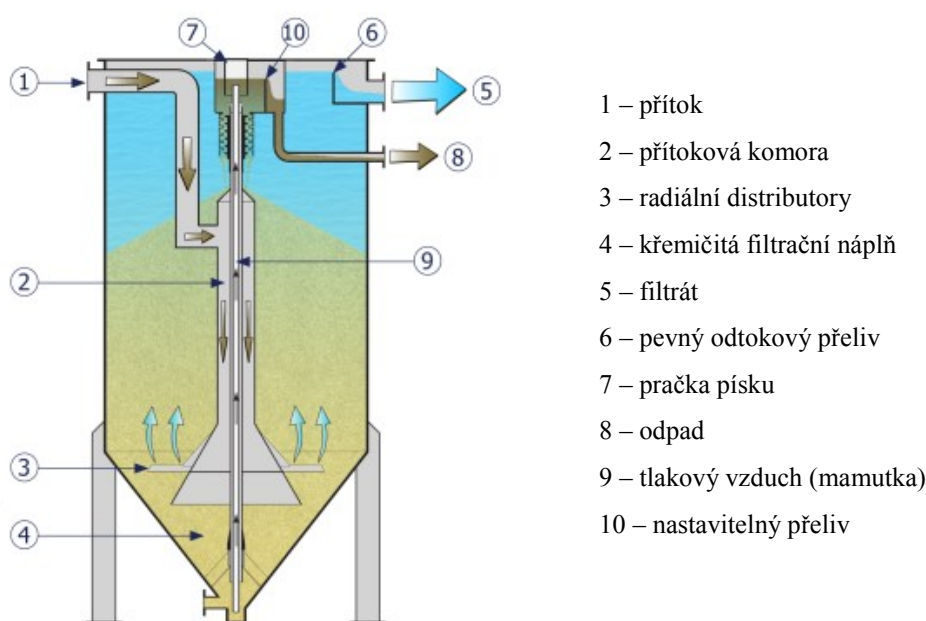
10.3.5 Blue PRO™

Blue PRO proces se skládá z přidání chemikálií, běžně chloridu železitého, následně patentovaného předreaktoru a filtru Centra-Flo (obr. 10.8) v sérii. Jedná se o kontinuální pískový filtr protékaný zdola nahoru. Surová voda je přiváděna do kuželovité komory s rozdělovači, které zajišťují rovnoměrné rozdělení průtoku na filtrační lože. Voda stoupá směrem vzhůru přes filtrační lože, kde je filtrována čerstvě propraným pískem. Celé filtrační lože se kontinuálně posouvá dolů. Znečištěný písek postupně klesá ke dnu filtru. Odtud je dopravován pomocí proudu vzduchu (mamutky) do pračky písku. Vysoká energie

turbulentního proudu vzduchu zajišťuje tření pískových zrn o sebe. Tím se uvolní zachycené nerozpuštěné látky, které jsou následně z pračky písku odváděny. Vyčištěný písek klesá zpět na horní část filtračního lože, čímž je zajištěna kontinuální regenerace filtru. [4, 25]



Obr. 10.7 Schéma procesu Blue PRO [25]

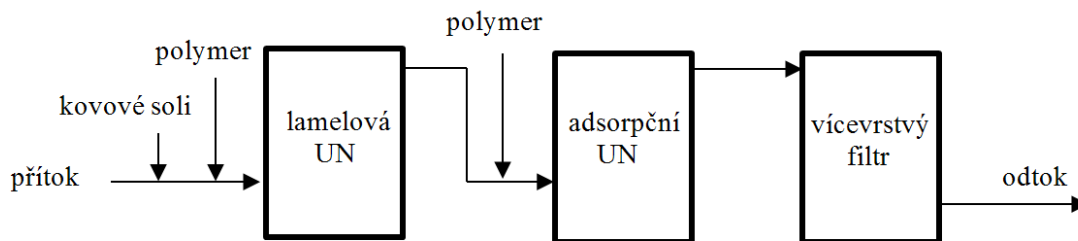


- 1 – přítok
- 2 – přítoková komora
- 3 – radiální distributory
- 4 – křemičitá filtrační náplň
- 5 – filtrát
- 6 – pevný odtokový přeliv
- 7 – pračka písku
- 8 – odpad
- 9 – tlakový vzduch (mamutka)
- 10 – nastavitelný přeliv

Obr. 10.8 Schéma filtru Centra-Flo [4]

10.3.6 Trident[®] HS

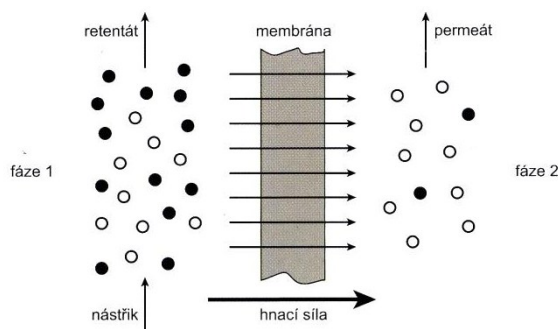
Proces Trident HS se skládá ze dvou čističů a následné filtrace. Do surové vody před vstupem do procesu jsou přidávány kovové soli a polymery. V lamelové usazovací nádrži dochází k recirkulaci vysrážených vloček z důvodu snahy o minimalizaci kolísání koncentrace přitékajících pevných látek. Po průtoku vody lamelovou usazovací nádrží je následně opět dávkován polymer. V adsorpční usazovací nádrži se odstraňují další pevné látky před filtrací. Posledním stupněm procesu je vícevrstevná filtrace s ložem z antracitu, písku a minerálu granátu. K praní se používá společně voda se vzduchem. Procesem je možné dosáhnout koncentrací fosforu pod 0,1 mg/l. [25]



Obr. 10.9 Schéma procesu Trident HS [25]

10.4 MEMBRÁNOVÉ TECHNOLOGIE

Membránové procesy jsou moderní separační metody založené na molekulárních vlastnostech oddělovaných látek. Hlavní částí membránových procesů je samotná membrána. Tu lze popsat jako selektivní bariéru mezi dvěma prostředími umožňující transport vybraných částic. Látka prošlá membránou se nazývá permeát a zadržaná látka retentát (koncentrát).



Obr. 10.10 Schéma membránového procesu [5]

Membránové technologie lze dělit do skupin dle různých kritérií. Nejběžnější dělení je dle fyzikálního charakteru hnací síly vlastní separace na:

- procesy s gradientem tlaku – mikrofiltrace (MF), ultrafiltrace (UF), nanofiltrace (NF) a reverzní osmóza (RO),
- procesy s gradientem chemického potenciálu – pervaporace (PV), permeace plynů, dialýza, osmóza,
- procesy s gradientem elektrického potenciálu – elektrodialýza (ED), membránová elektrolyza,
- procesy s gradientem teploty – membránová destilace (MD). [39]

V souvislosti s čištěním průmyslových i komunálních odpadních vod a přípravou pitné vody se využívají zejména první čtyři zmíněné tlakové procesy MF, UF, NF a RO.

10.4.1 Tlakové membránové procesy

Mikrofiltrace

Proces blízký klasické filtraci a oddělované částice jsou rozměru 0,1–10 μm . To odpovídá suspendovaným pevným částicím v kapalině (koloidy), bakteriím a velkým molekulám proteinů. Porézní struktura mikrofiltračních membrán odpovídá rozměrům oddělovaných částic a používaný tlakový spád na membráně dosahuje 0,1–2,0 bar. [5]

Ultrafiltrace

Proces využívaný k separaci velkých molekul polymerů, bílkovin a koloidních látek. Je tedy využívána zejména k zakoncentrování a čištění přírodních látek. Používaný tlakový spád na membráně dosahuje 1–5 bar. V praxi je používáno uspořádání filtračního procesu „cross-flow“ (kap. 10.4.4). Výkonnost procesu výrazně ovlivňuje zanášení membrány (kap. 10.4.5) v průběhu procesu, které lze odstranit fyzikálním nebo chemickým čištěním. [5]

Nanofiltrace

Proces typický pro separace multivalentních iontů a molekul s molekulární hmotností okolo 200 g/mol. Monovalentní ionty jsou nanofiltračními membránami s iontovýměnnými skupinami odstraňovány s přibližně 50% účinností. Operační tlak na membráně se u standardních NF jednotek pohybuje v rozmezí 5–25 bar. [5]

Reverzní osmóza

Reverzní osmóza je využívána především k zakoncentrování roztoků a přípravě čisté vody. Využívána je buď samostatně, nebo v propojení s dalším vhodným procesem, jako např. s MF, UF nebo elektrodialýzou. Molekuly vody jsou při reverzní osmóze protlačovány homogenní membránou tlakem, který je vyšší než osmotický tlak vstupního roztoku. Operační tlak na membráně se pohybuje v rozmezí 10–100 bar, při kterém dojde k oddělení většiny iontů a organických sloučenin z roztoku. [5]

10.4.2 Charakteristika membrán

Ke kvalitativnímu a kvantitativnímu hodnocení membrán se využívají dva základní ukazatele: selektivita a propustnost (tok permeátu).

Selektivita

Udává schopnost membrány přednostně propouštět (preferovat) jednu složku z nástřiku a tím vzájemně oddělit dvě či více složek. Selektivitu je možné vyjádřit následujícími způsoby:

- a) stupeň zkoncentrování

$$\beta = \frac{c_{i,r}}{c_{i,n}} \quad (10.2)$$

kde β ... stupeň zkoncentrování (obohacení),

$c_{i,r}$... koncentrace složky i v retentátu,

$c_{i,n}$... koncentrace složky i v nástřiku.

Používá se zejména u ultrafiltrace v případech, kdy je produkt membránou zadržován a hromadí se v retentátu, kde dochází k jeho zkoncentrování.

- b) koeficient rejekce

$$R = 1 - \frac{c_{i,p}}{c_{i,n}} \quad (10.3)$$

kde R ... koeficient rejekce,

$c_{i,p}$... koncentrace složky i v permeátu,

$c_{i,n}$... koncentrace složky i v nástřiku.

Nejčastěji se používá u reverzní osmózy k vyjádření schopnosti zadržet soli a nízkomolekulárních látek. V případě, že membránou neprochází žádné sledované ionty (látky), nabývá hodnoty 1. [39]

Propustnost

Je definována jako rychlost toku permeátu vztažená na jednotku plochy membrány a času (např. $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$). Slouží k porovnání propustnosti jednotlivých druhů membrán. U porézních membrán propustnost závisí na velikosti a jednotnost pórů. Čím jsou póry membrány jednotnější z hlediska velikosti a tvaru, tím se zvyšuje i tzv. ostrost separace. Na výkonu membrány kromě velikosti pórů se významně podílí i porosita, která je definována jako poměr plochy (průřezu) pórů k celkové ploše membrány. [39]

Obecná rovnice transportu látky přes membránu:

$$J = \frac{\Delta p}{\mu \cdot (R_m + R_c)} \quad (10.4)$$

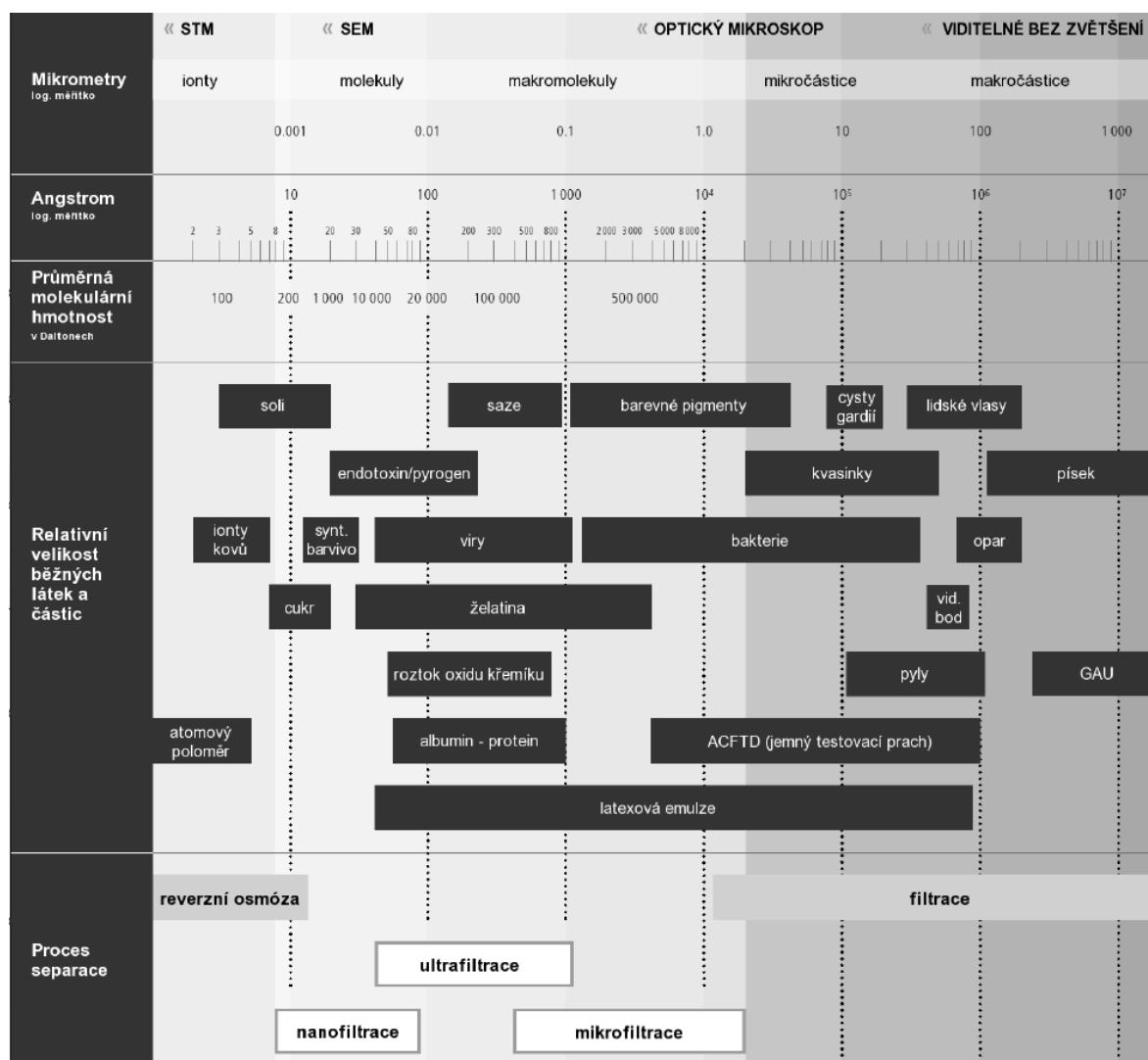
kde J ... průtok membránou [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],

Δp ... transmembránový tlak [$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$],

μ ... viskozita kapaliny [$\text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$],

R_m ... odpor membrány [m^{-1}],

R_c ... odpor povlaku na povrchu membrány [m^{-1}]. [50]



Obr. 10.11 Přehled membránových procesů ve vztahu k velikosti pórů, respektive poměru zachycených a propuštěných částic [50]

10.4.3 Materiály membrán

Membrány mohou být tvořeny z anorganických i organických materiálů.

