

Funkce a řízení ČOV

Diplomová práce

Jihočeská univerzita
Pedagogická fakulta
Katedra fyziky

České Budějovice 2005

Knihovna JU - PF



Autor:

Martin Šůna

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Michal Šerý

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
PEDAGOGICKÁ FAKULTA
KATEDRA FYZIKY

- 48 -

2. 12. 2005 Brydlov

Člověk jako prvek v soustavě životní / prostředí se částečně vztahuje ke své roli v životě. Člověk
ČOV jako vysoce kvalitní součást soustavy životní.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Funkce a řízení ČOV“ vypracoval samostatně,
bez pomoci cizí osoby. Použitou literaturu uvádím v seznamu literatury.

V Českých Budějovicích dne 2.12.2005



podpis

Cílem této práce je seznámit čtenáře s problematikou čištění odpadních vod a návrhu čistírny. Městské ČOV jsou výsledkem koordinace mnoha technických oborů.

1	Úvod	1
1.1	Úvodní poznámky	1
1.2	Úvodní poznámky	1
1.3	Úvodní poznámky	1
1.4	Úvodní poznámky	1
2	Úvodní poznámky	1
2.1	Úvodní poznámky	1
2.2	Úvodní poznámky	1
3	Úvodní poznámky	1
3.1	Úvodní poznámky	1
3.2	Úvodní poznámky	1
3.3	Úvodní poznámky	1
4	Úvodní poznámky	1
4.1	Úvodní poznámky	1
4.2	Úvodní poznámky	1
4.3	Úvodní poznámky	1
4.4	Úvodní poznámky	1
4.5	Úvodní poznámky	1
4.6	Úvodní poznámky	1
4.7	Úvodní poznámky	1
4.8	Úvodní poznámky	1
4.9	Úvodní poznámky	1
4.10	Úvodní poznámky	1
4.11	Úvodní poznámky	1
4.12	Úvodní poznámky	1
4.13	Úvodní poznámky	1
4.14	Úvodní poznámky	1
4.15	Úvodní poznámky	1
4.16	Úvodní poznámky	1
4.17	Úvodní poznámky	1
4.18	Úvodní poznámky	1
4.19	Úvodní poznámky	1
4.20	Úvodní poznámky	1
4.21	Úvodní poznámky	1
4.22	Úvodní poznámky	1
4.23	Úvodní poznámky	1
4.24	Úvodní poznámky	1
4.25	Úvodní poznámky	1
4.26	Úvodní poznámky	1
4.27	Úvodní poznámky	1
4.28	Úvodní poznámky	1
4.29	Úvodní poznámky	1
4.30	Úvodní poznámky	1
4.31	Úvodní poznámky	1
4.32	Úvodní poznámky	1
4.33	Úvodní poznámky	1
4.34	Úvodní poznámky	1
4.35	Úvodní poznámky	1
4.36	Úvodní poznámky	1
4.37	Úvodní poznámky	1
4.38	Úvodní poznámky	1
4.39	Úvodní poznámky	1
4.40	Úvodní poznámky	1
4.41	Úvodní poznámky	1
4.42	Úvodní poznámky	1
4.43	Úvodní poznámky	1
4.44	Úvodní poznámky	1
4.45	Úvodní poznámky	1
4.46	Úvodní poznámky	1
4.47	Úvodní poznámky	1
4.48	Úvodní poznámky	1
4.49	Úvodní poznámky	1
4.50	Úvodní poznámky	1
4.51	Úvodní poznámky	1
4.52	Úvodní poznámky	1
4.53	Úvodní poznámky	1
4.54	Úvodní poznámky	1
4.55	Úvodní poznámky	1
4.56	Úvodní poznámky	1
4.57	Úvodní poznámky	1
4.58	Úvodní poznámky	1
4.59	Úvodní poznámky	1
4.60	Úvodní poznámky	1
4.61	Úvodní poznámky	1
4.62	Úvodní poznámky	1
4.63	Úvodní poznámky	1
4.64	Úvodní poznámky	1
4.65	Úvodní poznámky	1
4.66	Úvodní poznámky	1
4.67	Úvodní poznámky	1
4.68	Úvodní poznámky	1
4.69	Úvodní poznámky	1
4.70	Úvodní poznámky	1
4.71	Úvodní poznámky	1
4.72	Úvodní poznámky	1
4.73	Úvodní poznámky	1
4.74	Úvodní poznámky	1
4.75	Úvodní poznámky	1
4.76	Úvodní poznámky	1
4.77	Úvodní poznámky	1
4.78	Úvodní poznámky	1
4.79	Úvodní poznámky	1
4.80	Úvodní poznámky	1
4.81	Úvodní poznámky	1
4.82	Úvodní poznámky	1
4.83	Úvodní poznámky	1
4.84	Úvodní poznámky	1
4.85	Úvodní poznámky	1
4.86	Úvodní poznámky	1
4.87	Úvodní poznámky	1
4.88	Úvodní poznámky	1
4.89	Úvodní poznámky	1
4.90	Úvodní poznámky	1
4.91	Úvodní poznámky	1
4.92	Úvodní poznámky	1
4.93	Úvodní poznámky	1
4.94	Úvodní poznámky	1
4.95	Úvodní poznámky	1
4.96	Úvodní poznámky	1
4.97	Úvodní poznámky	1
4.98	Úvodní poznámky	1
4.99	Úvodní poznámky	1
5	Úvodní poznámky	1

OBSAH

1	ÚVOD	7
1.1	Kritéria pro vypouštění vyčištěných odpadních vod	8
1.2	Projekční návrh čistíren odpadních vod	10
1.3	Konstrukční řešení čistíren	12
2	TECHNOLOGIE ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD	15
2.1	Čištění městských odpadních vod	16
2.2	Čištění průmyslových odpadních vod	18
3	MECHANICKÉ ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD	20
3.1	Lapáky písku	21
3.2	Usazovací nádrže	22
3.3	Dosazovací nádrže	25
4	BIOLOGICKÉ ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD	26
4.1	Biologické čištění v aerobních podmínkách	28
4.1.1	Způsoby aerace	29
4.1.1.1	Pneumatická aerace	29
4.1.1.2	Mechanická aerace	30
4.1.1.3	Hydropneumatická aerace	31
4.1.1.4	Kombinovaná aerace	31
4.1.2	Aktivace	31
4.1.3	Aerobní biofilmové reaktory	32
4.1.4	Přirozené způsoby biologického čištění	33
4.2	Anaerobní procesy	35
4.2.1	Anaerobní čištění odpadních vod	36
4.2.2	Anaerobní reaktory	36
4.2.3	Konstrukční řešení reaktorů a jejich použití při čištění odpadních vod	37
4.3	Odstraňování dusíku a fosforu	39
5	ČISTÍRENSKÉ KALY	41
5.1	Stabilizace kalu	42
5.2	Zpracování stabilizovaného čistírenského kalu	44
5.2.1	Zahušťování kalu	44
5.2.2	Odvodňování kalu	44

5.2.3	Konečné zpracování kalu.....	46
5.2.3.1	Využití jako hnojiva	46
5.2.3.2	Skládkování	46
5.2.3.3	Zpracování do stavebních materiálů	47
6	AUTOMATICKÝ SYSTÉM ŘÍZENÍ	48
6.1	Návrhové požadavky a koncepce ASŘ	49
6.1.1	Potřebné vstupní údaje pro návrh ASŘ.....	49
6.1.1.1	Všeobecně	49
6.1.1.2	Přístrojové vybavení a řídicí technika.....	49
6.1.1.3	Provozní podmínky čistírny	49
6.1.2	Koncepce ASŘ.....	51
6.2	Specifikace ASŘ.....	52
6.2.1	Všeobecně	52
6.2.2	Požadavky	52
7	PRAKTICKÝ PŘÍKLAD NÁVRHU MALÉ ČOV	58
7.1	Zadání	58
7.2	Návrh.....	58
7.3	Hydrotechnické výpočty.....	58
7.3.1	Výpočet potřeby vody	58
7.3.1.1	Průměrná denní spotřeba	58
7.3.1.2	Maximální denní spotřeba.....	58
7.3.1.3	Maximální hodinová spotřeba	59
7.3.2	Počet ekvivalentních obyvatel.....	59
7.3.3	Výpočet znečištění.....	59
7.4	Návrh septiku	59
7.4.1	Účinnost septiku.....	59
7.4.2	Bilance kontrolovaných hodnot na odtoku.....	59
7.4.2.1	Množství BSK ₅ /den na odtoku ze septiku (70 %).....	59
7.4.2.2	Množství CHSK/den na odtoku ze septiku (80 %)	59
7.4.2.3	Množství NL/den na odtoku ze septiku (50 %)	59
7.4.3	Obsah vybíraného kalu	60
7.4.4	Celkový účinný prostor septiku	60
7.4.5	Návrh rozměrů septiku	60

7.5	Návrh zemního filtru	60
7.5.1	Účinnost zemního filtru.....	60
7.5.2	Bilance kontrolovaných hodnot na odtoku.....	60
7.5.2.1	Množství BSK ₅ /den na odtoku ze zemního filtru (10 %).....	60
7.5.2.2	Množství CHSK/den na odtoku ze zemního filtru (15 %)	60
7.5.2.3	Množství NL/den na odtoku ze zemního filtru (15 %).....	61
7.5.3	Výpočet plochy zemního filtru	61
7.6	Posouzení zemního filtru.....	61
7.6.1	Kritéria pro vypouštění odpadních vod.....	61
7.6.2	Kvóty koncentrací na přítoku znečištěné vody do recipientu.....	61
7.7	Závěr	61
8	ZÁVĚR.....	62
8.1	Odpadní vody, výhledy do budoucna	62
8.2	Zdroje financování, postup výstavby	62
9	POUŽITÁ LITERATURA	64
9.1	Knižní literatura	64
9.2	Sbírky zákonů.....	64
9.3	Normy	64
9.4	WWW odkazy.....	64
10	PŘÍLOHY	65

1 ÚVOD

Stabilita přírodních systémů byla silně ovlivněna rozvojem civilizace. Odpadní vody vznikají převážně díky aktivitě nás lidí a vždy nakonec vnikají do povrchových vod, kde po smísení ovlivňují rovnovážný stav ve vodách, případně do vod podpovrchových kde ovlivňují rovnovážný stav v půdě.

Po vstupu České republiky do Evropské unie (*dále jen EU*) se obrátila pozornost též na životní prostředí, které bylo do té doby zanedbáváno, protože prioritní byl hospodářský růst země. Vzhledem ke vstupním podmínkám do EU se musela Česká republika smluvně zavázat, že do stanoveného termínu po vstupu budou dodržovány kvóty stanovené EU, mimo jiné i na vypouštění odpadních vod do recipientů.

V České republice máme na celém území s ohledem na poměrně malé vodoteče a stávající stupeň jejich znečištění vyhlášenou tzv. citlivou oblast. Téměř vždy je žádán stupeň čištění s nitrifikací a často denitrifikací i eliminací fosforu za účelem snížení celkového dusíku a celkového fosforu na odtoku z čistírny.

Kód	Název	Výstupní koncentrace	
		mg/l	mg/l
1	CELKOVÝ N	1,0	1,0
2	CELKOVÝ P	0,1	0,1
3	CELKOVÝ NH ₄ ⁺	0,5	0,5
4	CELKOVÝ NO ₃ ⁻	10,0	10,0
5	CELKOVÝ NO ₂ ⁻	0,5	0,5
6	CELKOVÝ NH ₃	0,1	0,1
7	CELKOVÝ PO ₄ ³⁻	0,05	0,05
8	CELKOVÝ Si	0,1	0,1
9	CELKOVÝ Fe	0,1	0,1
10	CELKOVÝ Cu	0,01	0,01
11	CELKOVÝ Zn	0,1	0,1
12	CELKOVÝ Pb	0,01	0,01
13	CELKOVÝ Cd	0,001	0,001
14	CELKOVÝ Cr	0,1	0,1
15	CELKOVÝ Mn	0,1	0,1
16	CELKOVÝ Co	0,001	0,001
17	CELKOVÝ Ni	0,01	0,01
18	CELKOVÝ Ag	0,001	0,001
19	CELKOVÝ Hg	0,0001	0,0001
20	CELKOVÝ As	0,01	0,01
21	CELKOVÝ Se	0,01	0,01
22	CELKOVÝ Br	0,01	0,01
23	CELKOVÝ I	0,01	0,01
24	CELKOVÝ B	0,01	0,01
25	CELKOVÝ F	0,01	0,01
26	CELKOVÝ Cl	0,01	0,01
27	CELKOVÝ S	0,01	0,01
28	CELKOVÝ O	0,01	0,01
29	CELKOVÝ H	0,01	0,01
30	CELKOVÝ C	0,01	0,01

1.1 Kritéria pro vypouštění vyčištěných odpadních vod

Odpadní vody lze podle původu rozdělit na splaškové (komunální) a odpadní vody průmyslové. Splaškové odpadní vody se nejčastěji čistí pomocí aktivačních čistíren odpadních vod (aerobní čistírny). Průmyslové odpadní vody, s vysoce koncentrovaným znečištěním, se nejčastěji předčišťují anaerobními postupy a dočišťují na aktivační čistírně.

Důvodem čištění odpadních vod je dosažení po smísení odpadních vod s vodami povrchovými nezávadné jakosti povrchových vod. Hodnoty tzv. imisních standardů (limitů) pro povrchovou vodu jsou uvedeny v Nařízení vlády ČR č. 171/92 Sb. a novele č. 185/96 Sb. Dosažení imisních limitů je dlouhodobým vodohospodářským cílem a není časově omezeno. Povolené ukazatele imisního přípustného znečištění se vztahují k 355-ti dennímu průtoků, což je průměrný průtok za 10 nejnižších denních průtoků v roce. Dále se vztahují k charakteru vodoteče s ohledem na způsob využití povrchové vody t.zn. vodárenské využití a ostatní. U toků pro vodárenské využití jsou imisní standardy zhruba poloviční.

Ukazatel	Pitná voda	Povrchová voda	Povrchová voda
	ČSN 757111	Vodárenské využití	Ostatní
N - organický		1.500	3.000
NO ₃ -	50.000	15.000	50.000
PO ₄		500	1000
BSK ₅		4.000	8.000
CHSK _{Cr}	8.000	20.000	50.000
Rozp. kyslík	>50 %	6.000	4.000

Kritéria znečištění vody (v mg/l) - Imisní standardy (výběr z cca 57 ukazatelů)

Nezbytný stupeň čištění odpadních vod vyplývá z Nařízení vlády ČR č. 61/2003, které stanoví tzv. emisní standardy (limity mohou být přísnější). Je to vlastně maximální možné znečištění, které uniká z čistírny odpadních vod do odtoku. Přísnost na maximální znečištění podstatně ovlivňuje technologickou skladbu čistírny, obestavěný prostor a tím celkové investiční náklady čistírny. Emisní standardy jsou vztaženy ke kapacitě odpadních vod vyjádřené v počtu ekvivalentních obyvatel (EO). Ekvivalentní obyvatel je definovaný produkcí látkového znečištění 60 g BSK₅ (biochemická spotřeba kyslíku při procesu rozkladu organického znečištění na anorganické za 5 dnů v temnu a při teplotě

20 °C) za den. Ne všechny organické látky mohou být oxidovány biochemicky. Zde se provádí stanovení CHSK (chemická spotřeba kyslíku) pomocí silných oxidačních činidel. Pro odpadní vody se používá metoda dichromanová - CHSK_{Cr}.

Pokud se jedná o výstavbu čistíren nových, předpokládá se objemové zatížení 150 l na osobu a den, nebo se postupuje podle příslušných ČSN.

EO	CHSK _{Cr}		BSK ₅		NL		N-NH ₄ ⁺		Ncelk.		Pcelk.	
	p	m	p	m	P	m	p	m	p	m	p	M
<500	úřad	úřad	úřad	úřad	Úřad	úřad	-	-	-	-	-	-
<2.000 _i	125	180	30	60	35	70	-	-	-	-	-	-
<10.000	120	170	25	50	30	60	15	30	-	-	-	-
<100.000	90	130	20	40	25	50	-	-	15	20	2	6
>100.000	75	125	15	30	20	40	-	-	10	20	1	3

Emisní standardy (v mg/l)

1.2 Projekční návrh čistíren odpadních vod

V České republice je veden normou ČSN 756401 - Čistírny městských odpadních vod, platnou od března 1994 a normou ČSN 756402 - Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel, platnou od února 1998. Je nutno poznamenat, že obě tyto normy nejsou harmonizovány, takže nejsou závazné.

Soudobé čistírny odpadních vod se skládají z hlediska technologického procesu čištění z několika stupňů.

