

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO  
INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING

## **TEPELNÁ BILANCE ANAEROBNÍ ČÁSTI ČOV**

HEAT BALANCE OF ANAEROBIC PART OF SEWAGE TREATMENT PLANTS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**JAROSLAV ŘEZÁČ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. JAN PĚČEK**

BRNO 2008



**ANOTACE**

Tato bakalářská práce se zabývá problémem anaerobní stabilizace kalu produkovaného komunální aktivační ČOV. Pro danou komunální ČOV s mezofilní stabilizací. První část je věnována obecnému pojednání o ČOV anaerobnímu procesu stabilizace a popisu jednotlivých médií. Další část se zabývá návrhem vyhnívacích nádrží, jejich tepelnou izolací a tepelnou bilancí pro zvolenou variantu stabilizace kalu. Dále je navržen výměník tepla, kotel a kogenerační jednotka.

**KLÍČOVÁ SLOVA**

Anaerobní stabilizace, čistírna odpadních vod, vyhnívací nádrž, kal, tepelná bilance

**ANNOTATION**

This thesis is focused on anaerobic stabilisation of sewage produced by sewage treatment plant. Mesophilic stabilisation was chosen for the sewage treatment plant. In the first chapter, main attention is dedicated to general treatise on sewage treatment plant. Anaerobic process of stabilisation, digestion tank and some of the medium are characterised there. Next chapter is dealing with thermal balance for selected version of sewage stabilisation. A proposal of digestion tank and thermal insulation is also made there. Further, heat exchanger, boiler and combined heat and power unit are projected.

**KEYWORDS**

Anaerobi stabilisation, sewage treatment plans, digestion tank, sewage, heat balance

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

ŘEZÁČ, J. *Tepelná bilance anaerobní části ČOV*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 38 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Pěček



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci *Tepelná bilance anaerobní části ČOV* vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Pěčka a uvedl v seznamu literatury všechny použité literární a odborné zdroje.

V Brně dne 23. května 2008

.....  
podpis



### PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Janu Pěčkovi za odborné vedení mé práce, podmětne připomínky a cenné rady, kterými přispěl k vypracování této bakalářské práce.





**OBSAH**

<b>OBSAH</b> .....	11
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ</b> .....	12
<b>1 ÚVOD</b> .....	14
1.1 Historický vývoj.....	14
1.2 Současnost.....	14
1.3 Vodní politika EU.....	15
<b>2 STRUČNÝ POPIS KOMUNÁLNÍ ČOV</b> .....	15
2.1 Popis procesu v ČOV.....	16
<b>3 ZÁKLADNÍ PRINCIP ANAEROBNÍHO ROZKALDU</b> .....	18
3.1 Mechanismus rozkladu.....	18
3.2 Možnosti použití technologií.....	18
<b>4 NÁVRH VYHNÍVACÍCH NÁDRŽÍ</b> .....	19
4.1 Reaktory pro stabilizaci kalu.....	19
4.2 Konstrukce reaktoru.....	20
4.3 Materiál pro stavbu.....	20
4.4 Způsob míchání a vytápění.....	20
4.5 Teplotní režim.....	22
<b>5 POPIS MÉDIÍ</b> .....	22
5.1 Druhy kalů.....	22
<b>6 ANAEROBNÍ STABILIZACE KALŮ</b> .....	23
6.1 Současný stav technologie.....	24
<b>7 VLASTNÍ NÁVRHOVÉ ŘEŠENÍ</b> .....	24
7.1 Celková produkce kalu.....	24
7.2 Přebytečný kal dosazovací nádrže.....	25
7.3 Celkové množství kalu do VN.....	25
7.4 Doba vyhnívání.....	26
7.5 Produkce bioplynu.....	26
7.6 Volba izolace vyhnívací nádrže.....	28
7.7 Volba kogenerační jednotky.....	32
7.8 Volba výměníku tepla.....	33
7.9 Tepelná bilance.....	34
<b>8 ZÁVĚR</b> .....	36
<b>9 SEZNAM POUŽITÉ LITERUTURY</b> .....	37
<b>10 SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	38