Tab. 10.7 Vybrané organické a anorganické materiály používané pro membrány [31]

materiály organických membrán	materiály anorganických membrán
polyetylen (PE)	oxid hlinitý (Al_2O_3)
polytetrafluoretylen (PTFE)	oxid zirkoničitý (ZrO_2)
polyvinylidfluorid (PVDF)	oxid křemičitý (SiO_2)
polypropylen (PP)	oxid ceričitý (CeO_2)
polyakrylonitril (PAN)	oxid titaničitý (TiO_2)
acetát celulózy (CA)	nerezová ocel
polyimid (PI)	paladium
polysulfon (PS)	
polyetersulfon (PES)	

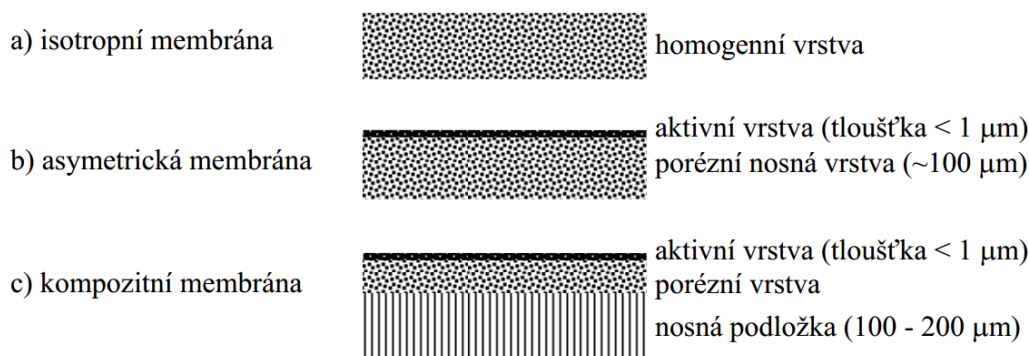
Při porovnání organických a anorganických materiálů membrán mají anorganické materiály větší tepelnou, chemickou odolnost a mechanickou pevnost. Naproti tomu jsou tyto materiály ale výrazně dražší. [1]

Struktura membrán

Isotropní (symetrická) – jsou v řezu homogenní tj. tvořené materiálem s póry o stejném průměru a výšce po celé tloušťce; mohou být porézní i neporézní.

Asymetrická – póry nemají konstantní průměr. Na povrchu se nachází tenká „aktivní vrstva“ s menšími póry, která dává membráně separační vlastnosti. Dále ve směru filtrace je „podpurná vrstva“, která slouží ke zlepšení mechanických vlastností membrány. Obě vrstvy jsou vyrobeny ze stejného materiálu.

Kompozitní – jsou složené z více vrstev různých materiálů a rozdílných funkcí. Vrchní „aktivní vrstva“ určuje separační vlastnosti membrány, střední porézní vrstva slouží k odvodu permeátu a spodní nosná vrstva zlepšuje mechanické vlastnosti jako pevnost a manipulovatelnost. [53]



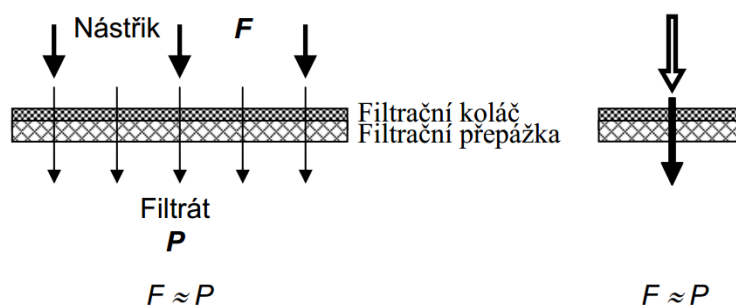
Obr. 10.12 Struktury membrán [39]

10.4.4 Uspořádání filtračního procesu

Existují dva režimy membránové filtrace z hlediska směru přiváděného toku:

Klasická filtrace (statická, dead-end)

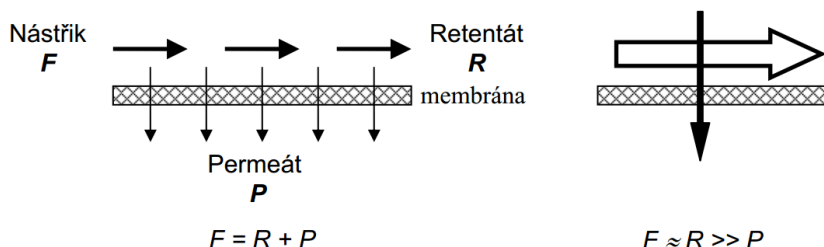
Směr přiváděného toku je kolmý k povrchu membrán, stejně tak jako třeba u pískové filtrace. Zachycené částice vytváří na povrchu membrány filtrační koláč (gelovou vrstvu), jejíž výška se v průběhu filtrace zvyšuje, čímž dochází k nárůstu odporu vůči průtoku membránou. Proto je nezbytné provádět proplachy a patřičná čištění k obnově propustnosti. [53]



Obr. 10.13 Schéma klasické (statické, dead-end) filtrace [39]

Filtrace příčným tokem (dynamická, cross-flow)

Směr přiváděného toku je příčný. V důsledku rychlosti přiváděné kapaliny nedochází k tak výrazné tvorbě filtračního koláče. Toto uspořádání má však vyšší energetické nároky a proces je třeba optimalizovat. [50]



Obr. 10.14 Schéma filtrace příčným tokem (dynamické, crossflow) [39]

10.4.5 Zanášení membrán

Průtokem vody přes membrány dochází k jejich zanášení a tím snížení průtočnosti. Může docházet ke vzniku tenké vrstvy (filtračního koláče) na povrchu membrány, k ucpávání pórů/průtočných kanálků nebo ucpávání prostor mezi membránovými vlákny/deskami. Zanášení membrán nejvíce ovlivňují vlastnosti aktivovaného kalu (viskozita, složení), vlastnosti membrán (velikost a tvar pórů, pórovitost, tvar povrchu a geometrie modulů membrán) a provozní parametry (hydraulika, hydrodynamika, čištění). [50]

Prakticky lze zanášení membrán rozdělit do tří kategorií:

- 1) zvrátané (dočasné) – lze odstranit mechanickým (fyzikálním) čištěním,
- 2) nezvrátané (trvalé) – lze odstranit chemickým čištěním,
- 3) nenapravitelné (absolutní) – nelze odstranit, nutná výměna membrány. [16]

10.4.6 Čištění membrán

Mechanické čištění

Při mechanickém čištění jsou z povrchu membrány odstraněny suspendované látky fyzikálními metodami. Fyzikální čištění, které je založené na vytvoření turbulentního proudění, se provádí jako zpětné proplachování nebo relaxace membrány.

Zpětné proplachování

Membrány se proplachují vodou v pravidelném intervalu při průtocích, které jsou 2–3 násobkem provozního průtoku. Doba proplachu se pohybuje v řádu sekund až minut. Účinek čištění závisí na délce a četnosti proplachů. Pro vyšší účinnost procesu se proplachování často kombinuje s aerací.

Relaxace

Spočívá v zastavení průtoku kapaliny membránou, přičemž membrána je provzdušňována. Doba relaxace se pohybuje v rozmezí 1–2 minut.

Oba procesy se často kombinují. Každý cyklus mechanického čištění odstraní pouze část zanesení membrány a tak celkový odpor stále narůstá. Při dosažení limitní hodnoty je nutné přistoupit k chemickému čištění. [38]

Chemické čištění

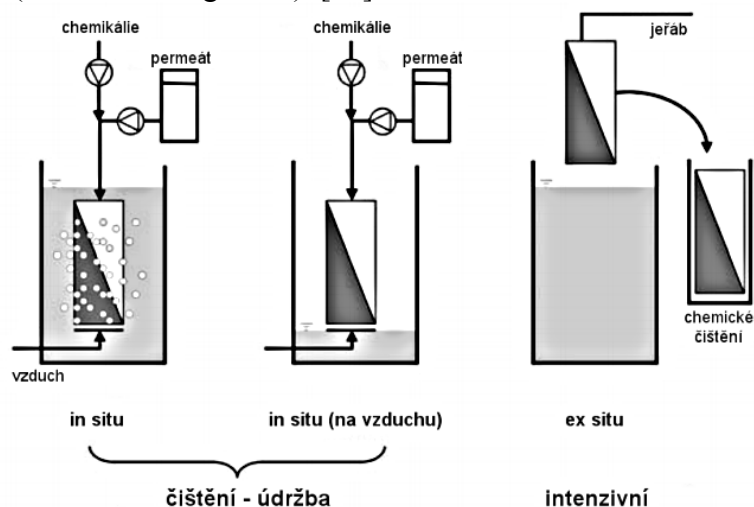
Je účinnější než mechanické čištění, odstraňuje totiž nezvratné (trvalé) zanesení membrán. Dle četnosti a účinnosti lze rozlišit 3 druhy chemického čištění:

Chemické zefektivnění zpětného proplachování (CEB)

Do proplachové vody se přidává malé množství chemikálie, provádí se denně.

Údržbové čištění

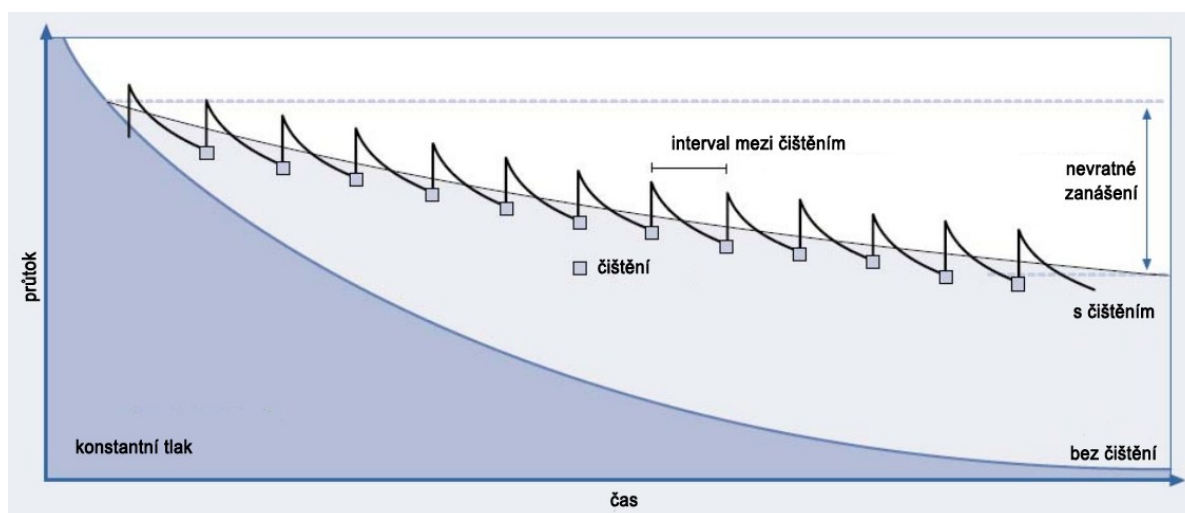
Toto čištění se provádí jednou za 5–7 dní. Využívá se vyšší koncentrace chemikálií než u CEB. Čištění trvá cca 30–60 minut, nejběžněji používanou chemikálií je chlornan sodný. Tímto způsobem lze membrány čistit v napuštěné nádrži (CIP – cleaning in place) nebo vypuštěné nádrži (CIA – cleaning in air). [38]



Obr. 10.15 Možnosti čištění ponorných membránových modulů [50]

Intenzivní chemické čištění

Využívá chemikálie s vysokou koncentrací. Frekvence čištění je jednou až dvakrát ročně. Čištění probíhá většinou v regenerační nádrži. Mezi používané chemikálie patří kyseliny (chlorovodíková, sírová, citrónová, šťavelová aj.), oxidační činidla (peroxid vodíku, chlornany).



Obr. 10.16 Průtok permeátu membránou při konstantním tlaku při/bez použití chemického čištění [49]

I při sebelepším a častějším čištění membrán dochází postupně k nevratnému zhoršení jejich průtočnosti a následně je nutné přistoupit k výměně modulu za nový. Za orientační životnost membrán lze uvažovat 5–10 let. [38]

10.4.7 Konfigurace membrán

Dostupné konfigurace mají rovinnou nebo válcovou geometrii:

- rovinná
 - deskové moduly (FS) nebo plát & rám (P&F),
 - spirálově vinuté (SW),
- válcová
 - (multi) tubulární moduly (MT),
 - kapilární trubice (CT),
 - duté vlákno (HF). [16]

Následující tabulka 10.8 uvádí orientační porovnání jednotlivých membránových modulů.

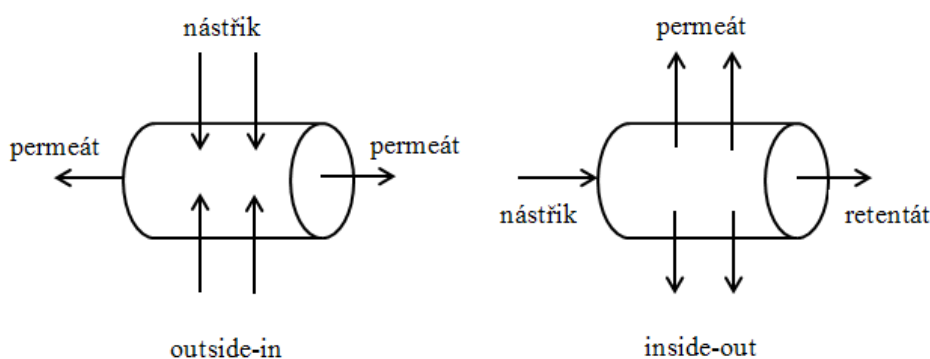
Tab. 10.8 Porovnání membránových modulů [6]

charakteristika	typ modulu				
	spirálově vinutý	z dutých vláken		tubulární	deskový
		cross-flow	dead-end		
plocha na jed. objemu modulu, m ² /m ³	600–1000	3000–10000	1000–2000	70–150	100–600
typické rychlosti nástřiku, m/s	0,3–0,8	0,1–1,5	0,0–0,05	1,0–8,0	0,8–1,6
tlak. ztráta na nástřikové straně, kPa	300–600	10–130	0–10	50–300	100–500
tendence k zanášení	vyšší	vyšší	nízká	nízká	střední
snadnost čištění	špatná-dobrá	špatná	výborná	výborná	dobrá
zpětné promývání membrány	ne	zřídka	ano	ano	ne
relativní náklady na získání jednotky objemu permeátu	nízké	nízké	velmi nízké	vysoké	vysoké

K čištění odpadních vod se nejčastěji používají moduly deskové, tubulární a z dutých vláken.