První stupeň (primární) zahrnuje postupy mechanického předčištění mezi která patří: usazování, lapáky štěrku a písku, stíraná síta, česle ruční a strojně stíraná. V tomto stupni se oddělí převážně nerozpuštěné a plovoucí látky. Tyto látky nazýváme tzv. shrabky a primární kal.

Po mechanickém předčištění následuje biologický stupeň (sekundární), kde se přemění zejména rozpuštěné biochemicky rozložitelné látky na látky anorganické: stabilizační nádrže, biofiltry, rotační diskové reaktory, čištění polyfunkční kulturou ve vznosu. Výsledným produktem je na jedné straně biologicky předčištěná nebo vyčištěná odpadní voda, na straně druhé t. zv. přebytečný aktivovaný kal.

Za biologickým stupněm může následovat tzv. terciální stupeň dočištění, a to buď fyzikálními nebo chemickými postupy: aktivace s oddělenou regenerací kalu, aktivace se selektorem, aktivace s nitrifikací a denitrifikací, zemní filtry na dočištění odpadních vod, bubnové filtry a pod. Výsledným produktem je na jedné straně biologicky a mechanicky dočištěná odpadní voda, na straně druhé opět zv. přebytečný aktivovaný kal.

Vedle těchto technologických stupňů má každá čistírna odpadních vod (dále jen ČOV) obslužnou kalovou část za účelem akumulace, skladování a úpravy výše uvedených kalů a část k pohonu, ovládání a řízení jednotlivých zařízení čistírny.

Projekční návrh čistírny by měl respektovat požadavek vodohospodářského orgánu na stupeň vyčištění odpadní vody (emisní limity), t.zn. odpovědný projektant s odpovědnou autorizací musí vždy začít dotazem na příslušném vodohospodářském orgánu, který v místě stavby čistírny posoudí vodohospodářskou situaci a s ohledem na stávající znečištění ve vodoteči a možné rezervy pro další

znečišťovatele stanoví emisní kritéria pro dané zaústění vyčištěných odpadních vod do příslušné vodoteče.

Tento postup stanoví správnou skladbu systému čištění a zaručí efektivní vynaložení finančních prostředků.

V případech kdy požadovaná vodoteč není v ekonomicky dosažitelné vzdálenosti a zdroje pitné vody mají dostatečné ochranné pásmo od místa vypouštění vyčištěné resp. dočištěné odpadní vody, může vodohospodářský orgán povolit drenážní podmok. Tento způsob zaústění by měl v technologickém návrhu čistírny být vždy spojen se zařazením terciálního stupně čištění spojeného s místním dílčím využitím takto vyčištěných vod pro provozovatele (závlaha, okrasný rybník a podobně). Využití lze s výhodou kombinovat s využitím dešťových vod a následně zvýšit akumulaci dešťových vod příslušnou oblastí.

1.3 Konstrukční řešení čistíren

Je předmětem činností projektantů a konstruktérů dnes již celé řady soukromých firem zabývajících se výrobou komponentů a vlastních čistíren odpadních vod. Úroveň technického řešení by mělo být vedeno snahou o maximální komfort obsluhy s ohledem na řadu hygienických norem a nařízení a s ohledem na vysokou stabilitu procesu. Stabilita provozu může být zvýšena např. ponořenou náplní jako "nosiče biomasy". Rovněž použité materiály a způsob povrchové ochrany musí být navržen s ohledem na agresivitu prostředí a požadovanou životnost zařízení. Rovněž důležitý je požadavek na rozsah stavebních prací v případě tzv. balených čistíren odpadních vod, které velmi mohou ovlivnit relativní výši celkových investičních nákladů k ceně samotné čistírny (nutnost obetonování).

Současný stav datové techniky například v systému GSM umožňuje dálkový přenos hlášení sdružené chyby systému resp. dálkový přenos parametrů aktuálního stavu procesu na čistírně a po vyladění procesu čištění rovněž automatické udržování nastavených hodnot biologického procesu čištění (rozpuštěný kyslík v aktivační části, koncentrace kalu v aktivační části atd.).

Prostřednictvím internetu je možno pro každou lokalitu provést kvalitní poptávkové řízení u firem zabývajících se danou problematikou a vybrat nejvhodnějšího dodavatele čistírny s ohledem na historii firmy, dostupné reference, provozní náklady zařízení (hlavně energetická spotřeba) a cenu dodávky. Stupeň čištění (emisní limity) se projeví značně na investičních nákladech čistírny a je nutno velice pečlivě zvažovat nároky na chemickou analýzu vyčištěné odpadní vody již při tomto poptávkovém řízení.

Zde je nutno zmínit, že Nařízení vlády ČR č. 61/2003 například u čistíren do 2000 EO vůbec nestanoví limity amoniakálního znečištění. Naproti tomu nárok čistírny na zastavěný prostor je při emisních limitech na celkový dusík (s účinností odbourávání dusíkatého znečištění např. 82 – 85 %) dvojnásobně větší než u čistírny s emisními limity pouze na BSK₅ (s účinností např. 90 % pouze základního čištění organického vyjádřeného v BSK₅).

U malých čistíren s nerovnoměrným zatížením instalovaných na krátkých kanalizacích je předepsán min. objem usazování a uskladňování primárního kalu 300l/EO a min. objem přebytečného aktivovaného kalu 75l/EO odděleně od aktivačního prostoru.

Česlicové koše na nátok do čistíren nejsou z mnoha důvodů v České republice povoleny!

Zákon č.185/2001 Sb. O odpadech v posledním znění uvádí v §11 odst.3: "Při posuzování vhodnosti způsobů odstranění odpadů má vždy přednost způsob, který zajistí vyšší ochranu lidského zdraví a je šetrnější k životnímu prostředí.

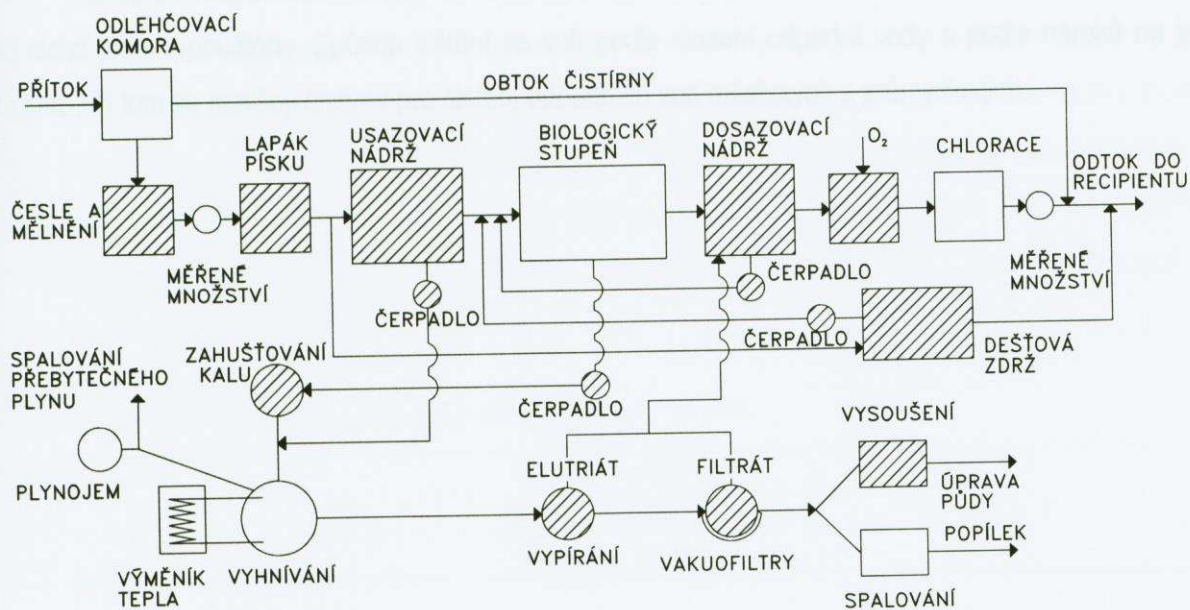
V§19 a §20: "Provozovatel zařízení k využívání a k odstraňování odpadů je povinen"oznámit bez zbytečného odkladu příslušnému obecnímu úřadu obce s rozšířenou působností nepříznivé vlivy nakládání s odpady na zdraví lidí nebo životní prostředí, které jsou v rozporu s vlivy očekávanými nebo popsány v provozním řádu zařízení, nebo vlivy, které překračují stanovené limitní hodnoty."

V§16 odst.1 písm.j): Původce odpadů je povinen"vykonávat kontrolu vlivů nakládání s odpady na zdraví lidí a životní prostředí v souladu se zvláštními právními předpisy a plánem odpadového hospodářství. Nedodržování tohoto ustanovení zákona o odpadech přináší sebou významné zvýšení zdravotních i enviromentálních rizik při nakládání s odpady.

U čistíren v oblasti 50 -500EO je dle A 122 předepsán objem uskladňování přebytečného kalu 100l/EO a periodický odvoz kalu na městskou nebo obecní čistírnu k dalšímu zpracování.

Nejčastější možností v poslední době vedle přímého použití v zemědělství a rekultivacích je kompostování stabilizovaného (poměr těkavé složky do 40 %) a odvodněného (vlhkost do 20 %) kalu z čistíren. Kompostárny, které pracují s čistírenskými kaly musí být vybaveny zařízením na přípravu lignocelulózového substrátu zrnitosti 50-80 mm. Optimální poměr kalu k substrátu byl zjištěn mezi 60:40. Fermentační proces probíhá monitorovaně. Probíhá při teplotách 60-70 °C a poměru C:N, který je udržován v rozmezí 30-35, za současného periodického překopávání. Po dvou měsících je frekvence překopávek nižší. Po třech měsících kompostování je kompost zralý, skladovatelný, manipulovatelný a tedy vhodný k úpravě zahrad.

Technologické schéma ČOV



2.1 Čištění městských odpadních vod

Při čištění městských odpadních vod je třeba z nich odstranit především hrubé, makroskopické látky, jejichž přítomnost by mohla vést v dalších stupních čištění k mechanickým závadám a zanášení objektů a zařízení ČOV. Jedná se o vznášené částice, které se zachycují na česlích s průlinami až 0,5mm a o částice sunuté po dně stoky – v podstatě písek. Pro zachycení písku slouží lapáky písku, které jsou někdy uspořádány i pro zachycení plovoucích látek (tukových), což je výhodné především u OV bez usazovacích nádrží. Tyto objekty, které nemohou chybět na žádné ČOV se nazývají v souhrnu hrubé předčištění. Materiály na něm zachycené, jsou hygienicky i esteticky závadné a zpravidla se skladují.

Orientační produkce zachycených materiálů je dle ČSN 75 6401

Shrabky z česlí	Kg.obyv ⁻¹ .rok ⁻¹	4-6
Písek	litřů.obyv ⁻¹ .rok ⁻¹	5,5-7,3
Tuky	Kg.obyv ⁻¹ .rok ⁻¹	3-8

Za hrubým předčištěním následuje biologicko-mechanické nebo biologické čištění. Mechanické ČOV bez následného biologického čištění se v současné době již nebudují. Mechanické čištění městských odpadních vod je realizováno v usazovací nádrži. V ní jsou odděleny usaditelné částice. Odpadní voda z mechanického čištění nebo přímo z hrubého předčištění je vedena na čištění biologické, které může být realizováno v aerobních nebo anaerobních podmínkách. Při čištění městských odpadních vod se uplatňuje výhradně čištění aerobní.

Jiným rozlišujícím kritériem je čištění:

- přirozené, probíhající v přírodních podmínkách, které jsou jen určitým způsobem modifikovány.
- Umělé, probíhající v reaktorech, v nichž jsou biochemické procesy intenzifikovány.

Čistírenské objekty zejména biologické čištění nelze dimenzovat na maximální průtoky, ke kterým dochází při deštích, kdy průtokové množství mnohonásobně, byť jen krátkodobě převyšuje průměrný průtok. Proto se na přítoku do ČOV osazuje odlehčovací komora, která při velkých průtocích zajišťuje obtok čistírny. Dále jsou pro zachycení tohoto přívalu na ČOV budovány dešťové zdrže, do nichž se (zpravidla za hrubým předčištěním) oddělí část vody převyšující maximum na které jsou dimenzovány další technologické objekty. Po naplnění dešťové zdrže se tato stává průtočnou a funguje jako usazovací nádrž, z níž jsou odpadní vody odváděny do recipientu. Voda zachycená v dešťové zdrži a ovšem i kal se po opadnutí deště přečerpává do ČOV.

Produktem čištění odpadních vod je kalová suspenze (kal), kterou je třeba dále zpracovávat. Proto je nedílnou součástí ČOV kabelové hospodářství.

Požadavkem na čistírnu městských odpadních vod je výrazné snížení:

- koncentrace suspendovaných látek.
- koncentrace organických látek, zejména biologicky rozložitelných .
- počtu bakterií a jiných organismů.
- odstranění nutričních prvků (N,P) do různého stupně podle velikosti zdroje znečištění a s přihlédnutím k recipientu.

2.2 Čištění průmyslových odpadních vod

U průmyslových odpadních vod nelze vzhledem k různorodosti jejich složení popsat jednotné schéma jejich čištění. Vedle postupů používaných při čištění městských odpadních vod se uplatňují i postupy zcela odlišné. Při biologickém čištění jsou u vod s vysokou koncentrací organického znečištění využívány s výhodou anaerobní procesy, které se na městských ČOV používají pouze pro stabilizaci kalů. U separačních postupů na principu filtrace se používají nejen česle, mikrosíta a mikrofiltry ale i polopropustné membrány, propouštějící vedle molekul vody jen částice určité velikosti, příp. elektrického náboje, což vyžaduje použití vyšších tlaků.

Proces	velikost zachycených částic	tlakový rozdíl
mikrofiltrace	> 0,1 mm	100-400kPa
ultrafiltrace	10-100 nm	500-1000kPa
nanofiltrace	1 -10 nm	2 - 4 MPa
reverzní osmóza	0,1 -1 nm	3 - 6 MPa

Z uvedené tabulky je zřejmé, že ultrafiltrací lze zachytit částice velikosti koloidů, reverzní osmózou i látky rozpuštěné. Používá se i filtrace ve filtrační vrstvě, např. pískové filtry, zachycující částice velikosti řádově jako při mikrofiltraci.

U separačních postupů založených na rozdílné hustotě vody a částic se vedle sedimentace uplatňuje i flotace, při níž jsou částice vynášeny k hladině buď proto, že jejich hustota je menší než hustota vody, nebo proto, že jsou nadlehčovány mikrobublínkami plynu.

Při čištění průmyslových odpadních vod nachází uplatnění i čiření, o němž bylo pojednáno v kap. 4. Oproti úpravě pitných vod jsou však při čištění vod odpadních dávky koagulantů výrazně vyšší. Dále jsou používány metody adsorpce, stripování (vyhnání těkavých látek proudem plynu), extrakce, iontové výměny. Pro úpravu pH se používá neutralizace. Některé látky (těžké kovy) lze odstranit z vody vysrážením a následnou separací suspenze), jiné (kyanidy) rozložením oxidačními látkami, např. chlorem. U vysoce koncentrovaných odpadních vod je vhodné jejich termické zpracování (odpaření, spalení).

Požadavky kladené na čištění průmyslové odpadní vody se značně liší mimo jiné i podle toho, zda je vyčištěná voda vypouštěna do vodního recipientu nebo do veřejné kanalizace, kde je dočištěna v městské ČOV.

3 MECHANICKÉ ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

Pod pojmem mechanické čištění městské odpadní vody se rozumí separace v ní obsažených suspendovaných látek sedimentací. Sedimentační proces, při němž se využívá tíhového zrychlení působícího na suspendované částice se však používá pro oddělení suspenzí při úpravě vody na pitnou a také při čištění průmyslových odpadních vod.

Rychlost usazování částic je určena jejich velikostí, tvarem a hustotou a také hustotou a viskozitou kapaliny.

Při usazování se rozlišuje:

- prostá sedimentace, při níž si částice uchovávají svůj individuální charakter a vzájemně se při tomto procesu neovlivňují.
- Rušená sedimentace, při které si částice zachovávají svůj individuální charakter, ale rychlost jejich pohybu je vzájemně ovlivněna. K tomuto jevu dochází při koncentraci suspenze nad 0,5 %.
- Zahušťování suspenze. Zvyšuje-li se nadále koncentrace suspenze, vytváří se při její sedimentaci rozhraní mezi její kapalnou fází a vrstvou zahuštěné suspenze (kalem). Částice ztrácejí individuální charakter a vytvářejí v podstatě pórovitou vrstvu, která svým pohybem ve směru tíhového zrychlené vylučuje kapalnou fází a tím se zahušťuje. U biologických kalů (aktivovaného) dochází k tomuto jevu při koncentracích 0,5 až 5 kg.m⁻³, u kalů anorganických při koncentracích podstatně vyšších (nad 50 kg.m⁻³).