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

symbol	význam	jednotka
$m_k$	hmotnost primárního kalu	g/den
NL	množství nerozpustných látek	g
$q_{dp}$	spotřeba vody na jednoho obyvatele za den	l
EO	počet ekvivalentních obyvatel	-
$m_{PR}$	hmotnost kalu	kg/den
$\eta_{UN}$	účinnost	%
$V_{PR}$	objem kalu	$m^3$ /den
$P_x$	produkce biomasy za den	$kg_{sušiny}$ /den
Y	růstový koeficient aktivovaného kalu	$kg_{sušiny}/BSK_5$
$S_r$	odbourání substrátu	$BSK_5$ /den
$m_{KD}$	hmotnost přebytečného kalu	kg/den
$V_{KD1}$	objem přebytečného kalu při 1%	$m^3$ /den
$V_{KD6}$	objem přebytečného kalu při 6%	$m^3$ /den
$V_{CK}$	objem celkový	$m^3$ /den
X	koncentrace směsného kalu	%
$V_{UŽ}$	objem užitečný	$m^3$ /den
$V_{BP}$	objem bioplynu	$m^3$ /den
OP	množství organického podílu	%
$\eta_O$	součinitel odbourání sušiny	-
OS	množství vzniku bioplynu z 1 kg kalu	$m^3$ /den
$Q_K$	tepelný tok	W
$c_k$	tepelná kapacita kalové suspenze	J/kgK
$T_K$	teplota uvnitř nádrže	$^{\circ}C$
$T_P$	teplota přivedeného kalu	$^{\circ}C$
$Q_{mK}$	množství převedeného kalu	kg
k	koeficient prostupu tepla	$W/m^2K$
$\alpha_1$	koeficient přestupu tepla ze suspenze do stěny	$W/m^2K$
$\alpha_2$	koeficient přestupu tepla ze stěny do okolního prostředí	$W/m^2K$
$d_i$	tloušťka vrstvy	m
$\lambda_i$	tepelná vodivost materiálu	W/mK
Q	tepelný tok ztrátový	W
$T_V$	teplota okolí	$^{\circ}C$
S	plocha stěny	$m^2$
$Q_Z$	tepelné ztráty	W
$Q_C$	celkový tepelný tok	W
$T_P$	teplota půdy	$^{\circ}C$

---

<b>dolní index</b>	<b>význam</b>
k	vztahující se ke hmotnosti primárního kalu
dp	vztahující se k spotřebě vody
PR	vztahující se ke kalu
UN	vztahující se k účinnosti
KD	vztahující se k přebytečnému kalu
KD1	vztahující se k přebytečnému kalu
KD6	vztahující se k přebytečnému kalu
CK	vztahující se k celkovému objemu
UŽ	vztahující se k užitečnému objemu
BP	vztahující se k objemu bioplynu
K	vztahující se k teplotě
mK	vztahující se k množství kalu
P	vztahující se k teplotě
V	vztahující se k teplotě
L	vztahující se k teplotě
Z	vztahující se k tepelným ztrátám
C	vztahující se k tepelnému toku

## 1 ÚVOD

### 1.1 Historický vývoj

Průmyslová revoluce přinesla společnosti mnoho pozitivního, ale i nové problémy. Jak se civilizace vyvíjela, lidé se shromažďovali na menší území, města a průmyslové části byly provázeny upadajícími hygienickými podmínkami. Cholera, mor a jiné nemoci patřily mezi nejvíce rozšířené choroby, které se šířily znečištěnou vodou [3].

Odvádění odpadních vod tak, jak je známe dnes, neexistovalo. Dříve se používali suché záchody, ještě nebyly známy splachovací. Voda, která byla přivedena do domu, byla většinou ze studny nebo vodního toku. Jediné kanály odváděly špinavou vodu z ulic do nejbližšího vodního toku. Velmi málo vody se používalo pro hygienické účely a odpadky byly vyhazovány přímo z domu na ulici. V takových podmínkách žili lidé. Ulice byly špinavé, zaplněny zapáchajícími odpadky, které přitahovaly hmyz a krysy [3].