Typy průtoku u membrán z dutých vláken a tubulárních membrán:

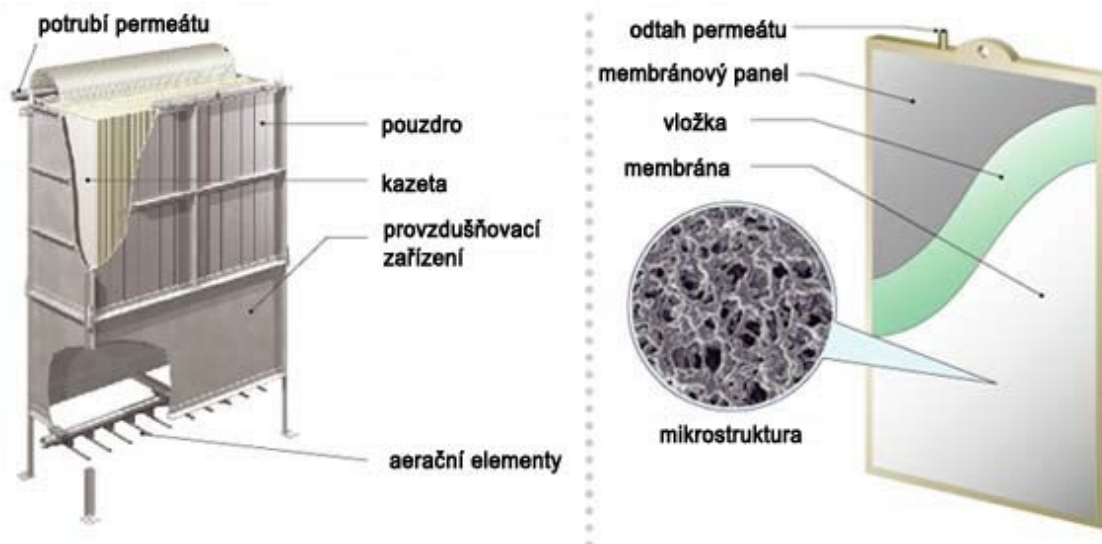
- Outside-in – průtok podtlakově zvenku dovnitř,
- Inside-out – průtok tlakově zevnitř ven. [47]



Obr. 10.17 Typy průtoků membránou outside-in a inside-out [47]

Deskové moduly

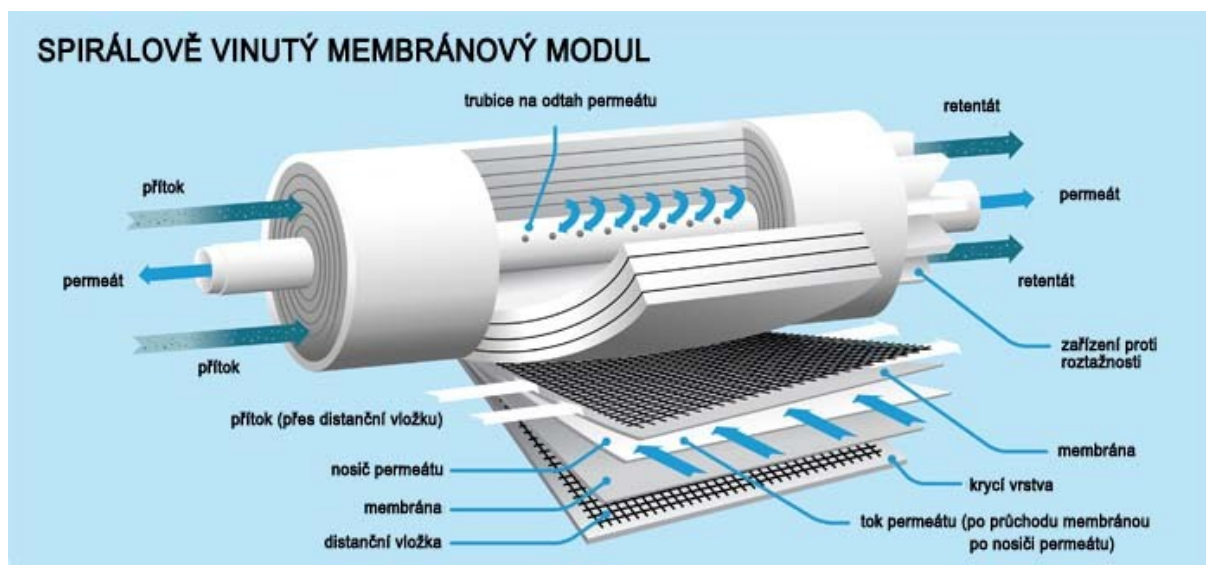
Deskové membránové moduly jsou standardně tvořené soustavou membránových kazet. Membránová kazeta je tvořena z membránového panelu, vložky a samotné membrány (obrázek 10.18). Vložka vyplňuje prostor (1–3 mm) mezi panelem a membránou, kudy odtéká permeát. Permeát je z kazet odváděn trubičkou v horní části panelu. Trubičky ze všech kazet modulu ústí do potrubí na odtažení permeátu, které odvádí vyčištěnou vodu z modulu a z nádrže. Většina deskových modulů neumožňuje zpětný proplach. [38]



Obr. 10.18 Membránový deskový modul firmy Kubota [29]

Spirálově vinuté moduly

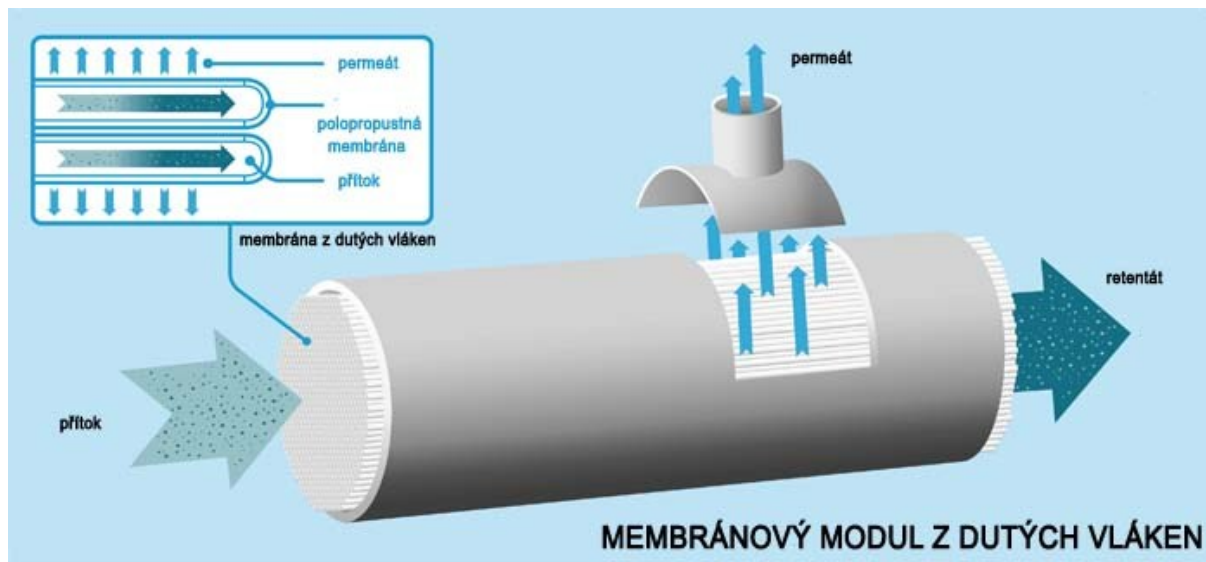
Spirálově vinuté moduly se běžně pro čištění odpadních vod nepoužívají, protože je nelze zpětně proplachovat a mají vyšší tendenci k zanášení. Při jejich použití je vyžadováno kvalitní předčištění. Nejběžněji dostupné moduly se dodávají v délce 1,0 nebo 1,5 m a průměru 0,2 m. [31]



Obr. 10.20 Schéma spirálově vinutého membránového modulu [26]

Moduly z dutých vláken

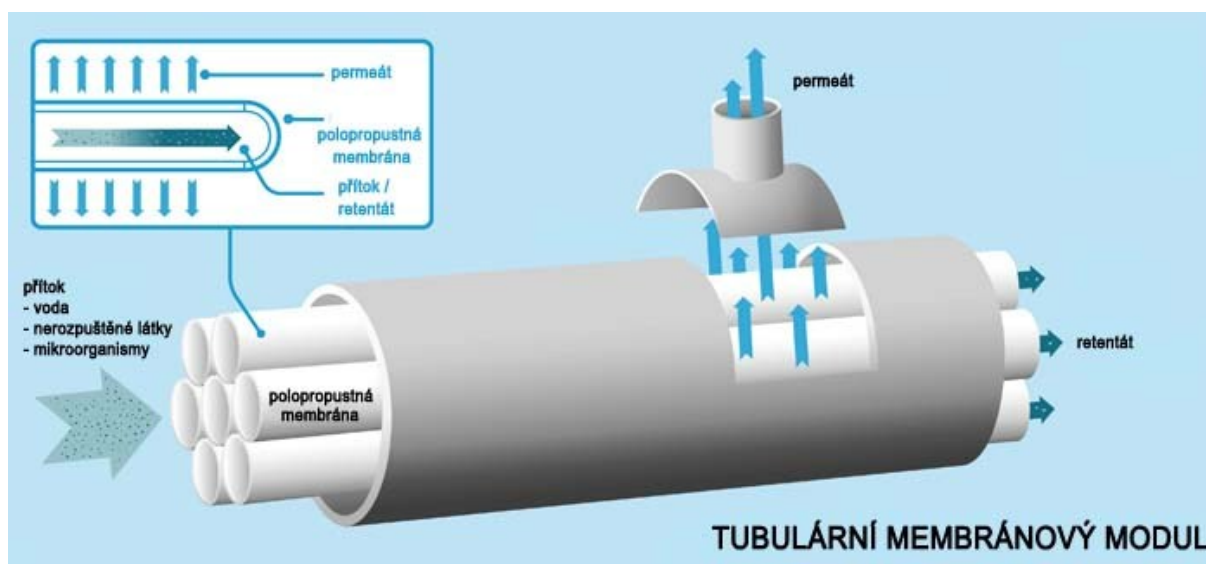
Moduly jsou složeny z množství dutých vláken o průměru stovek mikrometrů až několik milimetrů. U větších průměrů (0,5–5,0 mm) se jedná o kapilární trubice. Vlákná mohou být uchycena jednostranně (volná) nebo oboustranně (napnutá/povolená) v horizontálním nebo vertikálním směru. Moduly z dutých vláken mají největší specifickou plochu a umožňují zpětný proplach. [50]



Obr. 10.21 Schéma membránového modulu s dutými vlákny [26]

Tubulární moduly

Jsou složeny z membrán tvaru trubek o průměru 10–25 mm. Ty jsou umístěny v tlakové troubě o délce 1,0–6,0 m. Obecně mají nízkou tendenci k zanášení, snadno se čistí a lze je zpětně proplachovat. Ze všech konfigurací mají nejmenší specifickou plochu a nejvyšší energetické nároky. Používají se především při čištění průmyslových odpadních vod. [31]



Obr. 10.22 Schéma tubulárního membránového modulu [26]

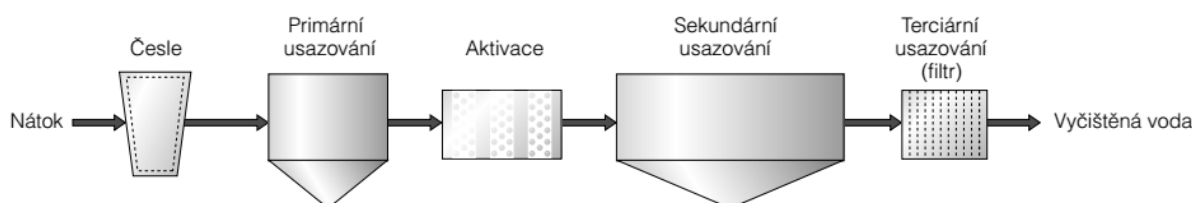
Vybraní výrobci membrán na čištění odpadních vod:

- GE Zenon (USA, Kanada),
- Koch Membrane System (USA, Německo),
- Asahi Kasei (Japonsko),
- Mitsubishi Rayon (Japonsko),
- Kubota (Japonsko),
- Toray (Japonsko),
- Microdyn-Nadyr (Německo),
- Martin Systems AG (Německo),
- Weise Water Systems (Německo),
- Huber (Německo),
- A3 Water Solutions (Německo). [50]

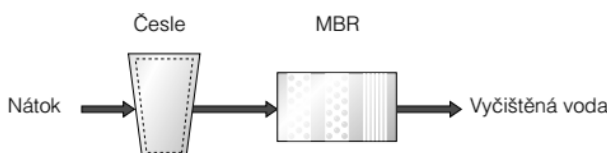
10.4.8 ČOV a membránová technologie

Uspořádání ČOV s membránovým reaktorem (MBR) se od konvenční aktivační ČOV výrazně liší. Rozdíl je patrný z obrázku 10.23.

Typický proces čištění odpadních vod s terciárním stupněm



Typický proces čištění odpadních vod s použitím technologie membránových bioreaktorů



Obr. 10.23 Porovnání klasické a MBR ČOV [40]

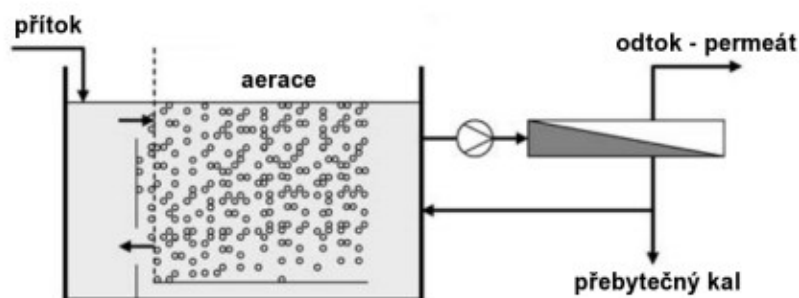
MBR ČOV kombinují aktivační proces s membránovou separací kalu. Pro použití MBR technologie je důležité kvalitní mechanické předčištění v podobě velmi jemných česlí nebo sít s velikostí ok do 1 mm bez možnosti obtoku. Mechanicky předčištěná odpadní voda je provzdušňována a biologicky čistěna aktivací a následně dochází k separaci kalu pomocí mikrofiltračních nebo ultrafiltračních membránových modulů. Takto vyčištěná voda má kvalitu srovnatelnou s užitkovou vodou, případně dokonce vodou ke koupání. [38, 50]

Tab. 10.9 Dosažitelné hodnoty na odtoku z MBR ČOV (porovnání z více zdrojů) [2, 50]

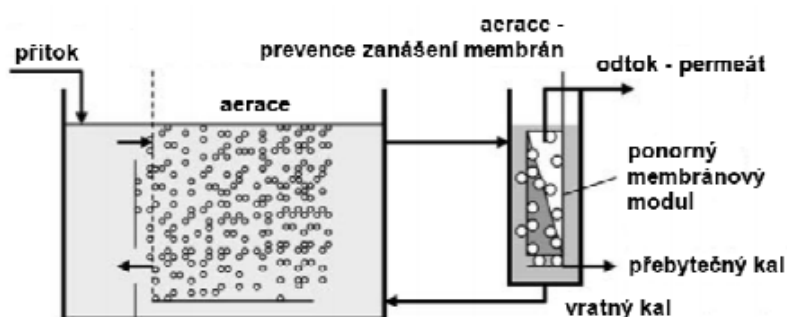
parametr	CHSK		BSK ₅		NL		N-NH ₄ ⁺		N _{celk.}		P _{celk.}	
	p	m	p	m	p	m	prům.	m	prům.	m	prům.	m
[50]	20	30	7	10	0	0	1	2	10	15	0,9	1,0
[2]	20	40	5	10	1	5	5	10	20	35	1,5	3,0

V současnosti se používají dvě konfigurace umístění membránového modulu v technologické lince ČOV. Umístění na boční větví jako oběhový reaktor (obrázek 10.24) nebo ponorná

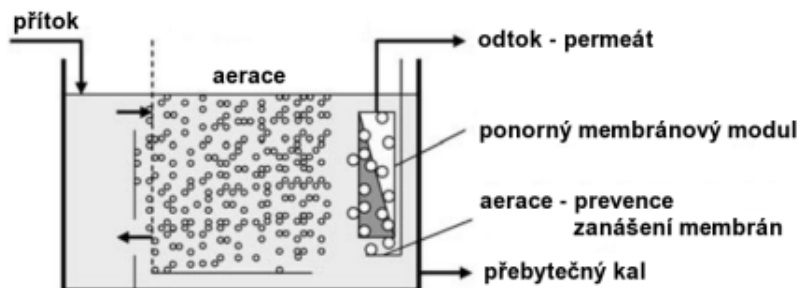
konfigurace (obrázek 10.25). Nejnovější konfigurace je ponorná v externí nádrži. Využívá se zejména při intenzifikacích stávajících ČOV se střední a větší kapacitou, při větším kolísání zatížení nebo průtoku nebo v případě zvýšených požadavků na odstraňování nutrientů.