Při sedimentaci suspenzí se v technologii vody rozlišují:

- kal zrnitý, u kterého jednotlivé částice nemění během sedimentace svoji vlastnost a tvar.
- kal vločkovitý, který během usazování podléhá ortokinetické koagulaci a tím mění svůj charakter.

K prvnímu typu patří písek a primární čistírenský kal, ke druhému kal biologický a kal vznikající při koagulačním procesu úpravy vody.

3.1 Lapáky písku

Odstranění písku z odpadní vody je na ČOV prováděno v lapáku písku, který je zpravidla nedílnou součástí hrubého předčištění. Jeho principem je snížení průtočné rychlosti, při čemž se vytvoří podmínky pro sedimentaci pískových částic. Lapák písku má zachytit písek o velikosti zrn větší než 0,2 mm, jejichž usazovací rychlost je pro křemenný písek o hustotě $\rho = 2,6 \text{ g.cm}^{-3}$ cca 80 m.h^{-1} . Průtočná rychlost v lapáku však nesmí klesnout natolik, aby docházelo k usazování kalových částic s vysokým organickým podílem.

Podle směru průtoku se rozlišují lapáky písku s horizontálním a vertikálním průtokem a s příčnou cirkulací.

Horizontální lapák písku je v podstatě žlab, obvykle obdélného profilu se skoseným dnem. Optimální průtočná rychlost je u něj $0,3 \text{ m.s}^{-1}$ (bývá $0,15$ až $0,45 \text{ m.s}^{-1}$). Doba zdržení vody v lapači nemá klesnout pod 30 s (při maximálním průtoku). Konstantní průtočné rychlosti se u něj dosáhne pomocí kontrolního přelivu umístěného za lapačem. Tento zmenšuje průtočný profil, vzdouvá vodu ve žlabu a vyrovnává průtočnou rychlost.

U vertikálních lapáků písku musí být vzestupná rychlost vody menší než usazovací rychlost částic, které mají být zachyceny. Hloubka účinného prostoru lapáku se volí kolem 3 m, doba zdržení vody nemá klesnout pod 30 s.

Mezi lapače s příčnou cirkulací patří vírový a provzdušňovaný lapák písku. Vírový lapák je vertikálně postavený válec s kuželovým dnem, do něhož tangenciálně vtéká odpadní voda. Písek se při vířivém pohybu vody shromažďuje na dně ve středu lapáku, kde je umístěna jímka. Provzdušňovaný lapák písku je žlab, u jehož jedné stěny je přiváděn vzduch pod hladinu, který vytváří cirkulační pohyb v říčním profilu. Písek se usazuje na dně, kde je klidová zóna. Lapák se navrhuje tak, aby pro $Q_{\max}$ byla doba zdržení 5 až 6 minut a podélná složka rychlosti cca $0,1 \text{ m.s}^{-1}$. Písek je z lapáků těžen obvykle mamutovým čerpadlem nebo u malých zařízení i ručně.

3.2 Usazovací nádrže

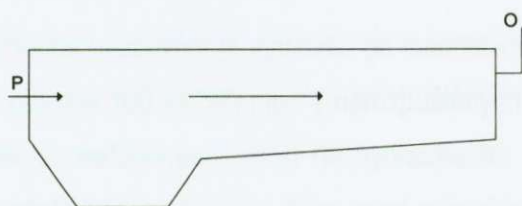
Pro zachycení usaditelných látek slouží ve vodárenství i při čištění odpadních vod usazovací nádrže.

Dle směru průtoku a tvaru se rozlišují usazovací nádrže:

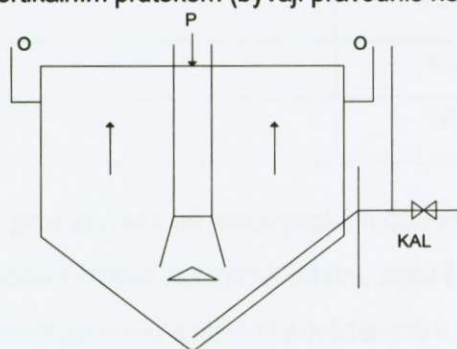
- a) pravoúhlé s horizontálním průtokem



- b) kruhové s horizontálním průtokem



- c) s vertikálním průtokem (bývají pravoúhlé nebo kruhové)



U kruhové horizontální nádrže je suspenze přiváděna do uklidňovacího válce v jejím středu (zpravidla dutým sloupem, který nese konstrukci stěracího zařízení) odkud postupuje k obvodu, kde je umístěn přepadový žlab pro odvádění vody zbavené usaditelných látek. Kal je na dně shrnován

do středu nádrže stěrácím zařízením, odkud je odváděn potrubím. Pravoúhlé nádrže s horizontálním průtokem jsou obdélníkového tvaru. Voda jimi protéká po délce, při čemž vtokový a odtokový objekt jsou zpravidla na opačných koncích podélné nádrže. Kal je stírán do jímky umístěné u vtokového objektu a odtud odváděn potrubím. U vertikálních nádrží je suspenze přiváděna středovou troubou ke spodnímu horizontu usazovacího prostoru, odkud postupuje směrem vzhůru do sběrných žlabů. Kal se shromažďuje v kónickém kalovém prostoru pod prostorem usazovacím a je odváděn ze dna nádrže potrubím, působením hydrostatického přetlaku. Tyto nádrže nebývají vybaveny stírácím zařízením, sklon stěn však musí být cca 2:1, aby kal po nich klouzal ke dnu. Nádrže s vertikálním průtokem se navrhují většinou pro malé ČOV jako nádrže dosazovací.

Usazovací nádrže je třeba řešit tak, aby v nich nedocházelo k vytváření zkratových proudů. Proudění v usazovacím prostoru má být laminární. Kalový prostor musí být dostatečně velký pro zahuštění a akumulaci kalu.

Hlavními technologickými parametry usazovacích nádrží je doba zdržení a povrchové hydraulické zatížení.

Proces usazování je využíván při mechanickém čištění odpadních vod. Městské odpadní vody obsahují obvykle 100 až 300 mg.l⁻¹ nerozpuštěných látek, z nichž je 73 % usaditelných. Množství látek odstraněných sedimentací závisí na hydraulickém zatížení nádrže. U městských odpadních vod se počítá s následujícími čistícími účinnostmi v závislosti na střední době zdržení (pro výpočtový průtok odpadních vod):

ukazatel	0,5-1,0 h	1,0-1,5 h	>1,5h
NL	45,5 %	50,9 %	58,2 %
BSK ₅	16,7 %	25,0 %	33,3 %

Kal produkovaný při mechanickém čištění městské odp. vody se nazývá primární. Následuje-li po mechanickém čištění biologické čištění, bývá často přebytečný biologický kal čerpán před usazovací nádrž, sedimentuje spolu s látkami přiváděnými v odpadní vodě a je zpracován jako surový směsný kal. Primární usazovací nádrže bývají vybaveny vedle stíracího zařízení dna pro odstranění kalu i stíráním hladiny, neboť v přiváděné vodě jsou obsaženy i látky plovoucí. Kal odpadající ze stírané hladiny je zpracován spolu s kalem sedimentovaným.

Návrhové parametry usazovacích nádrží pro mechanické čištění městských odpadních vod jsou dle ČSN 75 6401 následující:

usazovací nádrž	střední doba zdržení - hodin		plošné zatížení - $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$	
	pro Q-výpočtový	pro Q-max	pro Q-výpočtový	pro Q-max
před aktivací	1,0 - 3,0	0,5	1,0 - 2,8	5,0
před zkr. kolonou	2,0 - 4,0	1,0	0,7 - 1,4	2,5

Výpočtovým průtokem se rozumí denní průtokové množství při respektování koeficientu denní nerovnoměrnosti.

Zvláštním typem usazovacích nádrží jsou šterbinové usazovací nádrže (Emšerské studny). Jsou to nádrže, sestávající ze dvou prostorů oddělených mezidnem. V horním, usazovacím prostoru, dochází při průtoku odpadní vody k jejímu mechanickému čištění sedimentací. Mezidno tvoří šikmé stěny, mezi nimiž je šterbina, kterou propadá usazený kal do spodního, vyhřívacího prostoru, kde dochází při dostatečné době zdržení k anaerobní stabilizaci kalu. Vyhřívací prostor je částečně vyhříván protékající odpadní vodou, což je pro stabilizační proces kalu příznivé. Šterbinové nádrže byly navrhovány jako samostatné čistící zařízení pro mechanické čištění odpadních vod z malých zdrojů, často také v kombinaci s aerobními kolonami, zařazenými za nimi jako biologický stupeň.

3.3 Dosazovací nádrže

Usazovací nádrže sloužící k oddělení biologického kalu sedimentací (viz. biologické čištění) se nazývají nádrže dosazovací. Jsou zpravidla nedílnou součástí biologických čistíren s aktivací nebo se zkrápěnými kolonami. Poněvadž biologický kal má vločkovitý charakter, je oproti zrnitému kalu více zvýrazněn význam parametru doby zdržení.

Navrhované parametry dosazovacích nádrží jsou dle ČSN 75 6401 stanoveny pro maximální průtoky následovně:

průtok	střední doba zdržení - hodin		plošné zatížení - $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$	
	horizontální	vertikální	horizontální	vertikální
za aktivací	1,8	1,6	1,6	2,0
za zkr. kolonami	1,6	1,2	2,0	2,5

Je-li recirkulát zkrápěné kolony přiváděn přes usazovací nádrž, vyrovnává se přítok na kolonu na stálou hodnotu, obvykle tak, že doba zdržení v dosazovací nádrži je 1,5 h.

Při výpočtu hydraulického zatížení dosazovacích nádrží za aktivací se nepočítá s vratným aktivovaným kalem, který je průběžně odváděn ze dna dosazovací nádrže. Kal ze dna dosazovacích nádrží s horizontálním průtokem je buď mechanicky stírán (jako u primárních usazovacích nádrží) nebo odsáván.

Dosazovací nádrže za aktivací je třeba posuzovat i z hlediska zahušťovací účinnosti, která je určena vedle kvality kalu zatížením plochy hladiny dosazovací nádrže nerozpuštěnými látkami, které by nemělo překročit při maximálním průtoku hodnotu $6,0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$.

Dosazovací nádrže obvykle nebývají, oproti usazovacím nádržím, vybaveny stíráním hladiny. Účelné je však zabudování normé stěny před přelivnou hranou žlabů odvádějících vyčištěnou odp. vodu. Tímto opatřením se sníží únik vloček biologického kalu do odtoku. Usazovací nádrže primární sedimentace jsou takto vybaveny vždy. Hloubka vody v dosazovací nádrži s horizontálním průtokem má být nejméně 3 m pod přelivnou hranou odtoku.

4 BIOLOGICKÉ ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

Důležitým faktorem biochemických přeměn probíhajících v přírodě a využívaných i při biologických způsobech čištění odpadních vod jsou mikroorganismy, především bakterie. Pro pochopení těchto dějů je potřebné znát vzájemně související zákonitosti jejich růstu a rozmnožování. Jednobuněčné organismy se množí dělením, což znamená, že po určité růstové době, zvané generační doba, se mikroorganismus rozdělí na dva samostatné jedince. Generační doba je statistickým průměrem, zjištěným z velkého počtu jedinců.

Při biologickém čištění odpadních vod se jedná především o rozložení organických látek v nich obsažených, z nichž však je biologicky rozložitelná jen jejich určitá část. Nositelem procesu jsou mikroorganismy, především bakterie, pro něž je organická hmota substrátem, jehož rozkladem metabolickými procesy za účasti extracelulárních a intracelulárních enzymů získávají energii a látky potřebné k syntéze své biomasy (růstu). Část biogenních prvků (prvky potřebné ke stavbě buněčné hmoty) získávají i z látek anorganických. V biologických čistírenských systémech se jedná vždy o směsnou mikrobiální kulturu s větší či menší pestrostí druhů. Vedle rozkladu organické hmoty, charakteristické pro metabolismus chemoorganotrofních organismů se v biologických systémech uplatňují i procesy spojené s přeměnou anorganických sloučenin, charakteristické pro lithotrofní (autotrofní) organismy.

V zásadě se rozlišují procesy aerobní, probíhající v přítomnosti molekulárního kyslíku a procesy anaerobní, probíhající v jeho nepřítomnosti. Jiným kritériem je redox potenciál prostředí, který má v anaerobním prostředí hodnotu pod - 50 mV a v aerobním prostředí je větší než + 50 mV. Prostor v němž chybí kyslík, ale jsou přítomny dusičnany, resp. dusitany se nazývá anoxické (redox potenciál od -50 do + 50 mV).

Bilance energie v aerobních a anaerobních procesech:

Rozdělení energie získané metabolickým procesem:

	spotřeba na syntézu biomasy	ztráta ve formě tepla	energie v bioplynu
aerobní proces	60 %	40 %	-
anaerobní proces	5 - 7 %	3 - 5 %	90 %

Bilance uhlíku ze substrátu při jeho úplném rozkladu:

	přeměněno na biomasu	přeměněno jiným způsobem
aerobní proces	50 %	50 % na CO ₂
anaerobní proces	5 %	95 % na CH ₄ + CO ₂

4.1 Biologické čištění v aerobních podmínkách

V aerobních podmínkách se jedná o oxidační rozklad organických sloučenin molekulárním kyslíkem (aerobní respiraci), při čemž energie tímto procesem uvolněná je prostřednictvím enzymového systému využita mikroorganismy, tento děj podmiňujících. Konečným produktem oxidace organických látek je CO_2 . Akceptorem (příjemcem) elektronů v tomto ději uvolňovaných je molekulární kyslík, který je redukován na vodu.

Aerobní mikroorganismy rozkládají organické látky působením svých enzymů oxidačními procesy, při čemž využívají k této oxidaci molekulární kyslík (exogenní metabolismus). Konečnými produkty tohoto složitého procesu, kterým získávají energii, jsou CO_2 , H_2O a ze substrátu obsahujícího dusík zpravidla amoniak. Poněvadž produkty rozkladu jsou anorganické látky, jedná se v podstatě o mineralizaci organické hmoty. K syntéze své buněčné hmoty potřebují mikroorganismy biogenní prvky, které získávají z vnějšího prostředí, mimo jiné i z rozloženého organického substrátu. Z makrobiogenních prvků (potřebných v relativně velkém množství) C.H.O.N.P.S aj. bývá při čištění průmyslových odpadních vod někdy deficitní N a P. Syntetickými pochody (asimilací) se tvoří organická hmota: a) pro nové buňky, b) zásobní látky mikroorganismů. Při nedostatku exogenního substrátu získávají mikroorganismy energii především procesem tzv. endogenního metabolismu. Průběh obou procesů není však přesně oddělen, endogenní metabolismus probíhá i v přítomnosti substrátu.

Při biologickém čištění odpadní vody v aerobních podmínkách musí být výše uvedené základní podmínky splněny. Organická hmota jako substrát bývá k dispozici v odpadní vodě, stejně jako biogenní prvky, jejichž případný deficit (v průmyslové odpadní vodě) musí být dotován. Zajištění dostatečného přívodu kyslíku je základní podmínkou pro aerobní proces. Mikroorganismy v potřebném množství v biologické jednotce musí být vypěstovány jejím zapracováním, při čemž se vychází z jejich přítomnosti ve splaškové vodě. Při čištění samotných průmyslových vod je často nutné naočkování biologické jednotky biologickým kalem z jednotky již provozované. Pokud se jedná o specifický substrát (např. s obsahem fenolů), je nutné zapracování biomasy na tento substrát s postupným zvyšováním jeho přiváděného množství do reaktoru

Způsoby aerobního čištění odpadních vod se rozdělují na přirozené, simulující přírodní podmínky a na umělé, probíhající v reaktorech. Umělé způsoby čištění lze rozdělit na procesy s biomasou ve vzhledu, nazývané aktivací a na procesy s biomasou přisedlou, mezi nimiž mají dominantní postavení zkrápěné biologické kolony a rotační diskové reaktory.

Biologické čištění může být samostatnou čistírenskou jednotkou, po event. hrubém předčištění. Při čištění odpadních vod obsahujících suspendované látky a u čistíren, ve kterých není přebytečný biologický kal stabilizován přímo v aerobní biologické jednotce, je vhodné předřadit biologickému čištění usazovací nádrž. U odpadních vod s vysokou koncentrací organického znečištění, což přichází v úvahu u některých typů průmyslových odpadních vod, je účelné zařadit jako první stupeň anaerobní biologickou jednotku a odtok z ní dočistit aerobním způsobem (pokud není vypuštěn do veřejné kanalizace s městskou ČOV).