Čištění odpadních vod jako takové před rokem 1900 existovalo pouze závlahou. Toto čištění bylo prováděno na tzv. farmách, kde odpadní voda byla používána k zavlažování. Tento způsob nebyl zrovna perspektivní. Bylo stále těžší najít dostatečné množství půdy na zavlažování odpadními vodami. Navíc z rozvojem průmyslu zvláště chemického vzniká problém znečišťování odpadních vod [3].

V roce 1887 se přišlo na myšlenku, že pravděpodobně správná cesta je čištění odpadní vody. Nejprve separovat kal a potom vybrat správný organismus, speciálně jej kultivovat, držet tuto vodu přes určité období, které bude voda aerována a dále bude vypouštěna do řek jako vyčištěná. Nápad, že se jednou bude čistit kal biologicky, byl v té době dost odvážný, ale praxe ukazovala, že odpadní voda, která protéká přes písčitoštěrkovou půdu se stává méně znečištěnou. Vznikla myšlenka, která dále vedla přes kompaktní lože k moderním biologickým filtrům [3].

### 1.2 Současnost

Vodní politika je nedílnou součástí globální politiky životního prostředí. Svým významem s dopady široce souvisí s celkovou hospodářskou politikou státu a spokojeností obyvatelstva. Od roku 1989 se situace ve vodním hospodářství postupně vyvíjela ve prospěch zlepšování vodních poměrů, což ovlivnilo výrazně jakost povrchových vod. Příčin bylo několik: restrukturalizace průmyslu, úsporná opatření s vodou v průmyslu a u obyvatelstva a především výstavba a modernizace čistíren odpadních vod [7].

V České republice bydlelo v roce 2004 cca 79 % obyvatel v domech připojených na kanalizaci pro veřejnou potřebu. Celkové množství odpadních vod vypuštěných do kanalizace pro veřejnou potřebu činilo roce 2004 bezmála 545,9 mil. m<sup>3</sup> a z tohoto množství bylo 512,1 mil. m<sup>3</sup> čištěno v městských čistírnách odpadních vod (tj. 93,8 %). Z toho vyplývá, že téměř 34 mil. m<sup>3</sup> odpadních vod oteklo z této kanalizace do recipientů bez patřičného čištění. V současné době bydlí ještě více než 2 miliony lidí v domech nepřipojených na kanalizaci pro veřejnou potřebu a určitá část jimi produkovaných odpadních vod je vypouštěna do vodních toků bez čištění. S tím souvisí i riziko nekontrolovaného znečištění unikajícího z technicky nevyhovujících stávajících žump, které používá část obyvatel nepřipojených na kanalizaci [7].

S ohledem na současný stav v zabezpečení čištění odpadních vod v ČR je zřejmé, že výstavba nových čistíren odpadních vod se bude týkat hlavně aglomerací menších než 5 000 EO. Odpadní vody z těchto menších aglomerací jsou však často vypouštěny do málovodných vodních toků, kde se účinek takového zatížení projeví velmi výrazně. Vypouštění nečištěných odpadních vod přispívá ke zhoršování jakosti povrchových vod. Zhoršuje se celkový stav vod a tím se znemožňuje normální a vyvážený život populace vodních organismů. Vypouštění odpadních vod do recipientů se řídí zákony České republiky konkrétně Zákonem O vodách a Zákonem o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu. Povolení k vypouštění vydává Vodoprávní úřad, což je speciální stavební úřad při odborech životního prostředí místně příslušných Městských úřadů s rozšířenou působností [7].