Obr. 10.24 Schéma umístění membránového modulu na boční větví [31]



Obr. 10.25 Schéma umístění membránového modulu v externí nádrži [31]



Obr. 10.26 Schéma umístění membránového modulu v aktivační nádrži [31]

Následující tabulka 10.10 ukazuje výhody a nevýhody membránové technologie v porovnání s konvenční ČOV.

Tab. 10.10 Výhody a nevýhody membránové technologie [50, 53]

výhody	nevýhody
kvalita vody na odtoku (prakticky žádné NL, bakterie a viry)	potřeba kvalitního mechanického předčištění (bez možnosti obtoku)
účinnost separace není výrazně závislá na vlastnostech aktivovaného kalu.	vyšší provozní náklady (chemikálie, čerpání, aerace)
výrazně menší prostorové nároky v porovnání s konvenční ČOV (30–50%)	vyšší investiční náklady
možnost vyšších koncentrací kalu – menší zatížení a produkce přebytečného kalu	nutnost pravidelného čištění a regenerace
možnost zvýšení kapacity ČOV bez nutnosti zvyšování objemů nádrží	potřeba kvalifikovanější obsluhy a údržby
možnost vyššího stáří kalu	omezená životnost membrán (10 let)

10.5 ADSORBCE

Jev, ke kterému dochází na mezifázovém rozhraní. Ve vodním prostředí se jedná o hromadění některých látek obsažených ve vodě (adsorbátu) na povrchu pevné fáze (adsorbentu). Adsorpce vzniká na základě:

- mezimolekulárních (van der Waalových) sil,
- chemické vazby mezi adsorbentem a adsorbátem (chemisorpce),
- přitažlivosti částic elektrickými silami (iontová sorpce).

Mezi adsorbátem a adsorbovaným množstvím se po určitém čase vytvoří dynamická rovnováha. Tuto rovnováhu vyjadřuje adsorpční izoterma – závislost specifické adsorpce na koncentraci adsorbátu, který zůstane v roztoku po dosažení adsorpční rovnováhy. Specifickou adsorpcí se rozumí adsorbované množství adsorbátu na jednotku hmotnosti adsorbentu. Mezi nejčastěji používané adsorpční izotermy patří Langmuirova a Freundlichova.

Langmuirova adsorpční izoterma:

$$a_s = a_{max} \cdot \frac{b \cdot c_r}{1 + b \cdot c_r} \quad (10.5)$$

- kde a_s ... specifická adsorpce [$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$],
 a_{max} ... maximální adsorpce [$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$],
 b ... konstanta [-],
 c_r ... koncentrace adsorbátu v roztoku [$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$].

Freundlichova adsorpční izoterma:

$$a_s = k \cdot c_r^{1/n} \quad (10.6)$$

- kde a_s ... specifická adsorpce [$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$],
 n ... konstanta [-],
 k ... konstanta [-],
 c_r ... koncentrace adsorbátu v roztoku [$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$]

Která adsorpční izoterma odpovídá konkrétnímu procesu, se zjišťuje empiricky, přičemž shoda je pouze v určitém koncentračním rozsahu.

Rozlišujeme sorbenty polární – obsahují disociovatelné skupiny, které udělují jejich povrchu elektrický náboj; a nepolární – při adsorpci uplatňují velký povrch a van der Waalsovy síly. Na polárních adsorbentech se adsorbují zpravidla látky polární a na nepolárních adsorbentech látky nepolární. [35]

Nejčastěji používaným adsorbentem je aktivní uhlí (práškové nebo granulované). Další používané adsorbenty jsou např.: elektrárenský popílek, škvára, adsorbenty na základě organických polymerů (kopolymery styrenu a divinylbenzenu, estery kyseliny akrylové).

Adsorpce se při čištění odpadních vod používá při odstraňování látek toxických, karcinogenních, mutagenních, těžko biologicky rozložitelných a látek způsobující pachové problémy. Především jde o zbytkové koncentrace organických látek (chlorovaných aromatických uhlovodíků, pesticidů), těžkých kovů, volného chlóru aj. Nevýhodou použití sorbentů je při jejich vyčerpání nutnost regenerace nebo likvidace. U některých druhů sorbentů pak i jejich vysoká cena. [45]

10.6 HYGIENICKÉ ZABEZPEČENÍ ODTOKU

Legislativně není hygienické zabezpečení odtoku z komunálních ČOV běžně vyžadováno. Může být nařízeno v odůvodněných případech, jako jsou: čištění odpadních vod z hygienicky závadných provozů (např.: medicínská a výzkumná zařízení) nebo v případě znovu užití vyčištěné vody k závlahám či vypouštění vyčištěných odpadních vod v blízkosti rekreačních oblastí apod.

Chlorace

Pojmem chlorace se rozumí dávkování plynného chlóru (Cl_2), chlornanu sodného (NaClO) nebo vápenatého ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) do vody. Velikost dávky těchto chemikálií závisí na vlastnostech vody (pH, CHSK, teplota, obsah organických látek...). Pro dosažení účinné dezinfekce je navíc potřeba minimální doba působení chlóru 20 minut. Účinnost chlorace je silně závislá na pH vody. Chlorace je nejrozšířenějším způsobem dezinfekce a používá se téměř ve všech průmyslových odvětvích. (podrobněji také v kapitole 5.2.1) [10, 45]

Oxid chloričitý (chlordioxid, ClO_2)

Je účinnější než chlor a je nezávislý na hodnotě pH, ve vodě hůře rozpustný než chlor. Netvoří jako vedlejší produkty chlorované deriváty. Je velice nestálý a z bezpečnostních důvodů se nepřepravuje. Vyrábí se v místě spotřeby reakcí chloritanu sodného (NaClO_2) s chlorem (Cl_2) nebo kyselinou chlorovodíkovou (HCl). [10, 45]

UV záření

Při tomto druhu dezinfekce je voda krátkodobě vystavena UV záření (záření s vlnovou délkou 200–400 nm). Toto záření ničí mikroorganismy změnou jejich genetické informace porušením řetězce DNA. Účinnost je ovlivněna intenzitou záření a dobou expozice. Výhodou metody je, že nevnáší do vody žádné vedlejší produkty. Naopak nevýhodou jsou vyšší investiční a provozní náklady a pouze lokální účinek dezinfekce. [10, 45]

Ozonizace

Ozón je nejsilnější dezinfekční a oxidační činidlo. Účinnost dezinfekce závisí na době kontaktu a koncentraci ozonu. Hlavní předností ozonu je, že jeho působením nevznikají žádné vedlejší produkty a ozon sám se rozkládá na kyslík. Nevýhodou je pouze lokální účinek (nevytváří reziduum) a poměrně slabá rozpustnost ve vodě. [10, 45]

Termální dezinfekce

Je spolehlivá metoda dezinfekce, bez ohledu na kvalitu vody. Vyžaduje se ohřev na teplotu minimálně 75 °C. Tato metoda je velmi energeticky náročná a při čištění odpadních vod se používá na vody z mikrobiologických laboratoří a některých nemocničních zařízení. [10, 45]

11 PRAKTICKÁ ČÁST – STUDIE ČOV SLOUP

11.1 ÚVOD, ÚČEL STUDIE

Studie řeší alternativní možnost čištění odpadních vod z obcí Sloup a Šošůvka pomocí nově navržené MBR ČOV. Studie vychází ze stavu čištění odpadních vod v obci Sloup a Šošůvka z roku 2002. V současné době je v obci postavena ČOV s terciálním stupněm čištění v podobě chemického odstraňování fosforu lamelovým filtrem a pískovými tlakovými filtry.

11.2 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE STAVBY

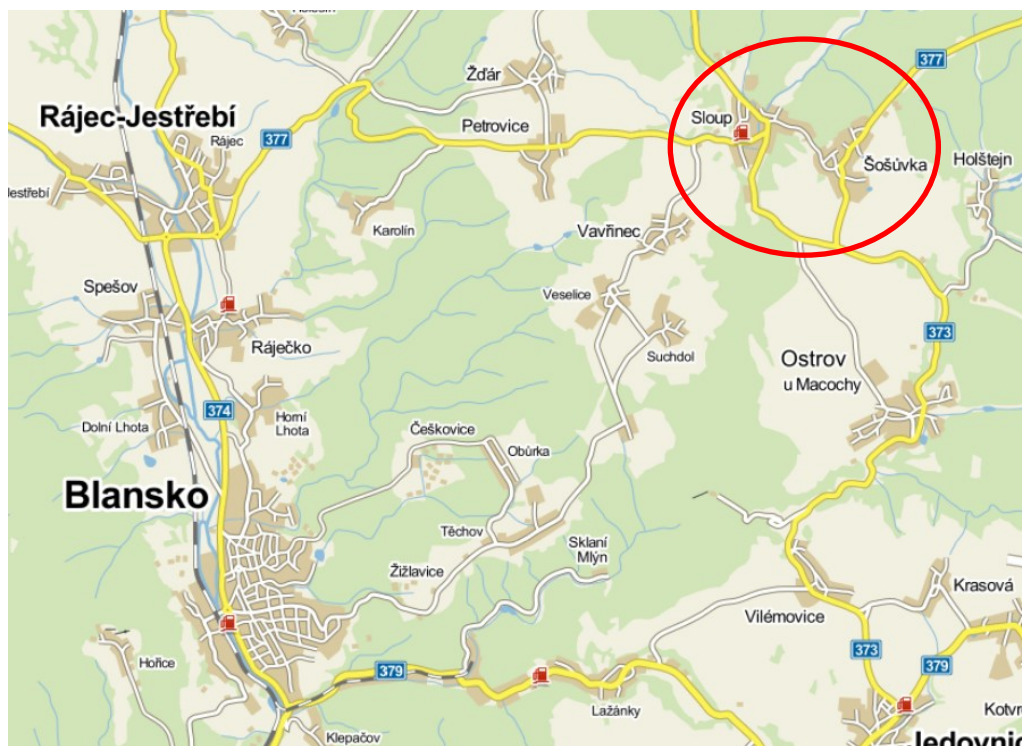
Název stavby:	ČOV Sloup
Stupeň dokumentace:	Studie
Kraj:	Jihomoravský
Místo stavby:	Obec Sloup
Katastrální území:	Sloup v Moravském Krasu
Odvětví:	Vodní hospodářství
Investor:	Svazek obcí Sloup, Šošůvka – kanalizace a ČOV
Zpracovatel:	Bc. Radek Krupica

11.3 PODKLADY

- Projektová dokumentace pro stavební povolení Sloup, Šošůvka – ČOV a kanalizace, zpracovaná firmou AQUA PROCON, s.r.o., [51]
- Polohopisné a výškopisné zaměření areálu ČOV,
- ČSN 75 6401. *Čistírny odpadních vod pro více než 500 ekvivalentních obyvatel*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 37 s. [9]
- HLAVÍNEK, Petr; HLAVÁČEK, Jiří. *Čištění odpadních vod: Praktické příklady výpočtů*. Brno: NOEL 2000, 1996. 196 s. ISBN 80-86020-00-2. [18]
- VACHOVEC, Roman, et al. Využití MBR v lokalitách s vysokými požadavky na jakost vypouštěných odpadních vod. In *Městské vody 2010 : Sborník přednášek konference s mezinárodní účastí*, 2010. s. 143-151. ISBN 978-80-86020-71-6. [60]

11.4 CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Obce Sloup a Šošůvka se nachází v Jihomoravském kraji, okrese Blansko asi 14 km severovýchodně od města Blansko, při severním okraji CHKO Moravský kras. Obcí Sloup protéká Sloupský potok, který je recipientem současné i nově navrhované ČOV. Sloupský potok se několik metrů za výustním objektem ČOV ztrácí do podzemí. Ponor ústí do spodních pater Sloupsko-Šošůvských jeskyní. Následně dochází k soutoku Sloupského potoka s potokem Bílá voda za vzniku podzemní říčky Punkvy. Tato říčka dále teče skrz Amatérskou jeskyni do propasti Macocha a odtud Punkevnými jeskyněmi k vývěru v Pustém žlebu. [51]



Obr. 11.1 Přehledná situace oblasti [37]

11.4.1 Hydrologické poměry

Základní hydrologické údaje o Sloupském potoku

Jméno toku:	Sloupský potok
Hydrologické číslo povodí:	4–15–02–080
Plocha povodí:	53,25 km ²
Průměrná dlouhodobá roční výška srážek:	681 mm
Průměrný dlouhodobý roční průtok (Q _a):	270 l/s

Tab. 11.1 Tabulka M-denních průtoků Sloupského potoka [51]

počet dnů M	30	90	180	270	330	355	364
Q _m [m ³ /s]	0,735	0,280	0,128	0,061	0,023	0,007	0

Tab. 11.2 Tabulka N-letých průtoků Sloupského potoka [51]

počet let N	1	2	5	10	20	50	100
Q _n [m ³ /s]	5,5	8,0	12,0	15,5	19,0	25,0	29,5

Tab. 11.3 Jakost vody v Sloupském potoku [51]

ukazatel	BSK ₅	CHSK _{Cr}	NL	N-NH ₄	N _{anorg}	N _{celk}	P _{celk}
hodnota [mg/l]	1,0	5,0	5,0	0,12	1,0	3,0	0,24

11.5 SOUČASNÝ STAV

Čištění odpadních vod v obci Sloup je v současné době prováděno na nevyhovující mechanicko-biologické ČOV Sloup. Odpadní voda na ČOV přitéká přes odlehčovací komoru (obr. 11.2), která zajišťuje maximální přítok 14,24 l/s. Vyšší přítoky přepadají přes hrubé česle přímo do recipientu. Z odlehčovací komory odpadní voda teče přes ručně stírané česle do lapáku písku (obr. 11.4), který se nevyužívá. Z lapáku je voda čerpána čerpací stanicí na biologickou linku ČOV. Biologická linka je tvořena kovovou kruhovou nádrží (obr. 11.5) rozdělenou vestavěnými přepážkami na tři technologické prostory: aktivační, dosazovací a kalový. Nad nádrží se nachází mostní konstrukce s aeračním zařízením. Pod nádržemi je umístěno pět kalových polí (obr. 11.6) o rozměrech 3 x 5 m. Kal je do nich přiváděn litinovým potrubím se šoupátkem na ovládání výtoku. [51]



Obr. 11.2 Odlehčovací komora na přítoku do ČOV [51]



Obr. 11.3 Objekt mechanického předčištění [51]



Obr. 11.4 Česle, lapák písku [51]



Obr. 11.5 Biologická linka [51]



Obr. 11.6 Kalová pole [51]

Stávající ČOV Sloup sice vyhovuje legislativním limitům, nicméně tento stav je způsoben díky velmi silnému naředění odpadních vod vodami balastními. Koncentrace znečišťujících látek na přítoku jsou velmi nízké (tab. 11.4) a tak neumožňují účinné biologické čištění. V případě napojení obce Šošůvka již stávající ČOV nebude schopna plnit legislativní limity. Nutnou podmínkou pro řešení čištění odpadních vod z obcí je nutnost odstranění přítoku balastních vod do kanalizace. [51]

Tab. 11.4 Koncentrace znečištění na přítoku [51]

ukazatel	BSK ₅	CHSK _{Cr}	NL	N-NH ₄	N _{Anorg}	P _c
max. [mg/l]	56,1	173	142	14,44	28	1,5
min. [mg/l]	14,4	48	6	3,53	8,5	1,5
průměr [mg/l]	28,7	85	40,6	7,83	13,56	1,5

Tab. 11.5 Koncentrace znečištění na odtoku [51]

ukazatel	BSK ₅	CHSK _{Cr}	NL	N-NH ₄	N _{Anorg}	P _c
max. [mg/l]	27,3	61	14	3,41	10,7	1,2
min. [mg/l]	2,5	16	6	0,02	5	1,2
průměr [mg/l]	6,8	28,3	8,9	0,86	8,64	1,2

Tab. 11.6 Příпустné limity na odtoku (dle tehdejší legislativy) [51]

ukazatel	BSK ₅	CHSK _{Cr}	NL	N-NH ₄
p [mg/l]	30	120	30	40
m [mg/l]	70	170	70	40

Stávající mechanické předčištění je realizováno pouze ručně stíranými česlemi a nevyužívaným lapákem písku. Celý objekt mechanického předčištění i jeho technologické vybavení je ve špatném technickém stavu a za hranicí životnosti. Architektonické řešení budovy mechanického předčištění (obr. 11.3) je, vzhledem k jeho umístění cca 200 m od vchodu do Sloupsko-Šošůvských jeskyní, nevydařené.