Pro posouzení provozu biologické aerobní jednotky jsou výchozími podklady průtokové množství odpadní vody a její kvalita na vstupu a výstupu z této jednotky. U aerobních procesů je základním kritériem pro hodnocení koncentrace organických látek (biologicky rozložitelných) v odpadní vodě BSK₅. Sleduje se však i koncentrace CHSK, NL, dusíku a jeho forem, fosforu a dalších látek podle charakteru čištěné odpadní vody. Z koncentrací na vstupu a odtoku z ČOV, nebo z některého jejího stupně, se hodnotí čistící účinnost, tj. procentický podíl odstranění hodnocené látky.

4.1.1 Způsoby aerace

4.1.1.1 Pneumatická aerace

Při tomto způsobu aerace se vzduch rozptyluje do vody různými aeračními elementy. Podle velikosti průměru vzduchových bublin (d) se rozlišuje aerace jemnobublinná ($d = 1$ až 4 mm), středobublinná ($d = 4$ až 10 mm) a hrubobublinná ($d > 10$ mm). Velikost otvorů v elementech je menší než průměr bublin. Tyto elementy jsou umístěny na dně aktivační nádrže, jejichž hloubka bývá 4 až 5 m. Je omezena tlakem dmychadel cca 6 m v.s. (60 kPa). Při použití ventilátorů je ponor aeračních elementů podstatně menší - cca 1 m, což je dáno přetlakem vzduchu dodávaného z uvedeného zařízení, jehož je však podstatně větší množství na jednotku příkonu elektrické energie. V tomto případě nejsou aerační elementy umístěny na dně aktivační nádrže.

Při použití dmychadel pro středobublinnou aeraci bývají aerační elementy obvykle ve tvaru děrovaných trubek nebo roštů s otvory o průměru 4 až 5 mm, umístěny na dně pravoúhlé aktivační nádrže po jedné její straně. Voda se tak dostává v příčném profilu nádrže do rotace, při čemž vzestupná část je shodná s pohybem vzduchových bublin, jejichž doba styku s vodou se tak snižuje, což je z hlediska využitelnosti kyslíku nevýhodné. Některé aerační systémy jsou navrhovány s cílem prodloužit dráhu vzduchových bublin ve vodě tím, že vzestupná složka dráhy bublin se skládá s horizontální složkou, která se vytvoří pohybem vody v tomto směru, nebo pohybem aerátoru. V prvním případě je

vytvořen horizontální pohyb kapaliny mechanickým aerátorem (pomaluběžná vrtule), před nímž je umístěn na dně aerační element pneumatická aerace. Ve druhém případě se aerační element pohybuje nade dnem aktivační nádrže, která stejně jako v prvním případě, má obvykle tvar oběhové aktivace, např. mezikruží kruhové nádrže, v jejímž středu může být umístěna dosazovací nádrž. Dráha bublin není u těchto systémů svislá, ale zaujímá vůči svislici určitý úhel daný horizontální složkou rychlosti.

V poslední době se stále více prosazuje jemnobublinná aerace, u níž tvoří aerační elementy trubky nebo disky z keramického nebo častěji z plastového pórovitého materiálu, ale i desky z pružné umělé hmoty děrované laserem, příp. v jednoduchém provedení návleky z umělohmotných tkanin na děrované trubky. Umístění jemnobublinných aeračních elementů bývá nejčastěji na dně nádrží hloubky alespoň 4 m, a to většinou celoplošně, někdy však po jedné straně nádrže. U těchto elementů je důležitým parametrem odpor vůči proudícímu vzduchu, který není u dobrých výrobků při provozních podmínkách větší než 200 až 300 mm v.s.

Procentické využití kyslíku z dmýchaného vzduchu bývá na 1 m hloubky nádrže u středobublinné aerace při koncentraci O_2 1 až 2 mg.l⁻¹ cca 1 %, u jemnobublinné aerace 3 % i více. Např. při jemnobublinné aeraci aktivační nádrže o hloubce vodního sloupce 5 m je možno počítat s využitím kyslíku kolem 15 %.

4.1.1.2 Mechanická aerace

Mechanická aerace je zajišťována povrchovými aerátory, které se otáčejí v aerované kapalině a vytvářejí při turbulenci celého objemu i disperzi vodních částic v okolí aerátoru, čímž je zajištěn přestup O_2 ze vzduchu do vody. Dělí se podle polohy hnací hřídele na aerátory s horizontální osou, tzv. aerační válce, a s osou vertikální, neboli aerační turbíny. Oxygenační kapacita tohoto aeračního systému závisí na tvaru aerátoru, jeho ponoru ve vodě a rychlosti otáček.

Výhoda mechanických aerátoru oproti pneumatické aeraci spočívá v jejich jednodušší konstrukci. Nevýhodou bývá naproti tomu tvorba aerosolů z odpadní vody, čímž se zvyšuje riziko hygienického ohrožení. K omezení tohoto jevu bývají aerátory opatřovány kryty. Další nevýhodou mechanických aerátoru je vznik ledové námrazy na zařízení v zimním období, což lze alespoň částečně eliminovat vhodnou úpravou, příp. lokálním vyhříváním. Pneumatická aerace je v tomto ohledu příznivější, neboť dmýchaný vzduch v zimním období aktivační směs otepluje.

4.1.1.3 Hydropneumatická aerace

Princip spočívá v nasávání vzduchu ejektorem umístěným na výtlačném potrubí čerpadla, kterým je směs v aktivační nádrži cirkulována (princip vodní vývěvy). Tento způsob se užívá výhradně u malých ČOV.

4.1.1.4 Kombinovaná aerace

Při tomto způsobu aerace je kombinován mechanický účinek promíchávání nádrže s přívodem stlačeného vzduchu. V jednom takovém uspořádání je např. do výtlačného potrubí čerpadla, které uvádí směs v aktivační nádrži do pohybu, přiváděn tryskou dmýchaný vzduch.

U aeračních systémů se hodnotí vždy jejich energetická náročnost, neboť spotřeba elektrické energie na aeraci aktivačních nádrží tvoří významný podíl z celkové spotřeby na ČOV.

U moderních aeračních systémů je regulován přívod vzduchu do aktivace podle skutečné koncentrace rozpuštěného kyslíku v aerované směsi, což vyžaduje měřicí a regulační zařízení, jímž se předávají povely aeračnímu zařízení, které na ně automaticky reaguje - u dmychadel změnou otáček rotoru nebo nastavením lopatek dmyhadla.

4.1.2 Aktivace

Princip biologického čištění aktivací spočívá ve vytvoření aktivovaného kalu v provzdušňované aktivační nádrži. Aktivovaný kal je shlukem mikroorganismů, většinou bakterií, agregovaných tzv. bioflokulací. Příčinou tohoto shlukování bakteriálních jedinců je zbytnění jejich buněčné blány tvorbou extracelulárních polymerů, složených převážně z polysacharidů, částečně i z bílkovin a dalších organických látek. K bioflokulaci dochází při provzdušňování odpadní vody obsahující aerobní bakterie. Hmotnostní podíl uvedených polymerů ve směsné kultuře roste od cca 1 % do 6 % s růstem stáří kalu od 1 do 5 dnů. S dalším zvyšováním stáří se již jejich podíl téměř nemění. Extracelulární polymery působí jako organické flokulanty. Pro tuto jejich vlastnost dochází ke shlukování bakterií do vloček aktivovaného kalu, při jejichž tvorbě hraje roli i snížení elektrického náboje na jejich povrchu. Aktivovaný kal je směsnou bakteriální kulturou, obsahující příp. i jiné organizmy jako např. houby, plísňe, kvasinky, prvoky aj., ale také z vody adsorbované suspendované a koloidní látky.

V základním uspořádání sestává aktivace zaerované nádrže (reaktoru), v níž dochází k procesu čištění odpadní vody za současné produkce aktivovaného kalu. Z aktivační nádrže odtéká směs

odpadní vody a aktivovaného kalu do dosazovací nádrže, v níž se obě tyto složky oddělí sedimentací. Vyčištěná odpadní voda odtéká z biologické čistírny, kdežto sedimentací zahuštěný aktivovaný kal je vrácen do aktivační nádrže, v níž je udržována jeho dostatečná koncentrace, neboť je nositelem čistícího procesu a základním předpokladem pro jeho uspokojivou rychlost. Objemový podíl recirkulovaného kalu bývá 30 až 50 %, někdy je však i podstatně větší. Přebytek aktivovaného kalu, neboť tento se průběžně stále tvoří, je odváděn ze systému jako kal přebytečný.

Aerobní bakterie potřebují ke svému metabolismu kyslík (v anoxických podmínkách jej nahrazují dusičnany a dusitany), který musí být do aktivační nádrže průběžně přiváděn, obvykle jejím provzdušňováním. Jen výjimečně jsou navrhovány aktivační čistírny s přívodem samotného kyslíku. Aeraci se současně udržuje aktivační směs ve vznosu. Při unášecí rychlosti větší než $0,3 \text{ m.s}^{-1}$ nedochází k usazování kalu a tím k omezení jeho styku s odpadní vodou. Důsledkem nedostatečného provzdušňování je vyčerpání rozpuštěného kyslíku. Jestli je tento stav dlouhodobý, nastane odumírání aerobních bakterií a vytvoří se anaerobní podmínky, při nichž probíhají rozkladné procesy pomaleji a čistící aerobní proces se zhroutí.

Hlavním účelem biologického čištění je odstranění organických látek z odpadní vody, které je uskutečněno působením mikroorganismů a je výsledkem jejich metabolické činnosti za účasti jimi produkováných extracelulárních a intracelulárních enzymů. Tento biochemický proces je provázen, nebo jemu předchází proces adsorpce suspendovaných a koloidních látek z odpadní vody na velice aktivní povrch biomasy aktivovaného kalu nebo u biofilmových reaktorů na povrch biofilmu. Může se jednat o látky biologicky rozložitelné nebo biologicky více či méně resistantní, jako např. uhlovodíky nebo těžké kovy (kovy jsou přijímány i buňkami organismů), které se tímto způsobem z odpadní vody odstraní. Vedle výše uvedených procesů se za vhodných podmínek mohou uplatnit v průběhu aerobního biologického čištění i další, jako je mikrobiální oxidace amoniaku na dusičnany (nitrifikace) aj.

4.1.3 Aerobní biofilmové reaktory

Princip aerobního biologického čištění odpadních vod v biofilmových reaktorech je v podstatě shodný s čištěním aktivací, neboť se při něm uplatňují všechny tři základní faktory tohoto procesu, tj. aerobní mikroorganismy (především bakterie), kyslík a organická hmota, která je rozkládána mineralizačními pochody. Rozdíl oproti aktivaci spočívá v tom, že mikroorganismy směsné kultury nejsou ve vločkách vznášejících se v aerovane nádrži, ale jsou přisedlé na pevném podkladě (nosiči),

na němž vytvářejí biologickou blánu (biofilm). Vedle mikrobiálního rozkladu organických látek a jiných mikrobiálních dějů (např. nitrifikace) se nepochybně uplatňují i děje sorpční.

Nosičem biofilmu je materiál z PVC, polyetylénu, polypropylenu aj., který svými vlastnostmi proces neovlivňuje. Biofilm není v celé své vrstvě homogenním materiálem, ale je stříatifikován. Vrstva, která je ve styku s vodným prostředím je oxická, směrem k nosiči však koncentrace kyslíku ubývá a pokud není jeho transport z vodné vrstvy dostatečně rychlý ve srovnání s jeho spotřebou mikrobiálními procesy, vytváří se vrstva anoxická a anaerobní. Mezi biofilmem a proudící vodou se vytváří stagnantní kapalinový film, v němž existuje koncentrační spád mezi látkami ve vodě a v biofilmu. V reaktorech s vysokou turbulencí lze však jeho existenci zanedbat.

Rozdělení biofilmových reaktorů

- Zkrápěné biologické kolony (biofiltry) - nosičem biofilmu je náplň kolony, zkrápěná odpadní vodou. V mezerách nosiče proudí vzduch přirozeným tahem nebo nuceně.
- Ponořené biologické kolony - kolonou s náplní (buď pevnou nebo ve vznosu) protéká zdola nahoru odpadní voda. Aerace je nucená.
- Rotační biofilmové reaktory - nosičem jsou disky (rotační diskové reaktory RDR) nebo klece, které se pomalu otáčejí v korytě s odpadní vodou, do níž jsou částečně ponořeny. K aeraci dochází ve styku nosiče se vzduchem, kterému je při otáčivém pohybu střídavě vystaveny.
- Reaktory kombinované - jedná se o reaktory s biomasou ve vznosu (aktivaci) do níž jsou ponořeny pevné nosiče nebo se vznášejí spolu s aktivovaným kalem. Ideou tohoto systému je vytvoření zvýšené koncentrace biomasy v aktivačním reaktoru bez současného přetěžování dosazovací nádrže. Přisedlá biomasa však musí být dostatečně aerována.

Z biofilmových reaktorů jsou nejběžnější zkrápěné kolony a diskové rotační reaktory.

4.1.4 Přirozené způsoby biologického čištění

Přirozené způsoby čištění odpadních vod využívají přírodních samočisticích procesů. Objekty jsou v přírodním areálu prostorově vhodně začleněny tak, aby jejich vliv na okolní prostředí byl minimální. Oproti umělým způsobům čištění se u nich neuplatňuje intenzifikace procesů nebo se uplatňuje pouze v omezené míře. K přírodním způsobům čištění patří stabilizační nádrže a kořenové čistírny. V obou případech se požaduje předchozí hrubé předčištění a dokonalé mechanické čištění, pro které lze s výhodou použít štěrbínové nádrže.

Výhodou stabilizačních nádrží a kořenových čistíren je jednoduchý provoz, nízké provozní náklady a možnost čištění i velice naředěných odpadních vod. Nevýhodou jsou velké nároky na plochu, což prakticky vylučuje jejich použití tam, kde jejich výstavba vyžaduje zábor zemědělské půdy. Používají se proto hlavně pro čištění odpadních vod z malých zdrojů. Stabilizační nádrže se mohou uplatnit pro dočišťování biologicky čištěné odpadní vody i u zdrojů větších podle místních podmínek.

4.2 Anaerobní procesy

Mikrobiální rozklad organických látek za anaerobních podmínek, tj. v nepřítomnosti molekulárního kyslíku a dusičnanů, probíhá v přírodě všude tam, kde byl vyčerpán O_2 z prostředí. K takovým podmínkám dochází zejména v místech, kde spotřeba kyslíku aerobními mikrobiálními procesy nestačí být kompenzována jeho přívodem ze vzduchu. Anaerobní podmínky se vytvářejí zpravidla na dně vodních nádrží, ale i ve vodních recipientech přetěžovaných přívodem odpadní vody s vysokým organickým znečištěním.

Je-li substrátem anaerobního procesu bezdusíkatá látka (sacharid), nazývá se proces kvašením, je-li součástí substrátu látka dusíkatá (bílkovina), nazývá se proces hnitím. Konečným produktem anaerobních rozkladných procesů, probíhajících přes řadu mezistupňů, je CH_4 , CO_2 , NH_3 a H_2S . Řízený anaerobní proces, při kterém je produkován methan se nazývá methanizací.

Při anaerobním mikrobiálním rozkladu organické hmoty jsou elektrony uvolněné tímto dějem, zvaným anaerobní fermentace, přenášeny na některý z meziproduktů buněčného metabolismu nebo na ionty H^+ . Jsou-li akceptorem elektronů anionty NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , nazývá se děj anaerobní respirací. Konečným produktem rozkladu organických látek v anaerobních podmínkách směsnou mikrobiální kulturou je methan a oxid uhličitý, uvolňované (CO_2 částečně) jako bioplyn.

Mikrobiální tvorba methanu probíhá v rozmezí teplot od $4\text{ }^\circ\text{C}$ do $97\text{ }^\circ\text{C}$. Pro čisté kultury je optimum teploty, odvozené od rychlosti produkce methanu, závislé na bakteriálním druhu.

U směsných kultur, které se uplatňují v anaerobních reaktorech, lze pozorovat nejméně do teploty $50\text{ }^\circ\text{C}$ s jejím růstem zvyšování rychlosti rozkladu organické hmoty, což lze vysledovat i z produkce bioplynu. Tento nárůst je zřejmě plynulý. V různých teplotních oblastech se však zřejmě uplatňuje různé druhové zastoupení, zejména methanogenů. Nepříznivě se na průběh procesu projevují náhlé změny teploty. Zvláště její prudký pokles má negativní vliv. Změny teploty se projevují tím nepříznivěji, čím je kratší doba zdržení a menší koncentrace biomasy v reaktoru - neboli čím je menší stáří kalu.

Výhody anaerobního procesu:

- 1) Nízká spotřeba energie (není vynakládána na aeraci, naopak produkuje se energeticky cenný bioplyn).