### 1.3 Vodní politika EU

Komplexní principy vodní politiky formulovala Evropská komise v roce 1995 a vytyčila v nich základní poslání vodního hospodářství. Pro další vývoj v evropském regionu je rozhodující Rámcová směrnice Rady ES o vodní politice, která je svou podstatou plánovací dokument na mnoho let dopředu a na kterou navazují již konkrétní úkoly vyplývající z řady směrnic ES. Z ní vyplývá pro Českou republiku, že obce nad 2000 EO musí mít postavenou čistírnu odpadních vod do roku 2010. Odpadová politika EU potlačuje ukládání odpadů a podporuje zabránění vzniku odpadů, jejich minimalizaci a recyklaci. Ukládání kalů do moře bylo legislativně zastaveno od konce roku 1998. Ukládání kalů na skládky, které je pro některé kaly v Evropě hlavním výstupem, je obecně považováno za neudržitelné. Produkci kalů nelze zabránit, navíc požadavky na vyšší kvalitu vypouštěné vody budou dále obecně zvyšovat množství produkovaných kalů. Jediné zbývající možnosti jsou recyklace a destrukční metody. Možnosti recyklace zahrnují použití na půdu jako organické hnojivo nebo pro vylepšení kvality půdy v zemědělství a pro rekultivace. Destrukční metody zahrnují spalování bez nebo s využitím energie, zplyňování a použití kalu jako procesního paliva, kdy je využíván nebo skládkován popel [7].

## 2 STRUČNÝ POPIS KOMUNÁLNÍ ČOV

Čistírna odpadních vod (ČOV) je zařízení, ve kterém dochází k čištění odpadních vod. Rozdělují se hlavně podle velikosti a typu čistírenského procesu. Nejčastějším typem používaných ČOV v ČR je mechanicko biologická čistírna odpadních vod. Velké čistírny kombinují většinou všechny dostupné čistící procesy. Patří sem mechanické, biochemické a chemické procesy. V rámci čistírny jsou zřizovány další objekty na likvidaci vzniklých kalů a látek jako jsou kalová a plynová hospodářství [6].