Biologická linka ČOV je tvořena kruhovou nádrží o objemu cca 200 m², který je nedostatečný pro účinné odstraňování dusíku. Dosazovací nádrž je nevhodně hydraulicky řešena a nedostatečná je i její separační plocha. Kalová pole i při minimální produkci kalů způsobují nepříjemný zápach. Odvodnění kalu na kalových polích je dnes z hlediska legislativy, ale i technicky neudržitelné.

Vzhledem k umístění ČOV v CHKO Moravský kras, kde má čistota vod mimořádný význam, je tento stav silně nevyhovující. [51]

11.6 NOVÝ NAVRHOVANÝ STAV – TECHNICKÉ ŘEŠENÍ

Na novou ČOV Sloup budou svedeny odpadní vody ze zrekonstruované jednotné stokové sítě obce Sloup a ze splaškové stokové sítě obce Šošůvka v celkovém objemu 2100 EO (viz tab. 11.7).

11.6.1 Primární stupeň

Stávající objekt mechanického předčištění bude zcela zrekonstruován a rozšířen. Na přítoku odpadních vod do ČOV bude vybudován lapák štěrku. Do nové rozšířené budovy mechanického předčištění budou instalovány ručně stírané hrubé česle s velikostí průlin 30 mm, dále strojně stírané jemné česle s velikostí průlin 6 mm, rotační síto s velikostí ok 1 mm a integrovaným lisem shrabků. Stávající lapák písku bude přestavěna na splaškovou čerpací stanici. Ve splaškové čerpací stanici budou osazeny kalová čerpadla (2 provozní + 1 rezervní) s celkovou kapacitou $Q_{\text{dešť}} = 10,64$ l/s, které budou čerpat odpadní vody na separátor písku. Odtud odtékají odpadní vody na biologickou linku ČOV. V případě dešťové události bude voda čerpána z dešťové čerpací stanice $Q = 150$ l/s do dešťové zdrže. Po naplnění dešťové zdrže (zachycení nejvíce znečištěných dešťových vod) budou čerpadla v dešťové čerpací stanici vypnuta. Následně veškerý přítok přesahující kapacitu splaškové čerpací stanice bude přepadat do recipientu. Tento přepad slouží zároveň jako bezpečnostní obtok ČOV.

11.6.2 Sekundární stupeň

Mechanicky předčištěná odpadní voda poteče do rozdělovacího objektu, který umožňuje regulaci nátoků na jednotlivé biologické linky. Stávající biologická linka bude zcela zrušena a zbourána. Nově vybudovaná biologická linka bude tvořena dvěma nízkozatěžovanými obdélníkovými aktivačními nádržemi s biologickým odstraňováním dusíku a simultánním srážením fosforu pomocí síranu železitého. Aktivační nádrže jsou navrženy jako tzv. D-N systém, tedy denitrifikační stupeň následovaný nitrifikačním. Denitrifikační část (40 % objemu) aktivačních nádrží bude promíchávána ponornými míchadly, nitrifikační část (60 % objemu) bude provzdušňována jemnobublinnou aerací.

Voda z aktivačních nádrží bude natékat do rozdělovacího objektu, který bude umožňovat regulaci nátoků k membránovým nádržím. Ve dvou membránových nádržích budou umístěny membránové moduly. Membránové moduly zajišťují filtraci biologicky vyčištěné odpadní vody, separaci aktivovaného kalu od biologicky vyčištěné odpadní vody. Voda přefiltrovaná membránovými moduly (permeát) je čerpána do nádrže užitkové vody, odkud dále odtéká přes měrný objekt do recipientu. Kal z membránových nádrží je částečně odčerpáván do uskladňovacích nádrží kalu a částečně vracen interním recyklem před aktivační nádrže. Součástí membránové technologie je také nádrž na regeneraci membrán. Po regeneraci odtéká chemický roztok do neutralizační nádrže, kde je zneutralizován a postupně přečerpáván na splaškovou čerpací stanici.

11.6.3 Kalové hospodářství

Přebytečný kal je ze systému odčerpáván kalovým čerpadlem. Kal je čerpán do uskladňovacích nádrží, kde dochází pomocí provzdušňování k jeho stabilizaci. Dále zde dochází ke gravitačnímu zahušťování, odsazená kalová voda je odváděna před biologickou linku ČOV. Odvodnění kalu je navrženo pomocí dekantační odstředivky. Pro dosažení vyšší koncentrace sušiny odvodněného kalu je dávkován z automatické dávkovací stanice roztok flokulantu. Zahuštěný kal je následně dopravován do kontejneru.

11.7 TECHNICKÁ DATA

11.7.1 Demografické poměry, návrh počtu EO

Tab. 11.7 Návrh počtu EO

obec Sloup		počet EO
počet obyvatel	910	910
dojíždějící zaměstnanci	50-60	20
dojíždějící studenti	270	90
občanská vybavenost		300
obec Šošůvka		
počet obyvatel	760	760
občanská vybavenost		15
celkem EO		2095
celkem návrh ČOV		2100

Občanská vybavenost v obci Sloup zahrnuje: OÚ, MŠ, ZŠ, kulturní dům, zdravotní středisko, hasičskou zbrojnicu, poštu, 2 hotely, 2 hostince, autokempink, koupaliště s letní restaurací a rekreační středisko.

Občanská vybavenost v obci Šošůvka zahrnuje restauraci s cca 45 místy.

11.7.2 Průtoky na ČOV

Tab. 11.8 Průtoky na ČOV

průtok	označení	hodnota	jednotka	hodnota	jednotka
průměrný bezdeštný denní přítok	Q_{24}	277,20	m^3/d	3,21	l/s
maximální bezdeštný denní přítok	Q_d	378,00	m^3/d	4,38	l/s
maximální bezdeštný hodinový přítok	Q_h	31,92	m^3/h	8,87	l/s
maximální přítok za deště na biologii	$Q_{dešť}$	38,30	m^3/h	10,64	l/s
maximální přítok do dešťové zdrže	$Q_{zdrž}$	-	-	150	l/s

11.7.3 Koncentrace znečištění na vstupu do ČOV

Tab. 11.9 Koncentrace znečištění na vstupu do ČOV

parametr	označení	hodnota	jednotka	hodnota	jednotka
biochemická spotřeba kyslíku	BSK_5	126,00	kg/d	454,55	mg/l
chemická spotřeba kyslíku	$CHSK_{Cr}$	252,00	kg/d	909,09	mg/l
nerozpuštěné látky	NL	115,50	kg/d	416,67	mg/l
celkový dusík	$N_{celk.}$	23,10	kg/d	83,33	mg/l
celkový fosfor	$P_{celk.}$	5,25	kg/d	18,94	mg/l

11.7.4 Výstupní parametry

Tab. 11.10 Legislativně vyžadované výstupní koncentrace pro ČOV 2001-1000 EO [44]

parametr	BSK ₅		CHSK _{Cr}		NL		N-NH ₄ ⁺		N _{celk.}		P _{celk.}	
	p	m	p	m	p	m	prům.	m	prům.	m	prům.	m
standard	25	50	120	170	30	60	15	30	-	-	3	8
BAT	18	25	70	120	20	30	8	15	-	-	2	5

11.7.5 Posouzení recipientu – směšovací rovnice

V případě nařízení nejpřísnějších limitů, bude situace v toku z hlediska koncentrací sledovaných parametrů vypadat následovně (tab. 11.11):

Tab. 11.11 Výsledky směšovacích rovnic pro BAT

průtoky\ parametr [mg/l]	BSK ₅	CHSK _{Cr}	NL	N-NH ₄ ⁺	P _{celk.}
Q _h , Q ₃₅₅	10,50	41,32	13,38	4,52	1,22
Q ₂₄ , Q _a	1,20	5,76	5,18	0,21	0,26

Na ČOV bude použita nejlepší dostupná technologie čištění komunálních odpadních vod, při standartním odtoku z ČOV hodnoty splňují NV 61/2003 mimo hodnoty celkového fosforu, který se této hodnotě blíží.

Reálně by mělo být dosaženo ještě lepších výsledků (tab. 11.12), použití MBR zajišťuje nižší odtokové parametry (tab. 10.9), než požaduje nejpřísnější legislativa (tab. 11.10 2. řádek).

Tab. 11.12 Výsledky směšovací rovnice pro předpokládané parametry odtoku (tab. 10.9 2. řádek)

průtoky\ parametr [mg/l]	BSK ₅	CHSK _{Cr}	NL	N-NH ₄ ⁺	P _{celk.}
Q _h , Q ₃₅₅	3,24	13,38	2,76	2,85	0,94
Q ₂₄ , Q _a	1,05	5,18	4,95	0,18	0,25

11.8 POPIS OBJEKTŮ

11.8.1 Provozní budova

Provozní budova je navržena jako jednopodlažní dům se sedlovou střechou. Je situována u vjezdu do ČOV s výhledem z velína na celý areál. Budova je členěna na 6 místností: WC, koupelnu, kuchyň, velín, technickou místnost a dílnu. Všechny místnosti jsou přístupné ze společné chodby. Dispoziční řešení je patrné z výkresů provozní budovy (příloha 8, 9). Parkování pro vozidla pracovníků provozu a údržby je navrženo uprostřed areálu vedle budovy mechanického předčištění.

11.8.2 Lapák štěrku

Na přítoku odpadních vod na ČOV je z důvodu jednotné stokové sítě navržen lapák štěrku pro zachycení velmi hrubých nečistot. V podstatě se jedná o prohloubení přírodního kanálu, aby došlo ke zmenšení rychlosti průtoku vody a usazení hrubých nečistot jako je štěrk a hrubý písek. Součástí objektu je také sloup s výložníkem, na kterém je upevněn elektrický kladkostroj s hydraulicky ovládaným drapákem. To to zařízení slouží k vytěžení usazeného štěrku a jeho naložení do přistaveného kontejneru.

11.8.3 Budova mechanického předčištění

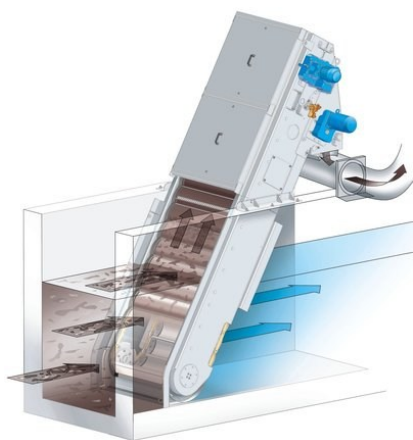
Stávající objekt mechanického předčištění bude zcela zrekonstruován a rozšířen. Stávající stavební konstrukce bude v maximální možné míře využita. Umístění nové technologie mechanického předčištění vyžaduje zvětšení objektu. Budova bude „prodloužena“ o 4,9 m z původních půdorysných rozměrů 16,4 x 5,0 m na 21,3 x 5,0 m. Stávající plochá střecha bude nahrazena sedlovou. Dispoziční řešení je patrné z výkresů budovy mechanického předčištění (příloha 4, 5, 6).

Česle

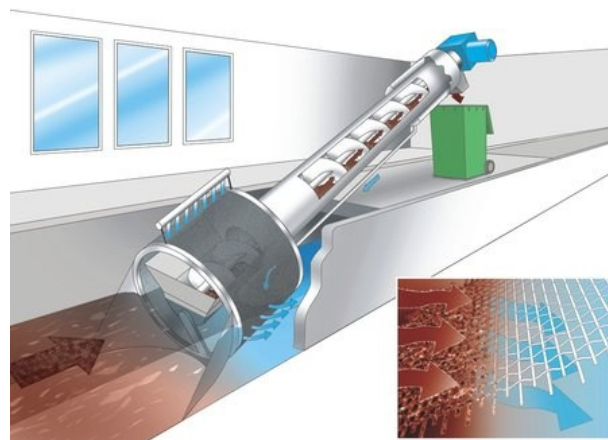
V budově mechanického předčištění v přítokovém kanálu šířky 0,6 m jsou navrženy hrubé ručně stírané česle s velikostí průřin 30 mm pod úhlem 60°, následně jemné strojně stírané česle s velikostí průřin 6 mm pod úhlem 70°. Shrabky ze strojních česlí budou pomocí šnekového dopravníku přemístěny do šnekového dopravníku rotačního síta (tento dopravník bude mít adekvátně navýšenou kapacitu), který je dopraví do prvního nadzemního podlaží do kontejneru.

Rotační síto

Za jemnými česlemi je navrženo rozšíření přítokového kanálu a umístění rotačního síta s velikostí ok 1 mm, pod úhlem 35°. Odtah shrabků ze síta zajišťuje šnekový dopravník s integrovaným lisem a proplachem. Jím jsou shrabky dopraveny do prvního nadzemního podlaží do kontejneru, odkud jsou následně odváženy.



Obr. 11.7 Jemné strojní česle (schéma) [22]



Obr. 11.8 Rotační síto (schéma) [22]

Splašková čerpací stanice

Po průtoku odpadní vody rotačním sítem natéká voda do splaškové čerpací stanice o objemu 5,22 m³, hloubce 1,80 m a půdorysnými rozměry 1,45 x 2,00 m. Tato čerpací stanice je navržena v místě původního lapáku písku. V ČS budou umístěna ponorná kalová čerpadla (2 provozní + 1 rezervní) s maximálním čerpaným množstvím $Q_{dešť} = 10,64$ l/s a geodetickou dopravní výškou 7,7 m, která čerpají odpadní vodu na separátor písku umístěný v prvním nadzemním podlaží. V případě vyššího přítoku odpadních vod, tato voda gravitačně odtéká do dešťové čerpací stanice.

Dešťová čerpací stanice

Stávající čerpací stanice o objemu 7,43 m³, hloubce 1,44 m a půdorysnými rozměry 2,40 x 2,15 m bude přestavěna na dešťovou čerpací stanicí vstrojenou dvěma ponornými kalovými čerpadly s celkovým maximálním průtokem $Q = 150$ l/s a geodetickou dopravní výškou 4,1 m. Tyto čerpadla čerpají vodu do dešťové zdrže při dešťové události. Po naplnění dešťové zdrže jsou čerpadla vypnuta a veškerý další přítok nad kapacitu biologické linky (částečně mechanicky předčištěná voda) je odváděn bezpečnostním obtokem ČOV přes měrný objekt do recipientu.