- 2) Nižší produkce biomasy (cca 10 krát), není nutná stabilizace kalu.
- 3) Nízké požadavky na živiny (oproti aerobnímu procesu nižší ve stejném poměru jako je produkce biomasy).
- 4) Možnost udržení vysoké koncentrace biomasy v reaktoru (není limitována rychlostí přestupu kyslíku).

Nevýhody anaerobního procesu:

- 1) Menší reakční rychlost (z toho vyplývá potřeba většího objemu reaktoru).
- 2) Vyšší zbytková koncentrace organických látek v odtoku (většinou je nutné dočištění odpadní vody v aerobním stupni).
- 3) Citlivost methanogenních bakterií vůči vnějším podmínkám (výrazný vliv teploty na rychlost procesu aj.).
- 4) Dlouhá doba zpracování procesu (vyplývá z nižší růstové rychlosti anaerobů).

Zvýše uvedeného vyplývá, že anaerobní procesy jsou vhodné pro stabilizaci čistírenských kalů a pro čištění odpadních vod s vysokou koncentrací organického znečištění. Za ekonomickou hranici použitelnosti anaerobního procesu bývá považována koncentrace znečištění dle CHSK kolem 2000 mg. l⁻¹ a vyšší.

4.2.1 Anaerobní čištění odpadních vod

Řízené anaerobní procesy lze s výhodou využít pro čištění odpadních vod a pro stabilizaci kalů, to je pro zpracování substrátů s vysokou koncentrací organických látek. Proces je realizován v anaerobním reaktoru. Anaerobní mikroorganizmy, podílející se na rozkladném procesu mohou být v reaktoru přítomny jednak jako volní jedinci, kteří však nemají pro kultivaci biomasy podstatný význam, neboť jsou ze systému vyplavovány, jednak přisedlé jako biofilm na pevném podkladu nebo v suspenzi.

4.2.2 Anaerobní reaktory

Anaerobní reaktory se používají pro čištění koncentrovaných odpadních vod. Spodní hranice pro ekonomický provoz bývá udávána hodnotou CHSK kolem 2000 mg.l⁻¹. Objemové zatížení reaktoru bývá v jednotkách kg.m⁻³.d⁻¹ (CHSK), u vysoko zatížených systémů v desítkách kg.m⁻³.d⁻¹ (CHSK).

Produkce bioplynu bývá okolo 0,4 až 0,5 m³ na 1 kg odbourané CHSK a jeho využití pro získání tepelné energie, především k vyhřívání reaktoru je vhodné. Převažující složkou bioplynu je methan (obvykle 60 až 75 %), zbytek tvoří CO₂ vedle několika dalších minoritních složek, obsažených proměnlivě podle podmínek provozu (N₂, H₂, H₂S).

Reaktory lze provozovat v mezofilní oblasti teploty, nejlépe při 35 - 40 °C, příp. v termofilní oblasti při 50 - 55 °C, ale i při teplotách nižších u nevyhříváných reaktorů, které jsou však nevýhodné, neboť rychlost rozkladu organické hmoty je v nich snížena a nároky na objem reaktoru značně vzrůstají. V termofilní oblasti jsou rozkladné rychlosti vyšší než v mezofilní, provoz je však méně stabilní, více citlivý vůči změnám teploty i složení substrátu. S klesající teplotou vzrůstá koeficient produkce biomasy, při 55 °C je cca o 50 % nižší než při 35 °C.

4.2.3 Konstrukční řešení reaktorů a jejich použití při čištění odpadních vod

Konstrukčním řešením reaktoru jsou vymezeny podmínky pro možnost:

- docílení požadované koncentrace biomasy v reaktoru
- čištění odpadní vody o požadované kvalitě, určené zejména koncentrací organického znečištění (CHSK) a suspendovaných látek.

Konstrukčním řešením reaktoru jsou dány výchozí podmínky pro hydraulickou charakteristiku reaktoru, která je závislá také na hydraulickém zatížení a na tvorbě biomasy v průběhu čištění. Do jisté míry ji ovlivňuje i produkovaný bioplyn. Hydraulickou charakteristikou jsou anaerobní reaktory podle svého typu blízké více či méně oběma krajním případům - směšovacímu reaktoru a reaktoru s pístovým (postupným) tokem.

Tyto reaktory jsou realizovány nádrží, míchanou cirkulovaným bioplynem (kompresorem) nebo mechanickým míchadlem. Jedná se tedy o systémy směšovací. Rozlišují se reaktory bez recirkulace a s recirkulací biomasy. První případ je běžně užíván při anaerobní stabilizaci kalu. U odpadních vod je použitelný pouze při vysoké koncentraci organického znečištění (CHSK). Minimální doba zdržení fermentovaného media v reaktoru je dána růstovými vlastnostmi mikroflóry.

Při čištění odpadních vod je obvyklý případ druhý, u něhož se kalová suspenze po separaci vody vrací do reaktoru. Tento způsob se nazývá anaerobní aktivace, nebo kontaktní proces (Contact process). Vyznačuje se rozdílnou dobou zdržení odpadní vody a biomasy, což je ovšem charakteristické i pro všechny dále uvedené systémy anaerobních reaktorů. Charakter biomasy je závislý hlavně na složení substrátu a zatížení reaktoru. Proces je zvláště vhodný pro odpadní vody s vysokou koncentrací suspendovaných látek, které také zlepšují sedimentační vlastnosti anaerobní biomasy.

Reaktory s imobilizovanou biomasou - biofilmové reaktory:

Tyto reaktory jsou charakterizovány tím, že biomasa tvoří film, fixovaný (imobilizovaný) na pevném nosiči, který je realizován buď pevnými, nebo pohyblivými vestavbami, příp. vhodnou náplní v reaktoru. Většina z nich se vyznačuje vertikálním průtokem. Tvar reaktorů bývá válcový s vyšším poměrem výšky k průměru, a proto se nazývají také anaerobní kolony. Reaktory s pevnými vestavbami se rozlišují na protékané zdola nahoru a s průtokem opačným.

	průměr (cm)	výška (cm)	objem (l)	typ
1	10	100	0,785	pevný
2	15	150	1,766	pevný
3	20	200	3,142	pevný
4	25	250	4,909	pevný
5	30	300	7,069	pevný
6	35	350	9,621	pevný
7	40	400	12,566	pevný
8	45	450	15,904	pevný
9	50	500	19,635	pevný
10	55	550	23,758	pevný
11	60	600	28,274	pevný
12	65	650	33,183	pevný
13	70	700	38,485	pevný
14	75	750	44,179	pevný
15	80	800	50,265	pevný
16	85	850	56,743	pevný
17	90	900	63,617	pevný
18	95	950	70,888	pevný
19	100	1000	78,540	pevný
20	105	1050	86,573	pevný
21	110	1100	95,033	pevný
22	115	1150	103,919	pevný
23	120	1200	113,266	pevný
24	125	1250	123,073	pevný
25	130	1300	133,341	pevný
26	135	1350	144,069	pevný
27	140	1400	155,257	pevný
28	145	1450	166,905	pevný
29	150	1500	179,023	pevný
30	155	1550	191,611	pevný
31	160	1600	204,669	pevný
32	165	1650	218,207	pevný
33	170	1700	232,225	pevný
34	175	1750	246,723	pevný
35	180	1800	261,701	pevný
36	185	1850	277,159	pevný
37	190	1900	293,097	pevný
38	195	1950	309,515	pevný
39	200	2000	326,423	pevný
40	205	2050	343,821	pevný
41	210	2100	361,709	pevný
42	215	2150	380,087	pevný
43	220	2200	398,955	pevný
44	225	2250	418,313	pevný
45	230	2300	438,161	pevný
46	235	2350	458,509	pevný
47	240	2400	479,357	pevný
48	245	2450	499,705	pevný
49	250	2500	520,553	pevný
50	255	2550	541,901	pevný
51	260	2600	563,749	pevný
52	265	2650	586,097	pevný
53	270	2700	608,945	pevný
54	275	2750	632,293	pevný
55	280	2800	656,141	pevný
56	285	2850	680,489	pevný
57	290	2900	705,337	pevný
58	295	2950	730,685	pevný
59	300	3000	756,533	pevný
60	305	3050	782,881	pevný
61	310	3100	809,729	pevný
62	315	3150	837,077	pevný
63	320	3200	864,925	pevný
64	325	3250	893,273	pevný
65	330	3300	922,121	pevný
66	335	3350	951,469	pevný
67	340	3400	981,317	pevný
68	345	3450	1011,665	pevný
69	350	3500	1042,513	pevný
70	355	3550	1073,861	pevný
71	360	3600	1105,709	pevný
72	365	3650	1138,057	pevný
73	370	3700	1170,905	pevný
74	375	3750	1204,253	pevný
75	380	3800	1238,101	pevný
76	385	3850	1272,449	pevný
77	390	3900	1307,297	pevný
78	395	3950	1342,645	pevný
79	400	4000	1378,493	pevný
80	405	4050	1414,841	pevný
81	410	4100	1451,689	pevný
82	415	4150	1489,037	pevný
83	420	4200	1526,885	pevný
84	425	4250	1565,233	pevný
85	430	4300	1604,081	pevný
86	435	4350	1643,429	pevný
87	440	4400	1683,277	pevný
88	445	4450	1723,625	pevný
89	450	4500	1764,473	pevný
90	455	4550	1805,821	pevný
91	460	4600	1847,669	pevný
92	465	4650	1889,917	pevný
93	470	4700	1932,565	pevný
94	475	4750	1975,713	pevný
95	480	4800	2019,361	pevný
96	485	4850	2063,509	pevný
97	490	4900	2108,157	pevný
98	495	4950	2153,305	pevný
99	500	5000	2198,953	pevný
100	505	5050	2245,101	pevný
101	510	5100	2291,749	pevný
102	515	5150	2338,897	pevný
103	520	5200	2386,545	pevný
104	525	5250	2434,693	pevný
105	530	5300	2483,341	pevný
106	535	5350	2532,489	pevný
107	540	5400	2582,137	pevný
108	545	5450	2632,285	pevný
109	550	5500	2682,933	pevný
110	555	5550	2734,081	pevný
111	560	5600	2785,729	pevný
112	565	5650	2837,877	pevný
113	570	5700	2890,525	pevný
114	575	5750	2943,673	pevný
115	580	5800	2997,321	pevný
116	585	5850	3051,469	pevný
117	590	5900	3106,117	pevný
118	595	5950	3161,265	pevný
119	600	6000	3216,913	pevný
120	605	6050	3273,061	pevný
121	610	6100	3329,709	pevný
122	615	6150	3386,857	pevný
123	620	6200	3444,505	pevný
124	625	6250	3502,653	pevný
125	630	6300	3561,301	pevný
126	635	6350	3620,449	pevný
127	640	6400	3680,097	pevný
128	645	6450	3740,245	pevný
129	650	6500	3800,893	pevný
130	655	6550	3862,041	pevný
131	660	6600	3923,689	pevný
132	665	6650	3985,837	pevný
133	670	6700	4048,485	pevný
134	675	6750	4111,633	pevný
135	680	6800	4175,281	pevný
136	685	6850	4239,429	pevný
137	690	6900	4304,077	pevný
138	695	6950	4369,225	pevný
139	700	7000	4434,873	pevný
140	705	7050	4500,921	pevný
141	710	7100	4567,469	pevný
142	715	7150	4634,517	pevný
143	720	7200	4702,065	pevný
144	725	7250	4770,113	pevný
145	730	7300	4838,661	pevný
146	735	7350	4907,709	pevný
147	740	7400	4977,257	pevný
148	745	7450	5047,305	pevný
149	750	7500	5117,853	pevný
150	755	7550	5188,901	pevný
151	760	7600	5260,449	pevný
152	765	7650	5332,497	pevný
153	770	7700	5405,045	pevný
154	775	7750	5478,093	pevný
155	780	7800	5551,641	pevný
156	785	7850	5625,689	pevný
157	790	7900	5699,237	pevný
158	795	7950	5773,285	pevný
159	800	8000	5847,833	pevný
160	805	8050	5922,881	pevný
161	810	8100	5998,429	pevný
162	815	8150	6074,477	pevný
163	820	8200	6151,025	pevný
164	825	8250	6228,073	pevný
165	830	8300	6305,621	pevný
166	835	8350	6383,669	pevný
167	840	8400	6462,217	pevný
168	845	8450	6541,265	pevný
169	850	8500	6620,813	pevný
170	855	8550	6700,861	pevný
171	860	8600	6781,409	pevný
172	865	8650	6862,457	pevný
173	870	8700	6944,005	pevný
174	875	8750	7026,053	pevný
175	880	8800	7108,601	pevný
176	885	8850	7191,649	pevný
177	890	8900	7275,197	pevný
178	895	8950	7359,245	pevný
179	900	9000	7443,793	pevný
180	905	9050	7528,841	pevný
181	910	9100	7614,389	pevný
182	915	9150	7700,437	pevný
183	920	9200	7786,985	pevný
184	925	9250	7874,033	pevný
185	930	9300	7961,581	pevný
186	935	9350	8049,629	pevný
187	940	9400	8138,177	pevný
188	945	9450	8227,225	pevný
189	950	9500	8316,773	pevný
190	955	9550	8406,821	pevný
191	960	9600	8497,369	pevný
192	965	9650	8588,417	pevný
193	970	9700	8679,965	pevný
194	975	9750	8772,013	pevný
195	980	9800	8864,561	pevný
196	985	9850	8957,609	pevný
197	990	9900	9051,157	pevný
198	995	9950	9145,205	pevný
199	1000	10000	9239,753	pevný

4.3 Odstraňování dusíku a fosforu

Při čištění odpadních vod jsou spolu se suspendovanými a rozpuštěnými organickými látkami odstraňovány i sloučeniny dusíku a fosforu. Tyto jsou obsaženy jednak v nerozpuštěných látkách, především v jejich organickém podílu, s nimiž jsou odstraňovány sedimentací. Část dusíku a fosforu přechází v průběhu biologického čištění z rozpuštěných sloučenin (amoniaku, fosforečnanů aj.) do buněk bakterií a s nimi jsou ze systému odváděny jako přebytečný kal. Produkce nerozpuštěných látek (NL) odváděných ze systému je součtem primárního a přebytečného biologického kalu. Množství živin s nimi odstraněných je závislé na produkci kalu a jeho složení.

Bilanci živin (N,P) v kontextu s bilancí organického znečištění na mechanicko-biologické, středně zatížené, klasické čistírně městských odpadních vod lze vyjádřit v následujícím přehledu v přepočtu na 1 ekvivalentního obyvatele ve zjednodušeném schématu:

odpadní voda	surová	odstraněno na mech. čištění	mechanicky čištěná	odstraněno na biologickém čištění	odtok vyčištěné odp.vody
BSK ₅ -g/ob.d	60	20	40	36	4
N - g/ob.d	11	1,6	9,4	2,1	7,3
P - g/ob.d	2,5	0,4	2,1	0,5	1,6
NL - g/ob.d		40		23,4	
% N v NL		4,0		9,0	
% P v NL		1,0		2,0	

V aerobním procesu stabilizace kalu se opět cca 30 až 40 % dusíku z jeho množství obsaženém v surovém kalu uvolní ve formě NH_4^+ do kalové vody a s ní se vrátí do čistícího procesu. Obdobně se uvolňuje v anaerobním procesu i část fosforu a jako fosforečnan se vrací do procesu. Podíl takto uvolněného fosforu je však velice proměnlivý podle provozních podmínek. Tato množství nejsou do výše uvedeného přehledu zahrnuta.

Odstranění eutrofizačních prvků ve středně zatížené biologické ČOV bývá u dusíku 15 až 30 %, u fosforu 20 až 40 %. Jsou-li požadavky na odstranění eutrofizačních prvků vyšší, je nutno použít speciální technologie:

- odstranění dusíku-denitrifikace
- biologické odstraňování fosforu
- chemické odstraňování fosforu

5 ČISTÍRENSKÉ KALY

Produktem čištění odpadní vody je čistírenský kal, což je disperzní systém, obsahující vedle rozpuštěných a koloidních látek zpravidla převažující podíl látek suspendovaných. V mechanické části ČOV - v usazovacích nádržích - vzniká sedimentací látek odpadní vody primární kal. Produktem biologického čištění odpadní vody je přebytečný biologický kal. Tento je zpracován buď samostatně, nebo je čerpán před usazovací nádrže a sedimentuje spolu s usaditelnými látkami přiváděnými v odpadní vodě jako směsný surový kal.