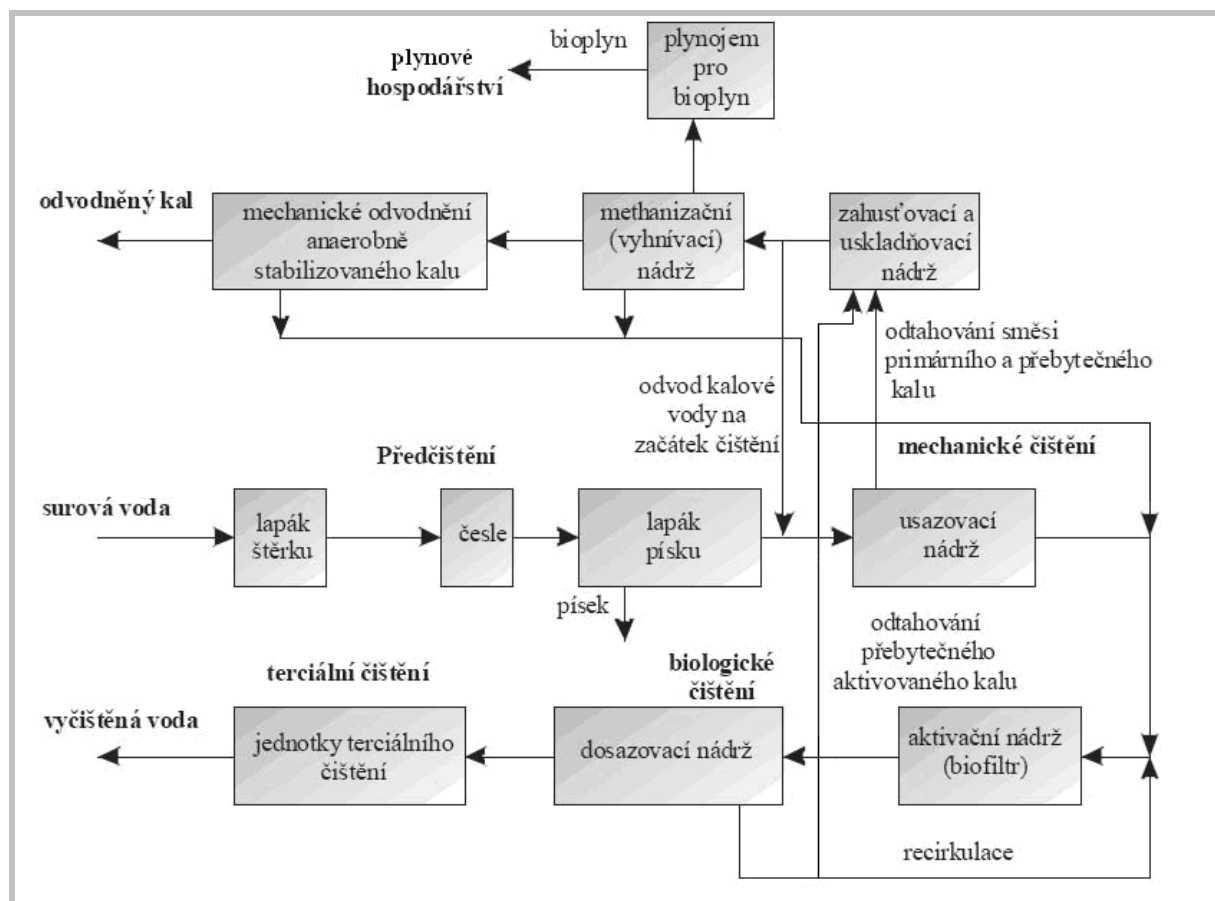


Obr. 2.1 ČOV Brno – Modřice – celkový pohled [6]

Znečištění odpadních vod je definováno jako změna fyzikálních, chemických a biologických vlastností vody, které omezují nebo i znemožňují její použití k dalším účelům. Znečišťující látky můžeme rozdělit do mnoha skupin. Proto neexistuje univerzální a ekonomicky přijatelný proces, kterým je možné odstranit všechny druhy faktorů znečištění.

Chceme-li vyčistit znečištěnou vodu a zbavit ji všech nežádoucích látek, musíme zařadit za sebe několik různých procesů. Volba zařazení jednotlivých procesů musí splňovat požadavky, jako je účinnost, ekonomika, nenáročnost na spotřebu energie a další [8].

## 2.1 Popis procesu v ČOV



Obr.2.2 Blokové schéma ČOV [8]

### Lapáky štěrku

Odpadní voda je do ČOV přiváděna hlavní stokou ze stokové sítě. Na jejím konci je umístěn lapák štěrku. Lapáky štěrku jsou jímky, ve kterých se zachytí hrubé a těžké předměty (např. štěrk, dlažební kostky, kusy cihel,...). Tím to zabraňujeme aby se tyto předměty dostaly do čistírny, kde by mohly ucpat potrubí, žlaby, otvory a trysky nebo poškodit čerpadla [8].

### Česle

Slouží jako ochrana strojních zařízení čistíren. Zachycují se na nich hrubé plovoucí nečistoty. Ty by byly v dalším procesu čištění příčinou provozních potíží. Účinnost česlí závisí na velikosti mezer mezi pruty. Česle bývají buď ručně nebo strojně stírané [8].



Obr. 2. 3 Česle [9]

**Lapáky písku**

Lapáky písku se často kombinují s lapákem tuků. Lapák tuků se zřizuje v případě zvýšeného množství tuku v odpadní vodě. Splaškové vody většinou neobsahují zvýšené množství tuků. Oddělené odstranění písku se provádí z důvodu, že písek má přibližně dvojnásobnou hmotnost, než organické nerozpustné látky. Pokud by se písek zachycoval společně s kalem do usazovacích nádrží, nebylo by ho pak možné snadno oddělit. Tím by se snižovala kapacita vyhnívajících nádrží [8].

**Usazovací nádrže – primární čištění**

Jedná se o mechanické čištění. Zde probíhá usazování jemných nerozpuštěných látek a stírání plovoucích nečistot z povrchu nádrže [8].

**Sekundární čištění**

Odpadní voda zbavená hrubých nečistot předčištěním (česle, lapáky písku) a usaditelných látek se přivádí na biologické čištění [8].



Obr. 2.4 Usazovací nádrže [6]

**Biologické aerobní čištění**

Biologické čištění probíhá v biologickém reaktoru. Při biologickém čištění odpadních vod v aerobních podmínkách se uplatňují biochemické procesy podmíněné činností aerobních mikroorganismů. Tyto organismy rozkládají organické látky obsažené ve vodě. Syntézou nové biomasy se odstraňuje část dusíku a fosforu. Suspenze biomasy se od vyčištěné vody separuje v dosazovacích nádržích, kde dochází k sedimentaci aktivovaného kalu. Část kalu se vrací se zpět do aktivační nádrže, zbytek se zpracovává v kalovém hospodářství [8].