Separátor písku

Slouží k separaci a odvodnění písku z přitékající odpadní vody. Navržen pro maximální průtok $Q = 11,00$ l/s. Separovaný písek je pomocí šnekového dopravníku dopraven do přistaveného kontejneru. Mechanicky předčištěná odpadní voda odtéká ze separátoru gravitačně na rozdělovací objekt před aktivační nádrže.



Obr. 11.9 Separátor písku (schéma) [22]

11.8.4 Dešťová zdrž

Slouží pro zachycení nejvíce znečištěných dešťových vod. Je navržena jako podzemní železobetonová obdélníková neprůtočná nádrž o objemu 180 m³, s hloubkou 3,60 m a půdorysnými rozměry 6,00 x 8,15 m; s maximálním přítokem z dešťové čerpací stanice 150 l/s. Rozměry nádrže jsou přizpůsobeny pro vyplachovací klapku AS-KIPPE od společnosti ASIO, spol. s r.o. Dispoziční řešení je patrné z výkresu dešťové zdrže (příloha 7). Po naplnění dešťové zdrže je dešťová čerpací stanice vypnuta a veškerý přítok nad kapacitu biologické linky je odváděn bezpečnostním obtokem přes měrný objekt do recipientu. Po následném snížení přítoku na mechanické předčištění bude obsah dešťové zdrže postupně kalovým čerpadlem s maximálním průtokem 6 l/s a geodetickou dopravní výškou 3,85 m přečerpáván do splaškové čerpací stanice. Po vyprázdnění zdrže bude dle potřeby provedeno její vypláchnutí pomocí vyplachovací klapky. Klapka je plněna užitkovou vodou čerpanou z nádrže užitkové vody (permeátu). Proti přeplnění je zdrž chráněna bezpečnostním přepadem zaústěným do bezpečnostního obtoku ČOV.

11.8.5 Aktivační nádrže

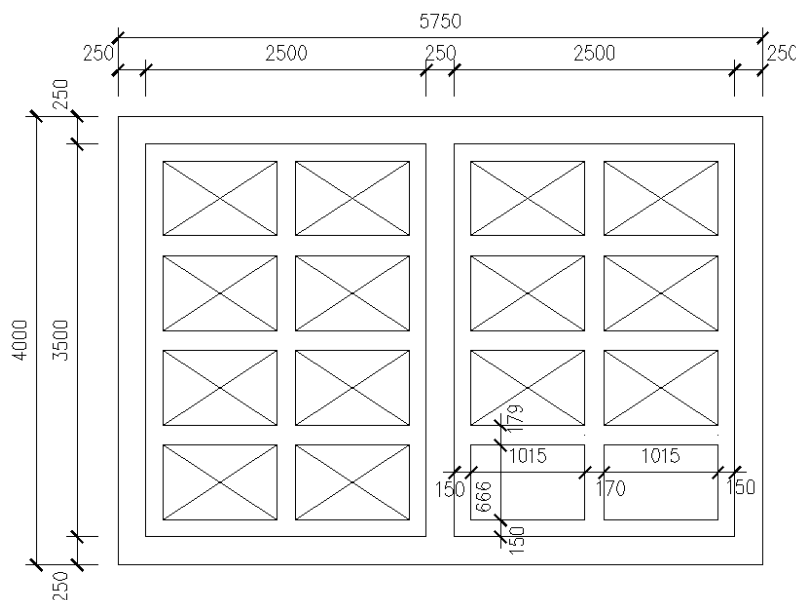
V aktivačních nádržích probíhá biologické čištění mechanicky předčištěných odpadních vod. Navrženy jsou dvě otevřené železobetonové nádrže, každá o objemu 162 m^3 . Nádrže jsou rozděleny na denitrifikační a nitrifikační část v poměru 40:60. Dispoziční řešení je patrné z výkresu aktivační nádrže (příloha 10). V důsledku využití membránové technologie je uvažováno s koncentrací kalu v aktivační nádrži 10 kg/m^3 . V denitrifikační části bude umístěno míchadlo schopné důkladně promíchat celý její objem $56,7 \text{ m}^3$. Nitrifikační část bude provzdušňována jemnobublinnou aerací. Pro zvýšené odstraňování fosforu je navrženo dávkování síranu železitého do nitrifikační nádrže. Biologicky vyčištěná odpadní voda odtéká přes rozdělovací objekt do membránových nádrží.

11.8.6 Budova membránových nádrží

Budova membránových nádrží má složený obdélníkový půdorys se sedlovou střechou tak, aby spolu s dalšími objekty (budovou mechanického předčištění, provozní budovou a budovou kalového hospodářství) tvořili vzhledově jednotný celek. V budově membránových nádrží jsou umístěny membránové nádrže, regenerační nádrže, dmychadla pro membrány a aktivační nádrže, nádrže na chemikálie pro chemické hospodářství regenerace membrán, čerpadla vratného a přebytečného kalu a čerpadla permeátu. Dispoziční řešení je patrné z výkresů budovy membránových nádrží (příloha 11, 12, 13).

Membránové nádrže

Přitéká sem biologicky vyčištěná odpadní voda z aktivačních nádrží. Membránové nádrže jsou navrženy jako dvě železobetonové obdélníkové otevřené nádrže, každá o objemu $18,4 \text{ m}^3$. Nádrže slouží pro umístění membránových modulů. Uspořádání membránových modulů je znázorněno na obr 11.10. Z nádrží je odčerpáván přebytečný kal do uskladňovacích nádrží kalu a vratný kal do rozdělovacího objektu před aktivační nádrže.



Obr. 11.10 Schéma uspořádání membránových modulů

Membrány

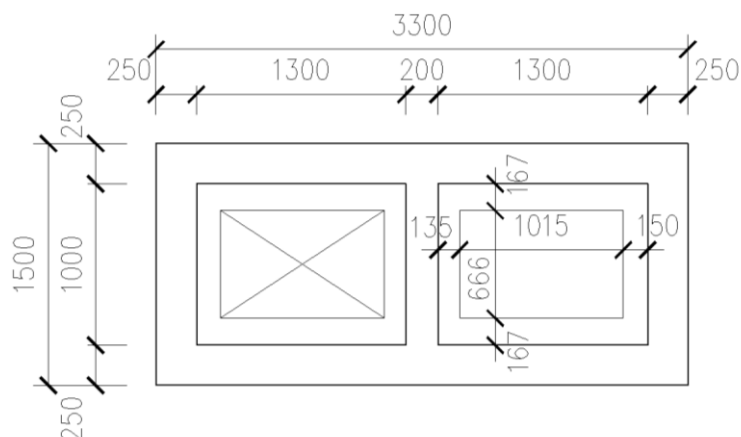
Uvažovány jsou deskové ultrafiltrační moduly siClaro, typ F 663 v počtu 16 kusů s celkovou filtrační plochou 1800 m² a návrhovým fluxem 10 l/h.m. Rozměr jednoho modulu 1015 x 666 x 1880 mm. V případě regenerace dvou membránových modulů a dešťové události je nutné zvýšit výkon čerpadel permeátu a tím i průtoku přes membrány na $f_{\max} = 24,2$ l/h.m. Krátkodobě je toto zvýšení možné, zkracuje se tím však doba intervalu čištění membrán. Zvýšený průtok lze také zčásti akumulovat v aktivačních nádržích (15 m³).



Obr. 11.11 Schéma membránového modulu siClaro [50]

Nádrže na regeneraci membrán

Jsou navrženy jako dvě železobetonové obdélníkové otevřené nádrže, každá o objemu 2,73 m³. Nádrže slouží pro regeneraci membránových modulů. Do nádrží jsou přiváděny chemikálie potřebné k regeneraci membrán ze zásobních nádrží chemikálií z místnosti chemického hospodářství. Po ukončení regenerace jsou nádrže vyčerpány do neutralizační nádrže o objemu 6 m³, kde v případě potřeby, je voda zneutralizována tak, aby mohla být postupně přečerpávána do splaškové čerpací stanice.



Obr. 11.12 Schéma regeneračních nádrží

Postup regenerace membrán SiClaro:

1. manuální očištění čistou vodou a umístění do regenerační nádrže, zapojení čerpadla na filtrát a vzduch,
2. kyselé čištění kyselinou citronovou nebo chlorovodíkovou, 2-4 hodiny,
3. proplachování čistou vodou cca 30 minut,
4. oxidační čištění pomocí chlornanu sodného, příp. hydroxidu sodného cca 4 hodiny,
5. proplachování čistou vodou cca 30 minut.

Nádrže na chemikálie

V místnosti chemickém hospodářství v budově membránových nádrží jsou navrženy 4 nádrže na chemikálie pro chlornan sodný, hydroxid sodný, kyselinu chlorovodíkovou a kyselinu citrónovou, každá o objemu 3 m³. Z těchto nádrží jsou chemikálie dávkovány dle potřeby na regeneraci membrán.

Dmychadla

V dmyhárně v budově membránových nádrží je navrženo celkem 5 dmychadel. Dmychadla (2+1) pro provzdušnění aktivačních nádrží s celkovým průtokem vzduchu $Q = 1300 \text{ m}^3/\text{h}$ a přetlakem $\Delta p = 55 \text{ Kpa}$. Dmychadla (1+1) pro provzdušnění membránových modulů s celkovým průtokem vzduchu $Q = 900 \text{ m}^3/\text{h}$ a přetlakem $\Delta p = 30 \text{ Kpa}$. Dmychadla se v provozu střídají po určitých časových intervalech.

Čerpadla kalu

V hale vedle membránových nádrží jsou navržena čerpadla vratného kalu (1+1) s průtokem $Q = 25,2 \text{ m}^3/\text{h}$ a dopravou kalu do výšky 2,8 m. Dále čerpadlo přebytečného kalu s průtokem $Q = 9,0 \text{ m}^3/\text{h}$ a dopravou kalu do výšky 4,05 m.

11.8.7 Kalové hospodářství

Budova kalového hospodářství se skládá z dvou uskladňovacích nádrží kalu, strojovny čerpadel a dmychadel a haly odvodnění kalu s dekantační odstředivkou. Budova má nepravidelný půdorys, část se sedlovou střechou, část s pultovou střechou a část tvoří uzavřené uskladňovací nádrže kalu. Dispoziční řešení je patrné z výkresů kalového hospodářství (příloha 14, 15, 16).

Uskladňovací nádrže kalu

Jsou tvořeny dvěma železobetonovými zastropenými nádržemi s celkovým objemem 116,2 m³. Půdorysné rozměry jedné nádrže jsou 4,4 x 4,4 m s maximální výškou plnění 3,0 m. Návrhová doba zdržení je 35 dnů. Nádrže budou provzdušňovány středobublinnou aerací tak, aby byla zabezpečena minimální intenzita aerace 1 m³/m³.h při maximálním plnění nádrže, což bude zajišťovat stabilizaci kalu. Dále bude do nádrží instalováno zařízení pro pružné stahování odsazené kalové vody, která bude gravitačně odváděna do jímky, ze které bude čerpána do rozdělovacího objektu před aktivační nádrže.

Dmychadla

Pro uskladňovací nádrže kalu jsou ve strojovně budovy kalového hospodářství navržena dvě dmychadla (1+1) s celkovým průtokem vzduchu $Q = 130 \text{ m}^3/\text{h}$ a přetlakem $\Delta p = 33 \text{ Kpa}$. Dmychadla se v provozu střídají po určitých časových intervalech.

Čerpadlo kalu

Ve strojovně budovy kalového hospodářství je navrženo kalové čerpadlo s průtokem do $3 \text{ m}^3/\text{h}$ a dopravou kalu do výšky 3,5 m pro čerpání kalu z uskladňovacích nádrží na odvodnění na dekantační odstředivku.

Odvodnění kalu

K odvodnění kalu je navržena dekantační odstředivka s hltností do $3 \text{ m}^3/\text{h}$, která bude umístěna v budově kalového hospodářství. Pro dosažení lepšího odvodnění kalu je před dekantační odstředivku dávkován flokulant. Dávkování je zajištěnou automatickou dávkovací stanicí. Zahuštěný odvodněný kal padá do kontejneru umístěného pod dekantační odstředivkou. Kalová voda je svedena do jímky, odkud je čerpána před rozdělovací objekt aktivizačních nádrží.

11.8.8 Měrné objekty

Měrný objekt je navržen jako monolitická železobetonová šachta rozdělená podélně na dvě části. V první části je umístěn Parshallův žlab typu PZ 2 s maximálním měřeným průtočným množstvím $Q_{\max} = 13,3 \text{ l/s}$, pro měření vyčištěných odpadních vod. V druhé části je umístěn Parshallův žlab typu PZ 6 s maximálním měřeným průtočným množstvím $Q_{\max} = 570 \text{ l/s}$, pro měření na bezpečnostním obtoku ČOV. Součástí objektu je také odběrák vzorků.

11.9 ZHODNOCENÍ STUDIE

Navržená membránová ČOV bude schopna plnit nejpřísnější limity požadované českou legislativou. Dokonce by měla dosahovat výrazně lepších hodnot. (tab. 11.12). Což s přihlédnutím k poloze čistírny v CHKO a vypouštění vyčištěných vod do vod krasových je velmi pozitivní. Na druhou stranu legislativně nelze požadovat přísnější limity pro vypouštění vyčištěných odpadních vod, než uvádí tab. 3.3.

V porovnání s klasickou ČOV s terciálním stupněm čištění dle dokumentace AQP byla navrženou MBR ČOV zastavěna cca o 35 % menší plocha, což potvrzuje teoretická čísla z třetího řádku tabulky 10.10, nicméně toto srovnání je velmi orientační neboť nebyly použity zcela shodné vstupní parametry (konkrétně specifická produkce OV dle AQP – 150 l/os.den , dle této studie 120 l/os.den).

Investor by měl zvážit, zda se mu vyplatí investovat do membránové technologie v tomto konkrétním případě, kdy se nepotýká s výrazným nedostatkem prostoru pro objekty ČOV. Další otázkou je, zda je efektivní navrhovat membránovou ČOV na jednotnou kanalizaci a čistit dešťové vody tímto provozně dražším způsobem, pakliže vyčištěná voda nebude mít další využití jako např. zavlažování, užitková voda, voda ke koupání atd. V případě nevyužití takto vyčištěné vody a její pouhé vypouštění, i když jde o vypouštění do krasových vod, to považují za neefektivní, nicméně z hlediska ochrany přírody za pozitivní.

Nutno také poznamenat že v ČR zatím neexistuje technická norma upravující nebo doporučující výpočet potřebné plochy membrán a obecně používání membránové technologie na ČOV.

12 ZÁVĚR

Cílem mé diplomové práce „Návrh čistírny odpadních vod v lokalitě s extrémními požadavky na jakost vyčištěných vod“ bylo:

- zpracovat přehled postupů a technologií čištění odpadních vod, které zajišťují vysokou kvalitu vyčištěné vody, zejména s ohledem na snižování nutrientů.
- vypracovat projekt čistírny odpadních vod, v chráněné krajinné oblasti Moravský kras pro obce Sloup a Šošůvka.