Obsah sušiny kalu čerpaného z usazovacích nádrží bývá v průměru cca 2,5 %, neboť při odkalování, pokud není pečlivě hlídáno, se čerpá velké množství vody. Tuto vodu lze oddělit zahuštěním v čerpací jímce, příp. v samostatné zahušťovací nádrži na obsah sušiny 4 až 5 %. Samotný přebytečný biologický kal je odváděn ze systému biologického čištění o obsahu sušiny 0,5 až 1 %. Jeho další zahuštění prostou sedimentací se obvykle nedaří (nebo až po dlouhé době), obsah vody lze však snížit flotací nebo strojním zahuštěním. Při čerpání před usazovací nádrže se směs zahušťuje zpravidla bez problémů na výše uvedený obsah sušiny 4 až 5 %.

5.1 Stabilizace kalu

Surový kal obsahuje velké množství bakterií, mj. i pathogenních, viry, často i pathogenní červy a jejich vajíčka (např. škrtavky - *Ascaris*) a je tedy materiálem hygienicky vysoce závadným. Část jeho organické hmoty podléhá rychlému rozkladu za tvorby zápachajících produktů. Proto se požaduje, aby byl čistírenský kal před jeho odvedením mimo ČOV stabilizován.

Stabilizace kalu se provádí:

- chemicky přidavkem $\text{Ca}(\text{OH})_2$ k pH 11 až 12,
- termicky (pasteurizací, sušením),
- biologicky aerobním nebo anaerobním způsobem.

Biologická stabilizace kalu v aerobních podmínkách se provádí jeho aerací což je při požadavku dlouhé doby zdržení energeticky náročné. Variantou je tak zvané mokré kompostování, u něhož je aerace omezená na nezbytné minimum, potřebné pro zajištění aerobních podmínek. Mikrobiálním procesem dochází k zvýšení teploty kalu k hodnotám přes 50 °C a tím k účinnému eliminování patogenů.

Převažuje anaerobní způsob stabilizace. Výjimkou je dlouhodobá aktivace s aerobní stabilizací kalu, budovaná obvykle bez mechanického stupně (usazovací nádrže), v níž proběhne proces stabilizace za podmínek tohoto způsobu aktivace (vysoké stáří kalu). Používá se jej hlavně u malých ČOV, kde výhoda provozní jednoduchosti převáží nad energetickou náročností.

Na ČOV je anaerobní způsob stabilizace kalu realizován ve vyhnívacích (methanizačních) nádržích, pracujících na semikontinuálním principu. Denně, příp. i vícekrát za den, je část kalu z nádrže vypuštěna a nahrazena čerstvým surovým kalem, který je třeba dobře rozmíchat s vyhnívaným kalem, aby došlo ke styku anaerobních bakterií s organickou hmotou surového kalu. Děje se tak cirkulací čerpadly, při čemž se někdy mísí vyhnílý kal s kalem surovým před jeho vstupem do vyhnívací nádrže. U vyhnívacích nádrží se cirkuluje kal přes výměník tepla. Účinným způsobem míchání obsahu vyhnívacích nádrží je cirkulace bioplynem pomocí speciálních kompresorů. Obsah nádrže lze míchat i mechanickými míchadly. Mícháním obsahu vyhnívací nádrže se také brání vzniku kalového stropu, který se jinak tvoří na hladině kalu z flotujících částic (vlákna, tukové látky aj.) a není-li průběžně rozrušován, vytvoří kompaktní hmotu, snižující účinný objem nádrže, která pak musí být po určité době provozu pracně čistěna.

Hlavní složka bioplynu, methan, je hořlavý plyn o výhřevnosti $39\,815\text{ kJ}\cdot\text{m}^{-3}$ (objem vztažen k tlaku $101,3\text{ kPa}$ a teplotě $0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Výhřevnost bioplynu je určena obsahem CH_4 , který musí být alespoň 50% , jinak plyn nehoří. Bioplyn, pokud je využíván, se jímá v plynojemech - většinou samostatných, dříve i nasazených na vyhnívacích nádržích. Na ČOV s vyhříványými vyhnívacími nádržemi se bioplyn spaluje v kotlech pro získání tepelné energie. Jiným jeho využitím je spalování v plynových motorech pro pohon točivých strojů (dmychadel), příp. alternátorů pro výrobu elektrické energie (s využitím odpadního tepla). Stlačený bioplyn může sloužit pro pohon motorových vozidel. Tepelná energie se spotřebuje především jako technologické teplo k provozu methanizačních nádrží, přebytky k vyhřívání budov, přípravu teplé vody aj.

Většina technologického tepla se spotřebuje pro ohřátí surového kalu na provozní teplotu methanizační nádrže. Při tom se počítá se specifickou tepelnou kapacitou vody $4186,8\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Další část tepla je nutná pro udržení teploty methanizační nádrže, což závisí vedle provozních parametrů (doby zdržení) na velikosti tepelných ztrát, určených tvarem a izolací nádrže.

Pro tepelnou bilanci provozu methanizačních nádrží má rozhodující význam stupeň zahuštění surového kalu, určující jeho objemové množství, které je nutno ohřát na provozní teplotu vyhnívací nádrže (teplota surového kalu je shodná s teplotou surové odpadní vody). Proto je třeba, aby byl kal zahuštěn alespoň na 4 až 5% obsahu sušiny (další zahuštění je obtížné). Vyhnilý kal snadněji uvolňuje vodu, kterou je vhodné oddělit jako vodu kalovou. Kal se tím zahustí, při čemž se sníží jeho objemové množství před dalším zpracováním. Koncentrace sušiny v methanizační, příp. zahušťovací nádrži nepřekročí obvykle 10% . Při vyšších koncentracích je manipulace s kalem (čerpání) obtížná a navíc je při tom bržděn proces methanizace, který je při poklesu obsahu vody na 70% inhibován silně. Kalová voda, oddělená po zahuštění kalu, se vrací do čistícího procesu. Neměla by obsahovat ve zvýšené koncentraci nerozpuštěné látky, jinak hrozí přetěžování objektů hlavní čistírenské linky. U kalové vody dobré kvality nepřekračuje obsah suspendovaných látek cca $2\text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$.

5.2 Zpracování stabilizovaného čistírenského kalu

5.2.1 Zahušťování kalu

Množství kalu je určeno množstvím jeho sušiny a obsahem vody. Snížením obsahu vody její separací od suspendovaných látek kalu lze zmenšit jeho objemové množství a hmotnost. Pokud se tato separace děje gravitačními silami, mluvíme o zahušťování. Nejběžnějším způsobem zahušťování kalu je sedimentace. Dochází k ní v usazovacích a dosazovacích nádržích. Kal z těchto nádrží odváděný obsahuje přesto zpravidla ještě značné množství vody, kterou lze oddělit zahuštěním v samostatných zahušťovacích nádržích, provozovaných většinou diskontinuálně v pracovních cyklech: napuštění kalové suspenze - zahuštění sedimentací - odvedení vody a kalu. Někdy slouží k zahušťování kalu i čerpací jímky. Zahušťovací nádrže je vhodné opatřit míchadly, které při pomalém pohybu přispívají k dokonalejšímu zahuštění suspenze.

Na gravitačním způsobu zahušťování kalu spočívá i flotace. Při tlakové flotaci se v tlakové nádobě nasytí kalová suspenze vzduchem a potom se tato vypustí do otevřené nádrže, v níž se při poklesu tlaku vyloučí mikrobublínky vzduchu, které obalí kalové částice a vynášejí je k hladině, z níž se zahuštěný kal stírá. Flotace se používá hlavně pro zahušťování přebytečného biologického kalu, při němž se dosáhne koncentrace sušiny kolem 5 %.

5.2.2 Odvodňování kalu

Další podstatné snížení obsahu vody v kalu se dosáhne jeho odvodněním, při němž se sníží obsah vody na 80 až 50 %. Odvodněný kal je pevný, rypatelný konzistence, lze jej nakládat a transportovat otevřenými vozidly. Rozlišuje se přirozený a strojní způsob odvodňování kalu. Přirozené odvodňování kalu se provádí na kalových polích a lagunách. Kalové pole je v podstatě mělká nádrž s betonovým dnem, na němž je drenážovaná filtrační vrstva ze štěrku a písku. Vrstva písku pokrývá buď celou plochu kalového pole, nebo jen jeho část, kdežto zbytek je zpevněný, aby umožnil vjezd strojních mechanismů pro vyklízení kalu. Kal vypouštěný na filtrační vrstvu ve výšce cca 30 cm se odvodňuje vsakováním vody, částečně i jejím výparem. Dobře odvodněný kal obsahuje kolem 40 % sušiny. Počet nápuštěných cyklů závisí na počasí, v průměru lze počítat se 4 cykly za rok.

Investičně méně náročné jsou kalové laguny, což jsou zemní nádrže, do nichž se kal napouští ve vrstvě cca 1 m. Po odvodnění, které trvá více než rok a při němž se uplatňuje především odpar vody, v menší míře její vsakování, se kal s obsahem sušiny 25 až 30 % vyklízí, nejlépe pomocí nakladače. Odvodnění lze urychlit odvedením vody, která se po několika týdnech od napuštění laguny oddělí

na povrchu hustého kalu. Nevýhodou lagun jsou větší nároky na zábor půdy než u jiných způsobů odvodňování, značná závislost na počasí při odvodňování i vyklizení kalu a ohrožení kvality podzemních vod. Z těchto důvodů lze považovat laguny jen za provizorní zařízení, pomáhající řešit akutní problémy v kalovém hospodářství ČOV.

Strojní, neboli mechanické odvodňování kalu. Jeho výhodou oproti přirozenému způsobu jsou podstatně nižší stavební náklady (zvláště oproti kalovým polím) a menší nároky na zábor půdy. Odvodňování se při tomto způsobu dosáhne filtrací suspenze za působení tlaků, nebo sedimentací za podstatného zvýšení gravitačních sil.

Na principu filtrace pracují sítopásové lisy a vakuové filtry provozované kontinuálně a tlakové komorové lisy s diskontinuálním provozem. Filtrační vrstvu tvoří tkanina, obvykle z umělé hmoty. U sítopásových lisů je mezi dvěma nekonečnými pásy pohybujícími se mezi řadou válců kalová suspenze lisována. U tlakových lisů (kalolisů) se dosáhne odvodnění působením tlaku cca 1 až 1,6 MPa. Mezi filtračními deskami, které jsou obaleny filtračními plachtami se v uzavřených prostorech vytvoří komory, které se zaplňují kalem, při čemž voda prochází plachtami jako filtrát a kalový koláč vypadne po otevření lisu. Vakuové filtry pracují na principu podtlaku, který se vytvoří v bubnu, otáčejícím se v korytě s tekutým kalem. Na bubnu je filtrační plachetka na kterou se v ponořené části přisává vrstva kalu, která se pak seškrábne v části plachetky, vyvedené z bubnu.

Z odstředivek se pro odvodňování kalu užívají nejvíce dekantační typy. U těchto zařízení se využívá působení odstředivé síly v rotačním poli válcového bubnu s kónickým zakončením a horizontální osou. Rychlost otáček bývá 1000 až 4000 za min., při čemž se dosahuje zrychlení 750 až 2000 g. Uvnitř bubnu odstředivky je souosý šnek, který se otáčí poněkud odlišnou rychlostí, při čemž vyhmuje odvodněný kal z prostoru odstředivky, zatímco voda (fugát) je odváděna na jejím druhém konci.

U zařízení pro strojní odvodňování kalu se posuzuje jeho separační účinnost, což je procentický podíl kalové sušiny, který přejde do odvodněného kalu (kalového koláče). Zbytek zůstane ve filtrátu (fugátu) a vrací se do čistícího procesu. Separace účinnost bývá přes 95 %.

Nezbytnou podmínkou pro strojní odvodňování čistírenských kalů je jejich předúprava, kterou se dosáhne agregace koloidních částic i mikročástic do makrovloček. Jen za těchto podmínek je možná účinná filtrace suspenze, příp. její odstředění a získání čirého filtrátu, resp. fugátu. Předúprava kalu

může být termická, spočívající v jeho ohřátí na teplotu přes 100 °C (pod tlakem), nebo častěji chemická, spočívající v dávkování flokulantů.

Pro předúpravu čistírenského kalu odvodňovaného na tlakových lisech, nebo vakuových filtrech se používají anorganické flokulanty - železité nebo hlinité soli a hydroxid vápenatý. Jejich dávky bývají v jednotkách procenta na obsah sušiny, u vápna 10 až 20 %. Dávku anorganických flokulantů lze snížit, příp. zcela vyloučit přidavkem malého množství organických flokulantů (většinou na bázi polyakrylamidu). Organické flokulanty se používají v dávkách 2 až 4 g na kg sušiny kalu bez dalších přísad při předúpravě kalů odvodňovaných na sítopásových lisech a odstředivkách.

Stupeň odvodnění čistírenského kalu, hodnocený obsahem sušiny v kalovém koláči, bývá při strojním odvodnění obvykle 20 až 35 %, u tlakových lisů 40 až 50 %.

Sušení kalu. Podstatnou část vody lze z kalu odstranit jeho sušením při teplotách nad 100 °C s krátkou dobou kontaktu. Tato technologie se však pro svoji energetickou náročnost užívá jen zřídka.

5.2.3 Konečné zpracování kalu

V konečné etapě zpracování kalu přicházejí v úvahu prakticky tyto možnosti:

5.2.3.1 Využití jako hnojiva

Využití kalu v zemědělství ke hnojení půdy je dosud rozšířeným způsobem jeho zpracování. Kal obsahuje v sušině i po stabilizaci 30 až 50 % organických látek. Vedle toho obsahuje z hnojivých složek 2 až 4 % dusíku, 1 až 2 % fosforu, 2 až 10 % vápníku, kdežto obsah draslíku je poměrně nízký - 0,1 až 0,3 %. Kal se aplikuje na půdu buď v tekutém stavu nebo odvodněný, což je pro zemědělce vítanější. Použití kalů ke hnojení půdy nese v sobě určitá rizika, způsobená hlavně jeho možnou kontaminací z průmyslových odpadních vod (obsah těžkých kovů ve zvýšené koncentraci jako je Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn aj.), které lze sice snížit opatřením u průmyslových znečišťovatelů, zvýšené nároky na kvalitu hnojiv však použití čistírenských kalů k tomuto účelu značně omezují. Určité možnosti využití kalů se nabízejí při přípravě kompostů.

5.2.3.2 Skládkování

Pro skládkování kalu lze použít jen kal odvodněný a stabilizovaný. Vedle obvyklé anaerobní nebo aerobní stabilizace lze v tomto případě stabilizovat surový kal i přidavkem vápna (CaO). Někdy se kal před skládkováním spaluje v etážových nebo rotačních pecích, při čemž se odstraní jeho organická

hmota, a tím se sníží jeho množství a zlepší kvalitativní vlastnosti pro skládkování. Spalování kalu se často provádí spolu s městskými odpady. Při skládkování je třeba zamezit znečištění podzemních vod průsakovými vodami ze skládky.

5.2.3.3 Zapracování do stavebních materiálů

Kaly lze v omezeném množství zapracovat do stavebních materiálů, zejména cementu. Při jeho výrobě jsou dosahovány v rotační peci vysoké teploty (kolem 1500 °C), při kterých se spolehlivě spálí organické sloučeniny. Nutná je při tom, tak jako u všech termických způsobů zpracování kalu, kontrola exhalátů.

6 AUTOMATICKÝ SYSTÉM ŘÍZENÍ

Při navrhování automatického systému řízení (dále jen ASŘ) musí být zohledněny požadavky managementu na informace. V určitých případech může být výhodné začlenit také systém řízení souvisejícího systému stokových sítí.

Koncepce ASŘ musí být navrhována speciálně pro každou čistírnu se zohledněním procesu čištění odpadních vod a odborné kvalifikace pracovníků obsluhy. Dále má být též zajištěn soulad s požadavky na spolehlivost systému a na provoz ve speciálních situacích, např. při výpadku některé části čistírny.

ASŘ mají být vybudovány jako síť několika inteligentních subsystémů, které jsou provozovány a obsluhovány jedním nebo více centrálními řídicími středisky (dozornami) v hierarchické posloupnosti klient-serverů. Navrhování takových sítí se řídí požadavky na rychlosti přenosu dat, přenosové protokoly a funkce podružných dozoren. ASŘ má podporovat komunikaci přes internet, např. by měl umožnit realizaci funkcí webového serveru s cílem prezentovat jak data on-line tak i archivní informace v kompatibilní formě s webovými stránkami.

Na základě těchto základních hledisek pro navrhování ASŘ jsou v následujících kapitolách obsaženy požadavky na potřebné informace z hlediska navrhování systému a mimoto i charakteristik hardwaru a softwaru systému. Pro jednoduché čistírny je vyvinuta základní koncepce, která může být rozvinuta do síťového systému pro používání s komplexnějším technologickým zařízením.