Teoretická část práce se v úvodu zabývá zvláště chráněnými územími ČR (Národní parky, Chráněné krajinné oblasti atd.), kde by měla být prioritou maximální ochrana životního prostředí a kladen zvýšený důraz na jakost vypouštěných odpadních vod. Následně jsou popsány legislativní požadavky ČR na jakost vypouštěných odpadních vod, vysvětleny pojmy citlivá oblast a nejlepší dostupná technologie. Dále jsou charakterizovány nutrienty – dusík a fosfor, jejich přeměny a vliv na životní prostředí. Následuje popis biologických a fyzikálně-chemických principů a procesů odstraňování dusíku a fosforu z odpadních vod. V další části práce jsou technologické procesy odstraňování nutrientů rozděleny do tabulek dle dosahovaných hodnot koncentrací dusíku a fosforu na odtoku. Vybrané procesy pro odstraňování dusíku jsou popsány podrobněji. Závěrečná kapitola podrobně rozebírá jednotlivé možnosti terciálního stupně čištění odpadních vod. Představena je filtrace pískovými filtry, vícevrstevnými filtry a zemními filtry. Jedna z podkapitol obsahuje stručný popis biologických nádrží. Následně jsou popsány speciální patentované technologie využívající nejrůznější procesy z oblasti čištění odpadních vod. Značná část poslední kapitoly je věnována membránovým technologiím. Zmíněná část práce obsahuje popis membránových procesů, jejich charakteristiku, přehled materiálů, ze kterých se membrány vyrábí, dále problematiku zanášení a čištění membrán, výčet dostupných membránových konfigurací a jejich porovnání. Na konci je uvedeno stručné porovnání klasické čistírenské technologie s membránovou technologií. Poslední dvě podkapitoly teoretické části shrnují možnosti adsorpce a možnosti hygienického zabezpečení odtoku při čištění odpadních vod. Celá práce je zaměřena na přehled možností odstraňování nutrientů z odpadních vod. Důraz je kladen na možnosti terciálního čištění odpadních vod včetně podrobnějšího popisu membránové technologie.

V praktické části práce byla vypracována studie čistírny odpadních vod využívající membránovou technologii. Největší rozdíly v porovnání s návrhem klasické ČOV:

- nutnost navrhout důkladnější mechanické předčištění,
- navržené objemy aktivačních nádrží jsou menší (díky možné vyšší koncentraci kalu),
- vyšší koncentrace kalu snižuje účinnost přestupu kyslíku
- není třeba navrhovat dosazovací nádrže,
- navrhnout externí nádrž membránových modulů, v případě jejich umístění mimo AN,
- navrhnout regenerační nádrž membrán + příslušné chemické hospodářství; nebo zajistit možnost regeneraci membrán mimo areál ČOV (odvozem na regeneraci),
- nátok a odtok nejsou gravitačně propojeny, membránová technologie vyžaduje konstantní průtok čerpáním s ohledem na zanášení pórů membrán.

Navržená čistírna odpadních vod se nachází v chráněné krajinné oblasti Moravský kras v obci Sloup. Čistírna je navržena na čištění odpadních vod z obcí Sloup a Šošůvka o celkové kapacitě 2100 EO. Recipientem navrhované ČOV je Sloupský potok, který po soutoku s potokem Bílá voda tvoří podzemní říčku Punkvu, která je spolu s krasovými jeskyněmi v jejím okolí, navštěvována desítkami tisíc turistů ročně.

13 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Asahi Kasei Chemicals* [online]. - [cit. 2012-04-11]. Membrane Materials. Dostupné z WWW: <http://www.asahi-kasei.co.jp/membrane/microza/en/kiso/kiso_5.html>.
- [2] Asio spol. s r.o. – čištění a úprava vod. AS-VARIOcomp D (400–5000EO) [online]. [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/as-variocomp-d-400-5000-eo>
- [3] Biostyr - řešení problému denitrifikace. HORECKÝ, Petr. [online]. 2009 [cit. 2012-11-06]. Dostupné z: <http://www.memsep.cz/cz/medias/clanky/biostyr.htm>
- [4] Blue Water Technologies, Inc. [online]. [cit. 2012-11-06]. Dostupné z: <http://www.blueh2o.net/products/tertiary.html>
- [5] BOUZKOVÁ, Darina, Karel BOUZEK a Miroslav BLEHA. *Česká membránová platforma o. s.: strategická výzkumná agenda*. Červenec 2011, 57 s. Dostupné z: http://www.czemp.cz/sites/default/files/czemp_sva.pdf
- [6] CAKL, Jiří. *Membránové moduly a zařízení* [online]. Univerzita Pardubice, Ústav environmentální chemie. 2012, 13 s. [cit. 2012-11-06]. Dostupné z: <http://www.czemp.cz/sites/default/files/clanek/215/prilohy/prezentace-seminartmpardubicecakl.pdf>
- [7] Český statistický úřad: Veřejná databáze. [online]. [cit. 2012-11-26]. Dostupné z: http://vdb.czso.cz/vdbvo/tabparam.jsp?voa=tabulka&cislotab=ZPR5032PU_OK&&kapitola_id=10
- [8] ČSN 75 6101. *Stokové sítě a kanalizační přípojky*. Praha: Český normalizační institut, 2004. 46 s.
- [9] ČSN 75 6401. *Čistírny odpadních vod pro více než 500 ekvivalentních obyvatel*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 37 s.
- [10] Dezinfekce vody. PROMINENT. [online]. 2012 [cit. 2012-11-29]. Dostupné z: <http://www.prominent.cz/tabid6163/tabid6278/Dezinfekce-vody.aspx>
- [11] DOLEŽAL, Ondřej. *Základní biogenní prvky dusík a fosfor: Výskyt ve vodním prostředí, jejich dopad na jakost povrchové vody, možnosti odstraňování z komunálních vod*. In: JUNIORSTAV 2011, 3. Vodní hospodářství a vodní stavby [online]. Brno: FAST VUT, 2011, 46 s. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2011/pdf/3/Dolezal_Ondrej_1_CL.pdf
- [12] Environmentální chemie I: přednášky. VACH, Marek. [online]. s. 110 [cit. 2012-10-27]. Dostupné z: http://knc.czu.cz/~vachm/ech/ECH_predn.pdf
- [13] Geografický web: Ochrana přírody ČR. HAJDUCH, Ondřej. [online]. 13. 7. 2010 [cit. 2012-08-18]. Dostupné z: <http://www.hajduch.net/cesko/priroda/ochrana-prirody>
- [14] Grady, C. P. Leslie; Daigger, Glen T.; Love, Nancy G.; Filipe, Carlos D. M. *Biological Wastewater Treatment*, Third Edition, IWA Publishing, 2011, 991 s. ISBN 9780849396793.
- [15] GRODA, Bořivoj et al. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. *Čištění odpadních vod jako nástroj k ochraně životního prostředí v zemědělské praxi a na venkově* [online]. Brno, 2007, 57 s. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/26962/cistení_odpadnich_vod.pdf

- [16] HLAVÍNEK Petr. *Vybrané statě z čištění odpadních vod: Membránové technologie* (přednáška). Brno: Vysoké učení technické, 15. 9. 2012. 58 s.
- [17] HLAVÍNEK, Petr, et al. *Stokování a čištění odpadních vod: modul 2 čištění odpadních vod*. Brno: FAST VUT, 2006. 142 s.
- [18] HLAVÍNEK, Petr; HLAVÁČEK, Jiří. *Čištění odpadních vod: Praktické příklady výpočtů*. Brno: NOEL 2000, 1996. 196 s. ISBN 80-86020-00-2.
- [19] HLAVÍNEK, Petr; MIČÍN, Jan; PRAX, Petr. *Příručka stokování a čištění*. 1. vydání. Brno: NOEL 2000, 2001. 251 s. ISBN 80-86020-30-4.
- [20] HLAVÍNEK, Petr; NOVOTNÝ, Dušan. *Intenzifikace čistíren odpadních vod*. 1. vydání. Brno: NOEL 2000, 1996. 250 s. ISBN 80-86020-01-0.
- [21] Hlavní komponenty rostlinné biomasy. Vysoká škola báňská – Technická universita Ostrava [online]. [cit. 2012-10-27]. Dostupné z: http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD_Biomasa_nove/Pdf/SlozeniBiomasy.pdf
- [22] HUBER CS, spol. s r.o. Wastewater Solutions [online]. [cit. 2013-4-01]. Dostupné z: <http://www.hubercs.cz/cz/produkty.html>
- [23] CHKO Moravský kras. [online]. [cit. 2012-08-18]. Dostupné z: http://www.webserver.cz/cewis/chko/moravsky_kras.html
- [24] CHKO Moravský kras: Přehledová mapa. Hnutí Brontosaurus Modrý kámen [online]. [cit. 2012-08-14]. Dostupné z: http://modrykamen.brontosaurus.cz/staryweb/svycarna/kras_mapa.php
- [25] KANG, Shin Joh et al. U. S. EPA. *Municipal Nutrient Removal Technologies Reference Document* [online]. 2008, 268 s. EPA 832-R-08-006. Dostupné z: water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/mnrt-volume1.pdf
- [26] Koch membrane system. *Membrane configuration* [online]. 2012 [cit. 2012-11-07]. Dostupné z: <http://www.kochmembrane.com/Learning-Center/Configurations.aspx>
- [27] KOZELSKÝ, Jiří. *Minimalizace množství nutrientů a odpadních vod vypouštěných do povrchových vod*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební, 2007. 80 s. Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Petr Hlavínek, CSc.
- [28] KRIŠKA, Michal, HYÁNKOVÁ Eva, *Přírodní způsoby čištění odpadních vod*. Brno: FAST VUT, 2009. 180 s.
- [29] KUBOTA Submerged Membrane Unit [online]. 2006 [cit. 2010-10-04]. Introduction. Dostupné z WWW: <http://env.kubota.co.jp/ksmu/introducton/>
- [30] Leopold elimi-NITE Denitrification System. [online]. [cit. 2012-11-06]. Dostupné z: http://xylemwsus.com/wp-content/uploads/2011/10/LB006-1330_Leipold_elimiNITE_processSolution_sm.pdf
- [31] LI, Norman N., et al. *Advanced Membrane Technology and Applications*.: Wiley, 2008. 994 s. ISBN 978-0-471-73167-2. Dostupné z: <http://www.scribd.com/doc/53054944/Advance-Membrane-Technology-and-Application>
- [32] MALÁ, Jitka. *Složení a vlastnosti přírodních vod: modul 1 chemie přírodních vod*. Brno: FAST VUT, 2006. 80 s.
- [33] MALÁ, Jitka. *Složení a vlastnosti přírodních vod: modul 2 znečištění přírodních vod*. Brno: FAST VUT, 2006. 85 s.

- [34] MALÁ, Jitka. *Složení a vlastnosti přírodních vod: návody do cvičení 2010*. Brno: FAST VUT, 2010. 21 s
- [35] MALÝ, Josef; HLAVÍNEK, Petr. *Čištění průmyslových odpadních vod*. 1. vydání. Brno: NOEL 2000, 1996. 255 s. ISBN 80-86020-05-3.
- [36] MALÝ, Josef; MALÁ, Jitka. *Chemie a technologie vody*. 2. doplněné vydání. Brno: ARDEC, 2006. 331 s. ISBN 80-86020-50-9.
- [37] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2012-21-12]. Dostupné z: www.mapy.cz
- [38] MATYSÍKOVÁ, Jana. *Malé čistírny odpadních vod se separací kalu membránovým modulem (MBR)*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. 2010. 64 s., 23 s. příloh. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Hlavínek, CSc.
- [39] MELZUCH, Karel, *Separace v biotechnologiích: sylabus předmětu*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická. Fakulta chemické technologie. 2010. 20 s. Dostupné z: http://eso.vscht.cz/cache_data/1157/www.vscht.cz/kch/kestazeni/sylaby/separ.pdf
- [40] Membránový filtrační modul Alfa Laval: Technologie dutých deskových membrán pro bioreaktory. ALFA LAVAL. [online]. [cit. 2012-11-02].
- [41] METCALF & EDDY. *Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse*. 4. vydání. New York 1985:McGRAW-HILL, 1819 s. ISBN 9780071241403.
- [42] Moderní přístupy v předúpravě pitných a procesních vod. RUNŠTUK, Jan; Pavel KONEČNÝ. [online]. [cit. 2012-11-06]. Dostupné z: <http://www.e-voda.cz/vytisknout-clanek/91>
- [43] MOORE, George T. et al THE CADMUS GROUP, Inc. *Nutrient Control Design Manual: Scientific, Technical, Research, Engineering, and Modeling Support (STREAMS) Task Order 68 Contract No. EP-C-05-058*[online]. United States Environmental Protection Agency, 2010, 369 s. EPA/600/R-10/100. Dostupné z: <http://www.cwi.colostate.edu/workshops/region8nutrient/files/epanutrientcontroldesignmanual.pdf>
- [44] Nařízení vlády č. 61/2003 o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech o povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech ve znění nařízení vlády č. 229/2007 a nařízení vlády 23/2011. In: Sbírká zákonů České republiky. s. 189-261.
- [45] Nutrienty, terciální čištění: biologické odstraňování dusíku a fosforu. PEČENKA, Martin. VŠCHT. [online]. [cit. 2012-11-29]. Dostupné z: <http://web.vscht.cz/pecenkam/Prezentace%20ENERGIE%202012/>
- [46] Ochrana přírody a krajiny v České republice: Základní informace. Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky. [online]. [cit. 2012-10-14]. Dostupné z: http://www.cittadella.cz/europarc/index.php?p=zvlaste_chranena&site=zakladni_uda je_cz
- [47] Online MBR Information: Inside-out and outside-in filtration in hollow fiber membrane processes. [online]. 2011 [cit. 2012-11-09]. Dostupné z: <http://onlinembr.info/Membrane%20process/Inout%20vs%20outin.htm>

- [48] OROLÍNOVÁ, Mária. *Chémia a životné prostredie* [online]. Trnavská univerzita v Trnavě, Pedagogická fakulta, 2009, 122 s. ISBN 978-80-8082-298-9. Dostupné z: pdfweb.truni.sk/elskripta/chzp.pdf
- [49] PINNEKAMP, J. *Weitergehende Reinigung in kommunalen Kläranlagen mittels MBR Technologie*. Aachen, 2008. 220 s. AZ IV – 9 – 042 IA5. Dostupné z: http://www.lanuv.nrw.de/wasser/abwasser/forschung/pdf/Abschlussbericht_weiterg_Reinigung_kom_klaera_MBR.pdf
- [50] POLÁŠEK, Daniel. *Intenzifikace ČOV technologií MBR*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební, 2011. 110 s. Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Petr Hlavínek CSc.
- [51] Projektová dokumentace pro stavební povolení Sloup, Šošůvka – ČOV a kanalizace, zpracovaná firmou AQUA PROCON, s.r.o
- [52] PYTL, Vladimír, et al. *Příručka provozovatele čistírny odpadních vod*. Libeznice u Prahy: Medim, 2004. 209 s. ISBN 80-239-2528-8.
- [53] RACLAVSKÝ, Jaroslav; HLUŠTÍK, Petr. *Vybrané statě ze stokování a ČOV, část B*. Brno: FAST VUT, 2009. 256 s.
- [54] Severn Trent Services. [online]. [cit. 2012-11-06]. Dostupné z: http://www.severntrentservices.com/Wastewater_Treatment_Tertiary_and_Wastewater_Treatment_Systems/TETRA__Denite__prod_379.aspx
- [55] Směrnice Rady 91/271/EHS o čištění odpadních vod: ve znění pozdějších dodatků. In: *Úřední věstník č. L 135*. 40 s.
- [56] Správa CHKO Moravský kras. Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky [online]. [cit. 2012-11-26]. Dostupné z: <http://www.moravskykras.ochranaprirody.cz>
- [57] STOWA - stichting toegepast onderzoek waterbeheer. [online]. [cit. 2012-11-06]. Dostupné z: <http://www.stowa-selectedtechnologies.nl/Sheets/index.html>
- [58] Suez environment. [online]. [cit. 2012-11-06]. Dostupné z: <http://www.ondeo-is.com/en/nos-solutions/engineering-construction/densadeg/densadeg-physico-chemical-treatment-of-phosphorus-and-suspended-solids/>
- [59] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Physical-chemical Nitrogen Removal Wastewater Treatment*. USA: Awberc library, U.S. EPA, 1974, 24 s.
- [60] VACHOVEC, Roman, et al. Využití MBR v lokalitách s vysokými požadavky na jakost vypouštěných odpadních vod. In *Městské vody 2010 : Sborník přednášek konference s mezinárodní účastí*, 2010. s. 143-151. ISBN 978-80-86020-71-6.
- [61] Veolia water - BIOSTYR biological aerated filter. [online]. [cit. 2012-11-06]. Dostupné z: <http://www.krugerusa.com/krugerusa/ressources/documents/1/25329,Biostyr2009.pdf>
- [62] VODÁRENSKÁ AKCIOVÁ SPOLEČNOST, a.s. *Řešení extrémních požadavků na čištění odpadních vod: sborník příspěvků konference Boskovice 2005*, ISŠ Polygrafická Brno, 2005, 93 s. Dostupné z: http://os-rep.czwa.cz/images/data_osrep/konference/2005/seminar%20boskovice.pdf

- [63] Water Environment Federation Technical Practice Committee. *Nutrient Removal, WEF MOP 34* (Water Resources and Environmental Engineering Series). McGraw-Hill Professional; 1. edition, 2010. 668 s. ISBN 9780071737098.
- [64] Zákon o ochraně přírody a krajiny č. 114/92. In: *Sbírka zákonů České republiky*. s. 196-247.
- [65] Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) č. 254/2001 In: *Sbírka zákonů České republiky*. 134 s.