6.1 Návrhové požadavky a koncepce ASŘ

6.1.1 Potřebné vstupní údaje pro návrh ASŘ

6.1.1.1 Všeobecně

K doplnění všeobecných údajů a požadavků podle EN 12255-11 musí objednatel formulovat další požadavky, tvořící podklad pro vyhodnocení vhodného stupně přístrojového vybavení a pro výběr potřebných komponentů ASŘ, jakož i pro vybavení dozorny. Rozsah potřebných informací závisí jednak na požadavcích na způsob provozování čistírny a stupeň automatizace, jednak na požadované dokumentaci, která má být zpracovávána, např. shromažďování provozních údajů v přehledech nebo bilancích. Tyto dodatečné požadavky se vztahují na přístrojové vybavení a řídicí techniku (viz 6.1.1.2), jakož i na provozní podmínky čistírny (viz 6.1.1.3).

6.1.1.2 Přístrojové vybavení a řídicí technika

Rozsah přístrojového vybavení a řídicí techniky závisí na složitosti technologie navrhované čistírny. Proto mají být stanoveny tyto požadavky:

- rozsah a úroveň přístrojového vybavení pro řízení procesů, např. pro:
 - průtok, hladinu, tlak, teplotu;
 - chemické parametry, jako je hodnota pH;
 - konduktivitu, redoxpotenciál, rozpuštěný kyslík a zákal;
 - monitorování on-line amonných iontů, dusitanů, dusičnanů, fosforečnanů;
 - koncentraci aktivovaného kalu;
- strategie zajištění náhradních hodnot pro případ poruchy nebo výpadku měřicích systémů, např. pro řídicí obvod;
- koncepce řízení pro aerační zařízení, nitrifikaci, denitrifikaci a odstraňování fosforu, jakož i recirkulaci a kalové hospodářství;
- dokonalejší řídicí systémy, např. simulace nebo fuzzy řízení pro dávkování srážedel a flokulačních činidel;

6.1.1.3 Provozní podmínky čistírny

Dodatečně k základnímu návrhu procesů musí být také zohledněny provozní podmínky čistírny, např. požadovaná jakost odtoku, zásobování energiemi, vybavení pracovníky obsluhy a organizace obsluhy a údržby. Potřebné údaje by měly zahrnovat:

- a) požadavky na zásobování elektrickou energií, nouzové zásobování elektrickou energií a management energetických systémů zahrnující plynový agregát k vlastní výrobě elektrické energie;
- b) umístění dozorní v čistírně a informace o tom jak budou různé stupně procesů provozovány;
- c) určení chráněných prostorů s nebezpečím výbuchu v rámci čistírny (viz EN 12255-10);
- d) údaje týkající se infrastruktury čistírny, např. telefon, kamerový systém, elektrická požární signalizace;
- e) počet externích pracovišť napojených na dozoru, např. provozní laboratoř v čistírně nebo v externích organizacích a přenosné počítače pro pracovníky obsluhy a údržby;
- f) identifikační kódovací systém pomocí číselných značek pro jednotlivá zařízení, spotřebiče energie a místa osazená měřicími přístroji;
- g) požadavky na řídicí systémy:
 - jednoduchý systém k záznamu a ukládání dat nebo komplexní řídicí systém se sítí automatických přístrojů nebo počítačů, požadavky na přenos dat pomocí standardizovaných rozhraní (interfaces) nebo internetu;
- h) pomoc pracovníkům obsluhy expertními systémy, softwarem pro umělou inteligenci nebo adaptivní simulací procesů;
- i) záznamy (protokoly) o obsluze a údržbě, které mohou být případně propojeny se systémy pro řízení skladů a opatřování náhradních dílů;
- j) diagnostické a předpovědní funkce, např. pro energetické hospodářství, řízení provozu stokových sítí nebo řízení průtoků a výpočty zatížení;
- k) trvalá nebo dočasná obsazenost dozoru pracovníky obsluhy a údržby;
- l) kvalifikace a pohotovost pracovníků obsluhy a údržby;
- m) školicí programy pro pracovníky obsluhy a údržby dodavateli zařízení ASŘ;
- n) postupy pro rozdílná přístupová práva (log-in) k řízení systému, např.:
 - administrativní systém, kontrola a nastavování nebo změna parametrů funkcí ASŘ nebo pouhé čisté obslužné funkce systému;
- o) požadavky na systém hlášení poruch a směnice pro činnosti v případě poruchy nebo výstrahy;

6.1.2 Koncepce ASŘ

Koncepce ASŘ je písemný dokument, ve kterém je detailně popsáno, jak mají být požadavky podle 6.1.1 v ASŘ realizovány. Nejdůležitější z nich jsou tyto:

a) návrhové parametry ASŘ:

- kompletní popis procesu čištění odpadních vod;
- průtokové a technologické schéma, znázorňující vzájemné propojení mezi jednotlivými stupni procesu čištění s příslušnými charakteristikami, např. průtoky, tlaky, teploty a s nimi souvisící měřicí přístroje pro kontrolu, řízení a regulaci včetně strojně-technologického zařízení;
- počet a členění signálů procesu, řazených podle binární^{NP1}) a analogové hodnoty vstupů/výstupů PV, vypočítávané hodnoty nebo data manuálně vložená, jakož i počet řídicích obvodů a programových řízení;
- počet podřízených (procesních) stanic, návrh komunikační sítě a údaje o řídicích stanicích na různých provozních úrovních;
- specifikace hierarchické provozní strategie na různých úrovních ASŘ, tj. obsluha na místě a v dozorně;
- specifikace vybavení dozorny, tj. počet pracovišť, monitorů a tiskáren, propojení se systémy výstražného hlášení nebo jinými systémy na zpracování (management) dat;
- údaje o kabeláži pro PV a různé části ASŘ;

b) požadavky na bezpečnost provozu:

- záložní systémy pro případ poruch v technologických procesech, technologického vybavení nebo poruch vlastního ASŘ, včetně požadavků na pevně propojenou řídicí techniku;
- postupy pro spouštění a odstavování;
- systém detekce poruch a postupy potvrzování v případě výstražného hlášení;
- ochrana procesních signálů proti blesku a přepětí;
- zadání hierarchicky uspořádaných obslužných úrovní ASŘ, tj. místní řízení, skupinové řízení více jednotek, nadřazené řízení a monitorování v dozorně.

Ustanovení obsažená v koncepci ASŘ platí jako závazný podklad pro implementaci celého ASŘ. Způsob a cesta ke shromažďování nutných dat a specifikací se liší v závislosti na provedení výběrového řízení (tendru).

6.2 Specifikace ASŘ

6.2.1 Všeobecně

Koncepce ASŘ stanovuje cíle použití a rozsah funkcí ASŘ pro danou aplikaci v čistírně. Jednotlivé komponenty ASŘ a jejich určená systémová uspořádání musí být v souladu s požadavky koncepce ASŘ a mají být vybírány pro požadovaný rozsah funkcí s ohledem na ekonomická hlediska.

V jednoduché čistírně může v dozorně postačit monitorovací systém založený na PC počítačové technice pro dokumentování a řízení technologických procesů ve spojení s několika decentralizovanými automaty (logic controllers), pracujícími jako podřízené stanice pro procesní připojení.

Ve velkých a komplexnějších čistírnách jsou obecně nezbytné rozdělené dozorny, např. pro biologický stupeň čištění a kalové hospodářství, včetně zařízení pro odvodnění. Dále mohou být rozšířeny o pracoviště pro vkládání údajů o chemických analýzách v laboratoři a o další pracoviště pro zpracovávání kontrolních a řídicích administrativních úkonů ve správním středisku čistírny.

6.2.2 Požadavky

Minimální požadavky a dodatečné charakteristiky komponentů ASŘ s respektováním funkcí hardwaru a softwaru jsou shrnuty do tabulek 1 až 4. Toto shrnutí může být používáno jako kontrolní soupis a jako katalog požadavků, které mají být splněny v komponentech ASŘ, aby byly v souladu s požadavky koncepce ASŘ.

Mezistupně požadavků jsou možné a v případě nutnosti musí být dohodnuty.

Tabulka 1 – Hardware ASŘ: podřízené stanice

Funkce	Minimální požadavky	Dodatečné charakteristiky (vyšší funkce)
Systémové uspořádání	decentralizovaný, inteligentní PLC v lokální počítačové síti (LAN)	sítě LAN/WAN: kombinace komutovaných a pevných spojení; síťové systémy se samočinnou konfigurací
Rozsah funkcí	procesní připojení konvenční kabeláží	komunikační připojení podle různých protokolů dostupné
	pevná paměť	modulové rozšíření možné
	jednoprocesorový systém	víceprocesorový systém s koordinační jednotkou; speciální periferní karty pro předzpracování signálů dostupné (např. čítačové karty)
	SCADA přístupný	dodatečná možnost přiřazení časové značky pro procesní veličinu (<i>dále jen PV</i>) v reálném čase podřízené stanice
	vlastní diagnostika systému pomocí watch-dog	dodatečná kontrola komunikačních cest a procesních připojení
	Zásobování elektrickou energií 110 V až 230 V AC (střídavý proud); 24 V DC (stejnoseměrný proud)	Integrované napájení elektrickou energií akumulátorem s dobíjením a kontrolou stavu nabití
	znovuobnovení (restartování) provozu po výpadku z dozoru nebo místně	redundantní systémy jsou k dispozici; výměna karet bez přerušení provozu

Tabulka 2 – Hardware ASŘ: dozorný

Funkce	Minimální požadavky	Dodatečné charakteristiky (vyšší funkce)
Návrh systému	systém, klient-serveru implementovaný do nededikovaného serveru s jedním pracovištěm a dvěma monitory pracujícími v multi-screenu	systém klient serveru s několika klienty a popř. s více servery, pracujícími na více pracovištích, např. v dozorně a podřízené stanici
	Redundance musí být možná pomocí plně zdvojeného systému	postupná (scalable) redundance některých důležitých komponentů systému může být implementována
Počítačová síť	uspořádání sítě LAN používající zavedené průmyslové protokoly (standards), ethernet s kabeláží s kroucenými páry (twisted pair)	Smíšené sítě LAN/WAN mohou být provozovány, systémem používajícím rychlý ethernet; funkce směrovačů (routers) a přístup na internet jsou podporovány; Samočinná konfigurace stanic uvnitř počítačové sítě a přepnutí na zálohované připojení (second-way-connections) v případě výpadku
Pracoviště	jedno pracoviště v dozorně s dvěma monitory a obvykle dvěma tiskárnami	několik pracovišť na různých místech v areálu čistímy, také prostorově oddělená obslužná pracoviště ve vzdálených úřadech nebo pro servis s různými vymezitelnými přístupovými právy pro ASŘ, resp. pro každého uživatele
Systém vlastní kontroly a diagnostiky	watch-dog-timer; systém zpráv (protokolů) v nezašifrovaném textu; nezakódované (no cryptic) zprávy	rozhraní (interface) pro dálkovou diagnostiku a technickou podporu výrobce systému přes telefonní síť s funkcí přihlášení (log-in) k zabránění nežádoucímu přístupu

Tabulka 3 – Software ASŘ: Podřízené stanice

Funkce	Minimální požadavky	Dodatečné charakteristiky (vyšší funkce)
Software pro inteligentní předzpracování analogových dat (hodnot)	cyklický záznam s vymežitelnými cykly (s volitelným časovým rozlišením)	záznam delta-event a záznam event-controlled se záznamem a místním ukládáním naměřených hodnot a času za použití komutovaného spojení
	aktuální hodnota; sumarizovaná hodnota s ohledem na volitelné časové intervaly	střední hodnota a místní ukládání; místní strategie náhradních hodnot (local default-values)
Zpracování binárních ^{NP1}) dat	spontánní přenos; řízení sběru dat je k dispozici a volně konfigurovatelné; zpracování počítaných hodnot jako součty nebo inkrementální (přírůstková) hodnota	přenos binárních ^{NP1}) hodnot může být uspořádán s okamžitým a zpožděným přenosem dat; oddělené ukládání pro okamžitý nebo zpožděný přenos dat; uložení počítaných hodnot jako přírůstků nebo součtů
Parametrizace ASŘ (z dozomy)	nahrávání parametrů procesů (např. limitní hodnoty, spínací body)	dodatečná parametrizace informačních bodů nebo objektů, např. s ohledem na ukládání, předzpracování binárních ^{NP1}) vstupů nebo povelových výstupů
Programování	samočinné dokumentování implementovaného softwaru podřízených stanic včetně parametrů a komentářů dostupných v místě stanice; programování podle EN 61131-3 je podporováno	softwarové programy podřízených stanic mohou být zobrazovány v kontrolním systému v dozorně, jakož i místně ve stanici za použití stejných dokumentačních standardů v centrální řídicí stanici (dozorně) i v podřízené stanici; programování informačních bodů a objektově orientované programování je standardně podporováno; programové nástroje pro logické a regulační funkce mohou být implementovány
Funkce pro samočinnou kontrolu	samočinná diagnostika pro softwarové programy (úlohy) podřízených stanic; kontrola spojení pomocí integrovaného firmware (mikroprogramového vybavení) a automatické přepnutí na místní automatiku při poruše spojení; dálková diagnostika	přídavné zálohované (second-way) přepnutí v případě poruchy prvního vedení; automatické nové uspořádání počítačové sítě; speciální postupy hlášení poruch a strategie dosazování náhradních hodnot (default strategies) v případě poruchy jsou podporovány

Tabulka 4 – Software ASŘ: dozorný

Funkce	Minimální požadavky	Dodatečné charakteristiky (vyšší funkce)
Operační systém	kapacita 32 bitů; multitaskink; operační systém reálného času, založený na všeobecně uznaných průmyslových protokolech (standardech) a opatřeních k zamezení totálního selhání v případě chybně zadané úlohy; dálková diagnostika	podpora počítačové sítě pro distribuované servery, např. databázový server
Pracoviště	jedno pracoviště s nejméně dvěma monitory za použití techniky multi- screen; jednoduché postupy pro přihlášení (log-in)	podpora několika distribuovaných pracovišť na místě nebo externě, např. notebooky pro obslužná nebo administrativní pracoviště s různými přístupovými právy a komplexními postupy pro přihlášení (log-in) k zajištění jejich bezpečnosti
Počítačová síť	ethernet v různých společných strukturách sítě LAN, např. ve stromové (tree bus) nebo kruhové (ring) struktuře za použití všeobecně uznaných průmyslových protokolů (standardů); žádné specifické standardy jednotlivých výrobců	rychlý ethernet; TCP/IP pro komunikaci v síti LAN; podpora protokolu profibus ^{NP4)} ; emulace ^{NP5)} různých speciálních komunikačních protokolů dodavatelů, kteří se na trhu vyskytují
Rozhraní (interfaces)	import a export vybraných souborů ze serveru ve formátu ACS II ^{NP6)} pro přenos a minimálně pro výměnu dat v Excelu, jakož i ve formátu DXF ^{NP7)} pro výkresy	podpora OLE, OPC pro výměnu dat a funkcí webového serveru; funkce routing ^{NP8)} pro různé komunikační cesty a protokoly; připojení TCP/IP na speciální klienty pro speciální uživatelský software
Zpracování hlášení poruch	jednoduché zpracování hlášení poruch, např. akustické a nebo optické signály, tisk hlášení poruch a jednoduché postupy pro potvrzování hlášení	různé a oddělené zpracování hlášení poruch v závislosti na stupni priority; rozdílné cesty pro hlášení poruch a postupy k potvrzení hlášení; implementace obslužných a poplachových plánů k zajištění vhodné automatické komunikace

Legenda

- NP4) Průmyslová datová sběrnice/protokol pro použití na úrovni technologického procesu
- NP5) (Emulace protokolu) - nasimulování a napodobení způsobu přenosu dat jinými prostředky, než které jsou běžné
- NP6) Kódový číselný formát počítačových dat podle US-standardu.
- NP7) Formát výkresů v aplikaci AutoCad firmy AutoDesk.
- NP8) Oddělené směřování toku dat.

7 PRAKTICKÝ PŘÍKLAD NÁVRHU MALÉ ČOV

Vzhledem ke složitosti návrhu velké městské ČOV je zde uvedeme příklad návrhu ČOV pro rekreační objekt. Není zde ani žádný stupeň automatizace nebo energetické zatíženosti. Jde o gravitační ČOV o 2 stupních čištění.

7.1 Zadání

Návrh ČOV pro rekreační objekt penzionrestaurantu s kapacitou lůžek pro 24 osob, restauraci s kapacitou kuchyně pro 100 osob za den a personálem v počtu 3 osob.

7.2 Návrh

Pro čištění odpadních vod z areálu penzionrestaurantu je navržena sestava biologického septiku a zemního filtru. Septik zajistí potřebné předčištění a zemní filtr dočištění odpadních vod. Takto vyčištěné odpadní vody budou svedeny do recipientu místního potoka.