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 Počet a rozlohy zvláště chráněných území ČR k 31. 12. 2010	12
Tab. 3.1 Emisní standardy ukazatelů přípustného znečištění odpadních vod dle NV 61/2003 v mg/l	16
Tab. 3.2 Přípustná minimální účinnost čištění vypouštěných odpadních vod v %	17
Tab. 3.3 Dosažitelné hodnoty koncentrací a účinností pro jednotlivé ukazatele znečištění při použití nejlepší dostupné technologie v oblasti zneškodňování městských odpadních vod	17
Tab. 4.1 Orientační složení komunálních splaškových odpadních vod	24
Tab. 4.2 Rozlišení trofie vod dle koncentrace fosforu	26
Tab. 6.1 Účinnost metod srážení fosforu	35
Tab. 6.2 Nejběžněji používané soli železa a hliníku pro chemické srážení fosforu	35
Tab. 7.1 Optimální podmínky pro nitrifikaci	37
Tab. 7.2 Poměr TSK a N denitrifikované sloučeniny	38
Tab. 7.3 Optimální podmínky pro denitrifikaci	39
Tab. 7.4 Porovnání nitrifikace a denitrifikace	39
Tab. 8.1 Vybrané procesy pro dosažení požadované koncentrace celkového fosforu na odtoku	40
Tab. 8.2 Vybrané procesy pro dosažení požadované koncentrace celkového dusíku na odtoku	40
Tab. 8.3 Vybrané procesy pro dosažení požadované koncentrace celkového dusíku a současně fosforu na odtoku	41
Tab. 9.1 Dosažitelné hodnoty na odtoku systému Tetra Denite®	44
Tab. 9.2 Návrhové a výkonové parametry technologie Biostyr	45
Tab. 10.1 Hustota a sféricita běžných filtračních médií	47
Tab. 10.2 Příklady filtrů	47
Tab. 10.3 Účinnost zemních filtrů při dočišťování biologicky vyčištěné vody	50
Tab. 10.4 Rozdělení biologických nádrží	50
Tab. 10.5 Účinnost biologických dočišťovacích nádrží	50
Tab. 10.6 Účinnost odstranění jednotlivých látek procesu Actiflo	52
Tab. 10.7 Vybrané organické a anorganické materiály používané pro membrány	58
Tab. 10.8 Porovnání membránových modulů	62
Tab. 10.9 Dosažitelné hodnoty na odtoku z MBR ČOV (porovnání z více zdrojů)	65
Tab. 10.10 Výhody a nevýhody membránové technologie	67
Tab. 11.1 Tabulka M-denních průtoků Sloupského potoka	71
Tab. 11.2 Tabulka N-letých průtoků Sloupského potoka	71

Tab. 11.3 Jakost vody v Sloupském potoku	71
Tab. 11.4 Koncentrace znečištění na přítoku	75
Tab. 11.5 Koncentrace znečištění na odtoku	75
Tab. 11.6 Přípustné limity na odtoku (dle tehdejší legislativy)	75
Tab. 11.7 Návrh počtu EO.....	77
Tab. 11.8 Průtoky na ČOV	77
Tab. 11.9 Koncentrace znečištění na vstupu do ČOV	77
Tab. 11.10 Legislativně vyžadované výstupní koncentrace pro ČOV 2001-1000 EO	78
Tab. 11.11 Výsledky směšovací rovnic pro BAT.....	78
Tab. 11.12 Výsledky směšovací rovnice pro předpokládané parametry odtoku	78

SEZNAM GRAFŮ

Graf 4.1 Závislost podílu nedisociovaných molekul NH_3 na hodnotě pH a teplotě	20
---	----

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 Mapa NP a CHKO v ČR	13
Obr. 2.2 Přehledná mapa CHKO Moravský kras	14
Obr. 4.1 Zjednodušené schematické zobrazení forem dusíku ve vodním prostředí v závislosti na oxidačním čísle	18
Obr. 4.2 Skupiny dusíkatých látek	19
Obr. 4.3 Koloběh dusíku	21
Obr. 4.4 Formy výskytu fosforu	22
Obr. 4.5 Distribuční diagram kyseliny trihydrogenfosforečné a jejich iontových forem	22
Obr. 4.6 Koloběh fosforu	23
Obr. 5.1 Přehled metod odstraňování dusíku z odpadních vod	27
Obr. 5.2 Chlorační křivka	29
Obr. 5.3 Schéma stripovací věže	30
Obr. 6.1 Přehled metod odstraňování fosforu z odpadních vod	32
Obr. 6.2 Princip biologického odstraňování fosforu	33
Obr. 6.3 Závislost koncentrace ortofosforečnanů na čase v anaerobní a aerobní stupni při biologickém odstraňování fosforu.	33
Obr. 6.4 Místa možné aplikace koagulantu	34
Obr. 9.1 Schéma procesu ANAMMOX	42
Obr. 9.2 Schéma procesu SHARON	43
Obr. 9.3 Schéma možného zapojení denitrifikačních filtrů	43
Obr. 9.4 Schéma denitrifikačního filtru Leopold	44
Obr. 9.5 Schéma filtru Biostyr	45
Obr. 10.1 Příklad klasických pískových filtrů	48
Obr. 10.2 Příklad vícevrstvých filtrů	49
Obr. 10.3 Schéma procesu Dynasand D2	51
Obr. 10.4 Schéma procesu Actiflo	52
Obr. 10.5 Schéma procesu DensaDeg	53
Obr. 10.6 Schéma procesu CoMag	53
Obr. 10.7 Schéma procesu Blue PRO	54
Obr. 10.8 Schéma filtru Centra-Flo	54
Obr. 10.9 Schéma procesu Trident HS	55
Obr. 10.10 Schéma membránového procesu	55
Obr. 10.11 Přehled membránových procesů ve vztahu k velikosti pórů, respektive poměru zachycených a propuštěných částic	58

Obr. 10.12	Struktury membrán	59
Obr. 10.13	Schéma klasické (statické, dead-end) filtrace	59
Obr. 10.14	Schéma filtrace příčným tokem (dynamické, crossflow)	60
Obr. 10.15	Možnosti čištění ponorných membránových modulů	61
Obr. 10.16	Průtok permeátu membránou při konstantním tlaku při/bez použití chemického čištění	61
Obr. 10.17	Typy průtoků membránou outside-in a inside-out	62
Obr. 10.18	Membránový deskový modul firmy Kubota	63
Obr. 10.20	Schéma spirálově vinutého membránového modulu	63
Obr. 10.21	Schéma membránového modulu s dutými vlákny	64
Obr. 10.22	Schéma tubulárního membránového modulu	64
Obr. 10.23	Porovnání klasické a MBR ČOV	65
Obr. 10.24	Schéma umístění membránového modulu na boční větvi	66
Obr. 10.25	Schéma umístění membránového modulu v externí nádrži	66
Obr. 10.26	Schéma umístění membránového modulu v aktivační nádrži	66
Obr. 11.1	Přehledná situace oblasti	71
Obr. 11.2	Odlehčovací komora na přítoku do ČOV	72
Obr. 11.3	Objekt mechanického předčištění	73
Obr. 11.4	Česle, lapák písku	73
Obr. 11.5	Biologická linka	74
Obr. 11.6	Kalová pole	74
Obr. 11.7	Jemné strojní česle (schéma)	79
Obr. 11.8	Rotační síto (schéma)	79
Obr. 11.9	Separátor písku (schéma)	80
Obr. 11.10	Schéma uspořádání membránových modulů.....	81
Obr. 11.11	Schéma membránového modulu siClaro	82
Obr. 11.12	Schéma regeneračních nádrží	82

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ADP	adenosindifosfát
aj.	a jiné
apod.	a podobně
AQP	AQUA PROCON, s.r.o.
ATP	adenosintrifosfát
BAT	Best Available Technology – nejlepší dostupná technologie
BSK ₅	biochemická spotřeba kyslíku
cca	cirka
CEB	chemically enhanced backwash – zvýšené chemické proplachování
CIA	cleaning in air – čištění na vzduchu
CIP	cleaning in place – čištění v nádrži (pod vodou)
CT	capillary tube – kapilární trubice
ČOV	čistírna odpadních vod
ČR	Česká republika
ČSN	Česká technická norma
DNA	deoxyribonukleová kyselina
ED	elektrodialýza
EEC/EHS	European Economic Community – Evropské hospodářské společenství
EO	ekvivalent obyvatel
EU	evropská unie
FAST VUT	Fakulta stavební, Vysoké učení technické
FS	flat shet – deskové moduly
GAU	granulované aktivní uhlí
HF	hollow fibre – duté vlákno
CHKO	chráněná krajinná oblast
CHSK	chemická spotřeba kyslíku
IFAS	Integrated Fixed-film Activated Sludge
ISŠ	integrovaná střední škola
max.	maximální
MBBR	Moving Bed Biofilm Reactor
MBR	membránový bioreaktor
MD	membránová destilace
MF	mikrofiltrace

MLE	Modifikovaný Ludzack-Ettingerův proces
MŠ	mateřská škola
MT	multitubular – (multi) tubulární moduly
MUCT	Modifikovaný University of Cape Town proces
např.	například
NDN	nitrifikace-denitrifikace
NF	nanofiltrace
NL	nerozpuštěné látky
NP	národní park
NV	nařízení vlády
obr.	obrázek
org.	organické
OÚ	obecní úřad
OV	odpadní voda
PAC	polyaluminium chlorid
prům.	průměr
PV	prevaporace
RNA	ribonukleová kyselina
RO	reverzní osmóza
Sb.	sbírka
SBC	Sequencing Batch Reactor
SBR	Sequencing Batch Reactor
STOWA	Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer – Holandská nadace pro aplikovaný výzkum vody
SW	spiral wound – spirálově vinuté moduly
tab.	tabulka
TKN	celkový Kjeldahlův dusík
TN	celkový dusík
TOC	celkový organický uhlík
TSK	teoretická spotřeba kyslíku
tzv.	takzvaný
UF	ultrafiltrace
UN	usazovací nádrž
US EPA	United States Environmental Protection Agency – agentura ochrany životního prostředí Spojených států

USA	United States of America – Spojené státy americké
UV	ultrafialové záření
VIP	Virginia Initiative Plant
VŠCHT	Vysoká škola chemicko-technologická
ZŠ	základní škola

SEZNAM PŘÍLOH

1. Hydrotechnické výpočty
2. Technologické schéma
3. Situace ČOV, M 1:200
4. Budova mechanického předčištění – půdorys, M 1:50
5. Budova mechanického předčištění – řezy, M 1:50
6. Budova mechanického předčištění – pohledy, M 1:50
7. Dešťová zdrž, M 1:50
8. Provozní budova – půdorys + řezy, M 1:50
9. Provozní budova – pohledy, M 1:50
10. Aktivační nádrže, M 1:50
11. Budova membránových nádrží – půdorys, M 1:50
12. Budova membránových nádrží – řezy, M 1:50
13. Budova membránových nádrží – pohledy, M 1:50
14. Kalové hospodářství – půdorys, M 1:50
15. Kalové hospodářství – řezy, M 1:50
16. Kalové hospodářství – pohledy, M 1:50

SUMMARY

The objective of my diploma thesis titled “Design of WWTP at locality with extreme demands on quality of treated wastewater” was to:

- analyse processes and technologies of wastewater treatment by means of which high quality of the treated waters is attained, especially with regard to reducing the amount of nutrients;
- design a project of a WWTP in the protected landscape area of Moravian Karst for the villages of Sloup and Šošůvka.

The introduction of the theoretical part of my thesis primarily deals with protected reserves in the Czech Republic (national parks, protected landscapes, etc.), where the priority should be to protect the environment and to put stronger emphasis on the quality of the discharged wastewaters. Then, requirements on the quality of the discharged wastewaters are outlined as stipulated in the Czech legislation, and the terms ‘sensitive area’ and ‘the best available technology’ clarified. Next, the nutrients – nitrogen and phosphorus – are characterized and their transformations and the impact on the environment described.

I then outline the biological and physical and chemical principles and processes of removing the nutrients from the wastewaters. In the next section, the technological processes of removing the nutrients are distributed into charts according to the values of concentration of nitrogen and phosphorus at discharge. The selected processes of removing nitrogen are described in more detail.

The final section of my thesis analyses in detail the individual possibilities of tertiary wastewater treatment. It presents filtration by means of sand filters, multimedia filters and soil filters. One of the subsections contains a brief description of biological tanks. Then I characterize the special patented technologies making use of various processes from the field of wastewater treatment. The majority of the last section focuses on membrane technologies. It defines the membrane processes and their characteristics. It lists the materials the membranes are made of, analyses the problems of fouling and scaling and cleaning the membranes. It presents a list of available membrane configurations and their comparisons. At the end I embedded a brief comparison of the standard and the membrane treatment technologies. The last two subsections of the theoretical section summarize the possibilities of absorption and hygienic discharge at wastewater treatment. My diploma thesis generally concentrates on presenting the possibilities of removing nutrients from wastewaters. Great emphasis is placed on possibilities of tertiary wastewater treatment, including detailed description of the membrane technology.

The practical section of the thesis comprises a study of a WWTP making use of the membrane technology. The most significant difference in comparison to the standard WWTP are:

- the necessity to propose more thorough mechanical pre-cleaning,
- the proposed volumes of the activation tanks are lower (due to possible higher concentration of sludge),
- the higher concentration of sludge reduces the effectiveness of oxygen transfer,
- there is no need to design secondary settling tanks,
- to design external tank of membrane modules if placed outside the activation tank,
- to design the regeneration membrane tank and the relevant chemical management, or to arrange membrane regeneration outside the WWTP complex (transported for regeneration),
- inflow and outflow are not gravitationally linked, membrane technology requires constant flow by drawing with regard to fouling and scaling.

The projected WWTP is located in the protected landscape area of Moravian Karst in the village of Sloup. The WWTP is designed for wastewater treatment from villages of Sloup and Šošůvka with the overall capacity of 2100 IE. The recipient of the projected WWTP is the Sloup brook which along with the Bílá voda brook turns into the underground creek of Punkva. The river along with the karst caves are visited by tens of thousands of tourists every year.