7.3 Hydrotechnické výpočty

7.3.1 Výpočet potřeby vody

-ubytování 24 osob	ã 200 l/den/os
-zaměstnanci 3 osoby	ã 200 l/den/os
-kapacita kuchyně 100 os/den	ã 12 m ³ /rok/os = 33 l/den/os

7.3.1.1 Průměrná denní spotřeba

$$Q_{24} = \sum n \cdot q$$

$$Q_{24} = 24 \cdot 200 + 3 \cdot 200 + 100 \cdot 33$$

$$Q_{24} = 8700 \text{ l/den} = 8,7 \text{ m}^3/\text{den} \rightarrow \text{cca } 0,1 \text{ l/s}$$

7.3.1.2 Maximální denní spotřeba

$$Q_{\max} = Q_{24} \cdot k_d$$

$$Q_{\max} = 8,7 \cdot 1,5$$

$$Q_{\max} = 13,5 \text{ m}^3/\text{den} \rightarrow \text{cca } 0,15 \text{ l/s}$$

7.3.1.3 Maximální hodinová spotřeba

$$Q_h = Q_{\max} \cdot k_h$$

$$Q_h = 13,5 \cdot 1,8$$

$$Q_h = 24,3 \text{ m}^3/\text{den} \rightarrow \text{cca } 0,3 \text{ l/s}$$

7.3.2 Počet ekvivalentních obyvatel

$$EO = 24 + 3 + (100 : 3)$$

$$EO = 60$$

7.3.3 Výpočet znečištění

$$\text{BSK}_5 \quad 60 \text{ EO} \cdot 60 \text{ g BSK}_5/\text{os}/\text{den} = 3600 \text{ g}/\text{den} = 413 \text{ mg/l}$$

$$\text{CHSK} \quad 60 \text{ EO} \cdot 120 \text{ CHSK}/\text{os}/\text{den} = 7200 \text{ g}/\text{den} = 827 \text{ mg/l}$$

$$\text{NL} \quad 60 \text{ EO} \cdot 55 \text{ NL}/\text{os}/\text{den} = 3300 \text{ g}/\text{den} = 379 \text{ mg/l}$$

7.4 Návrh septiku

7.4.1 Účinnost septiku

$$\text{BSK}_5 = 30 \%$$

$$\text{CHSK} = 20 \%$$

$$\text{NL} = 50 \%$$

Uvedené hodnoty jsou dle ČSN 75 6402.

7.4.2 Bilance kontrolovaných hodnot na odtoku

7.4.2.1 Množství BSK_5 /den na odtoku ze septiku (70 %)

$$0,7 \cdot 3600 = 2520 \text{ g BSK}_5/\text{den} = 289,1 \text{ mg/l}$$

7.4.2.2 Množství CHSK/den na odtoku ze septiku (80 %)

$$0,8 \cdot 7200 = 5760 \text{ g CHSK}/\text{den} = 662,0 \text{ mg/l}$$

7.4.2.3 Množství NL/den na odtoku ze septiku (50 %)

$$0,5 \cdot 3300 = 1650 \text{ g NL}/\text{den} = 189,5 \text{ mg/l}$$

7.4.3 Obsah vybíraného kalu

$$3,3 \cdot 0,5 \cdot 365 = 602,25 \text{ kg/rok (sušina)} \rightarrow 2,5 \% \text{ v celku}$$

$$602,25 \cdot 0,7/2,5 \cdot 100 = 16,86 = \text{cca } 17 \text{ m}^3/\text{rok}$$

Při vyklízení septiku se ponechá cca 0,15 m vrstvy vyhnílého kalu, jako očkovací kal. (4,5 m³)

Septik se bude vyvážet 2 x do roka.

7.4.4 Celkový účinný prostor septiku

$$V = a \cdot n \cdot q \cdot t$$

$$V = 1,5 \cdot 60 \cdot 0,15 \cdot 2,5$$

$$V = 33,75 \rightarrow \text{cca } 34 \text{ m}^3$$

7.4.5 Návrh rozměrů septiku

Návrh rozměru vychází z účinného prostoru. Septik bude vzhledem k jeho rozměrům navržen se třemi komorami. Přítok a odtok musí být nad hladinou a jejich průměr udává minimální výšku nad účinným prostorem septiku (hladinou). Vnitřní rozměry komory: 4 x 2 x 1,5 m

7.5 Návrh zemního filtru

7.5.1 Účinnost zemního filtru

$$BSK_5 = 90 \%$$

$$CHSK = 85 \%$$

$$NL = 85 \%$$

Uvedené hodnoty jsou dle ČSN 75 6402.

7.5.2 Bilance kontrolovaných hodnot na odtoku

7.5.2.1 Množství BSK₅/den na odtoku ze zemního filtru (10 %)

$$0,1 \cdot 2520 \text{ g BSK}_5/\text{den} = 252 \text{ g BSK}_5/\text{den} = \text{cca } 29,0 \text{ mg BSK}_5/\text{l}$$

7.5.2.2 Množství CHSK/den na odtoku ze zemního filtru (15 %)

$$0,15 \cdot 5760 \text{ g CHSK/den} = 864 \text{ g CHSK/den} = \text{cca } 99,0 \text{ mg CHSK/l}$$

7.5.2.3 Množství NL/den na odtoku ze zemního filtru (15 %)

$0,15 \cdot 1650 \text{ g NL/den} = 247,5 \text{ g NL/den} = \text{cca } 28,0 \text{ mg NL/l}$

7.5.3 Výpočet plochy zemního filtru

$$F = (k \cdot n \cdot q) / h$$

$$F = (1,2 \cdot 60 \cdot 0,15) / 0,18$$

$$F = 60 \text{ m}^2$$

7.6 Posouzení zemního filtru

7.6.1 Kritéria pro vypouštění odpadních vod

Sbírka zákonů č. 61/2003 nenastavuje přípustné stupně znečištění vod pro kapacity ČOV (EO) < 500.

Proto pro posouzení bereme kvóty z následující ČOV (EO) 500 – 2000 obyvatel, pokud vodoprávní orgán neurčí jinak.

7.6.2 Kvóty koncentrací na přítoku znečištěné vody do recipientu

Maximální přípustné koncentrace dle Sbírky zákonů č. 61/2003	Přípustné koncentrace dle Sbírky zákonů č. 61/2003	Vypočtené hodnoty
60 mg BSK ₅ /l	30 mg BSK ₅ /l	29,0 mg BSK ₅ /l
180 mg CHSK/l	125 mg CHSK/l	99,0 mg CHSK/l
60 mg NL/l	35 mg NL/l	28,0 mg NL/l

7.7 Závěr

Vypouštěné koncentrace na přítoku znečištěné vody do recipientu jsou vyhovující.

8 ZÁVĚR

8.1 Odpadní vody, výhledy do budoucna

Čištění odpadních vod není levnou záležitostí a platí nepřímá úměra mezi cenou vyčištění jednoho kg BSK₅ a velikosti čistírny.

V současné době probíhají rozsáhlé rekonstrukce stávajících městských a obecních ČOV, aby vyhověly požadavkům platných EN. Dimenzování musí vyhovět dnešním ale i budoucím přísnějším kritériím, které musí být po dobu životnosti ČOV dodrženy. Neméně důležitým hlediskem je cena takto zrekonstruované ČOV. Proto se projektanti při rekonstrukcích snaží maximálně využít stávajících konstrukcí a aplikování nových technologických poznatků a technologií.

Domovní a malé čistírny odpadních vod jsou jediným možným řešením problematiky čištění splaškových vod u izolovaných zdrojů znečištění, kde náklady na vybudování kanalizace v oblasti s malou hustotou osídlení jsou velmi drahou záležitostí. V souvislosti s přechodem bytové výstavby od státu na jednotlivce bude stále častější variantou čištění odpadních vod ulic a částí obcí do 50 osob a obzvlášť problematika řešení čištění odpadních vod u standardního rodinného domku pro 3-6 osob. Zde je nutno připomenout úlohu nám známých septiků.

8.2 Zdroje financování, postup výstavby.

Pokud je investorem obec, je možno m.j. využít prostředků Státního fondu životního prostředí ČR (SFŽPČR) a strukturálních fondů EU. Doplatek dotace ze strany SFŽPČR formou státní podpory je vždy podmíněn vyhodnocením zkušebního provozu čistírny, ve kterém se prokáže splnění kritérií na účinnost čištění a celkové množství odbouraného znečištění (BSK₅ v kg/rok a nerozpuštěných látek – NL v kg/rok).

Žádost o dotaci investičních nákladů (IN) z fondů EU je podmíněna studií proveditelnosti (Feasibility Study), která je důkazem finanční životaschopnosti projektu. Dokládá se simulovaný budoucí tok peněz (Cash Flow) v prvním roce a to po měsících a další čtyři roky pro orientaci. U větších IN je požadována studie příležitosti (Opportunity Study), která vychází ze studie a hledá alternativy jiných, ekonomicky vhodnějších investičních příležitostí vedoucích k řešení daného problému. Bez jejího zpracování je velmi pravděpodobné, že investiční projekty jsou připravovány na základě momentálního, impulsivního, často i emotivního, ale zejména nahodilého rozhodnutí zodpovědných osob. Častým nedostatkem je opomenutí účetních odpisů, které společně s inflací tvoří podstatnou část stočného a

v důsledku koncepci dále nedoporučí zpracovat do stadia dokumentace k žádosti pro územní rozhodnutí (DÚR) a dokumentace pro vydání stavební povolení (DSP).

Nejčastější možností je kombinace financování za účasti obce, akciové vodárenské společnosti v regionu, banky a SFŽPČR.

V případě financování soukromými investory je stavba financována výhradně z vlastních zdrojů investora, resp. různých stavebních a hypotečních půjček. Dotace ze strany státu není možná. Doba návratnosti investičních nákladů u domovních čistíren je závislá od stupně využití vyčištěné vody a zpravidla při současných cenách vodného, stočného a nákladů na vyvážení žumpy odbornou firmou nepřesáhne dobu čtyř let.

Na závěr možno srovnat poměr vyvážených objemů odpadní vody ze žumpy a z domovní čistírny, kdy objem vyváženého odpadu ze žumpy je zhruba 100x vyšší než objem primárního a přebytečného kalu z čistírny.

9 POUŽITÁ LITERATURA

9.1 Knižní literatura

Malý J., Malá J.: Chemie a technologie vody, Nakladatelství Noel 2000, Brno, 1996.
Rašetka D.: Stokování a čištění odpadních vod II - čištění odpadních vod, VUT Brno 1990.
Svoboda M., Roztočil T., Kulhánková V.: Sborník přednášek ze 7. odborné konference - Problematika malých ČOV a změny legislativy po vstupu do EU, vydavatelství Atelier Almanach 11/2003.

9.2 Sbírky zákonů

- Sbírka zákonů č.61/2003: 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
- Zákon č. 20/2004 Sb.: Zákon o vodách (vodní zákon)

9.3 Normy

- ČSN 75 6401: Čistímy odpadních vod pro více než 500 EO - 08/96
- ČSN 75 6402: Čistímy odpadních do 500 EO – 02/98
- ČSN 75 6403 EN 12255-1 až 11: ČOV část 1-11 – 03/03
- ČSN 75 6403 EN 12255-13: ČOV část 13 – automatický systém řízení – 08/04

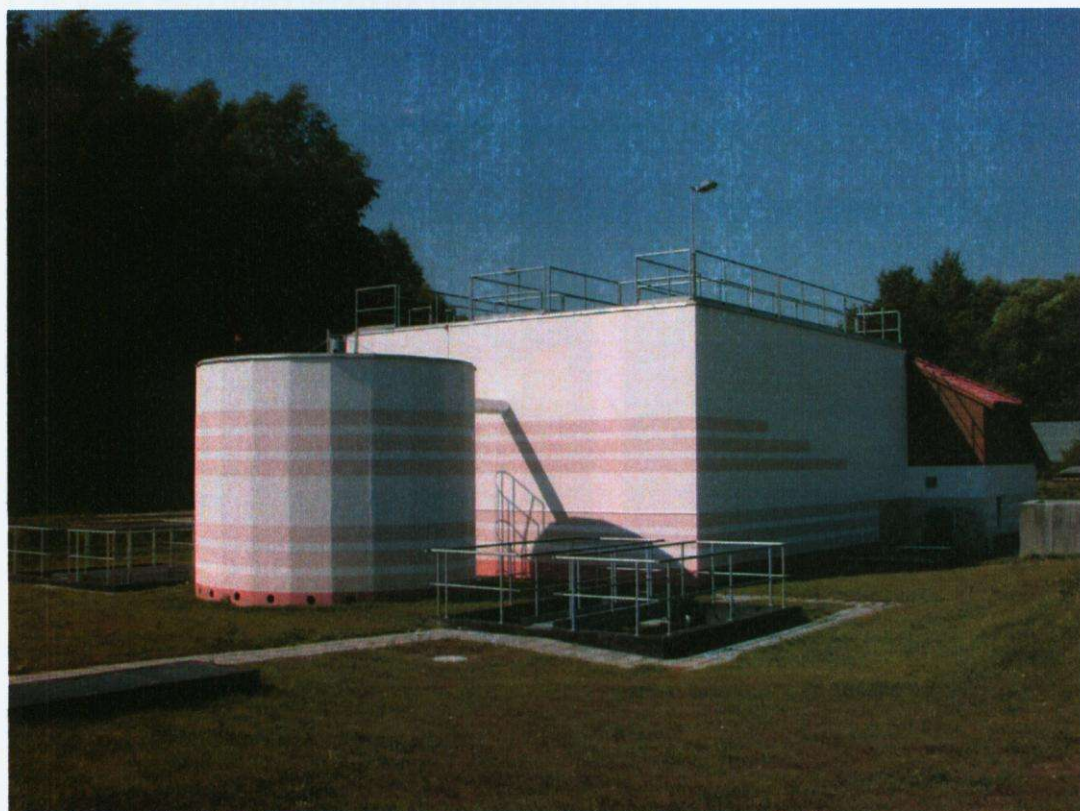
9.4 WWW odkazy

www.priroda.cz
www.hellstein.cz

10 PŘÍLOHY



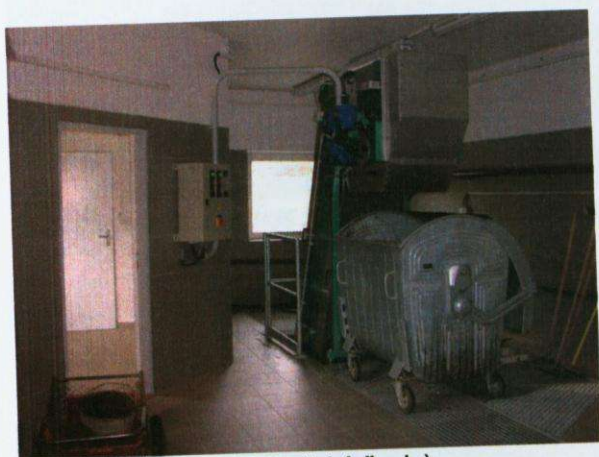
ČOV Přelouč (kruhové dosazovací nádrže, oběhové aktivační nádrže a hrubé předčištění)



ČOV Ledenice (štěrbinová nádrž, filtrační nádrž a dvě dosazovací nádrže)



ČOV Veselí nad Lužnicí (monoblok biologického čištění)



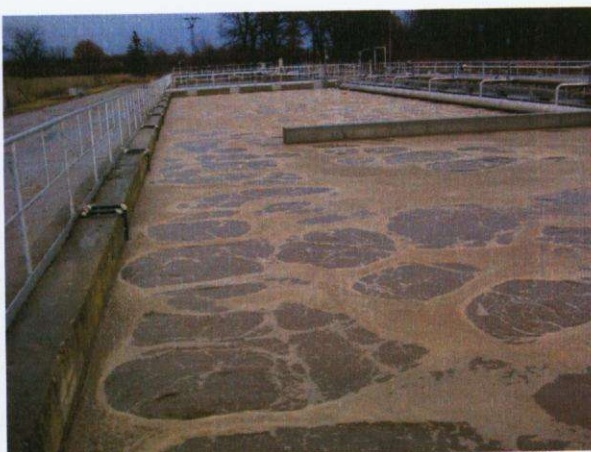
ČOV Ledenice (automatické česle)



ČOV Lipno nad Vltavou (lapák písku)



ČOV Katovice (automatické česle)



ČOV Jirkov (aktivační nádrž - vháněný vzduch)



ČOV České Budějovice (potrubí pro vhánění vzduchu do aktivační nádrže)



ČOV České Budějovice (dosazovací nádrže)



ČOV České Budějovice (odstředivka kalu)



ČOV České Budějovice (kalové lisy)



ČOV České Budějovice (Nádrže na vyhnívání kalu, plynojem)



ČOV Pardubice (RM rozvaděče)