**Anaerobní čištění**

Tento stupeň se vyskytuje hlavně u větších čistíren. Je zde využíván primární a přebytečný aktivovaný kal, jako zdroj živin, pro anaerobní bakterie, které produkují plyny. Tyto plyny jsou čištěny a říká se jim bioplyn, který se využívá na ohřev vyhnívacích nádrží nebo na produkci elektrické energie. Zbylý kal, tzv. vyhnílý, neboli anaerobně stabilizovaný kal se zpracovává buď na hnojivo nebo ukládá na řízené skládky [8]. Více o anaerobní stabilizaci kalů níže.

**Dosazovací nádrže**

Slouží k dalšímu usazování látek. Konstrukčně se příliš neliší od usazovacích nádrží [8].

**Terciální čištění**

Terciální čištění slouží k dočištění odpadních vod, především k odstranění fosforu, nerozpuštěných látek. Používá se v případech, kdy odtoky z čistírny nedosahují požadovaných parametrů [8].



Obr. 2.5 Dosazovací nádrže [6]



### 3 ZÁKLADNÍ PRINCIP ANAEROBNÍHO ROZKLADU

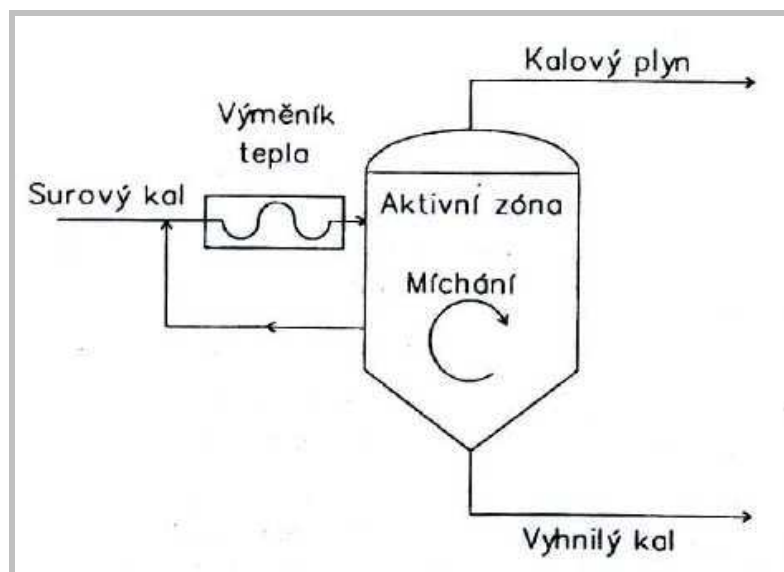
#### 3.1 Mechanismus rozkladu

Anaerobní rozklad je soubor dílčích, na sebe navazujících biologických procesů, na kterých se podílí několik základních funkčních skupin anaerobních mikroorganismů. Rozklad organických látek probíhající za nepřístupu vzduchu až na konečné produkty tj. metan a oxid uhličitý. Tento proces probíhá přirozeně v přírodě např. v bažiništích, na dně jezer nebo např. na skládkách komunálního odpadu. Produkt jedné skupiny mikroorganismů se stává základem skupiny druhé a proto nedostatečná aktivita jen jedné skupiny může způsobit porušení dynamické rovnováhy v celém systému a snížení účinnosti procesu. Proces můžeme rozdělit do 4 hlavních fází [1].

- Hydrolýza - v prvním stadiu rozkladu, jsou rozkládány makromolekulární organické látky (polysacharidy, lipidy, proteiny) na jednodušší sloučeniny rozpustné ve vodě pomocí enzymů, produkovaných hlavně fermentačními bakteriemi [1].
- Acidogenese – je další rozklad produktů hydrolýzy na jednoduché látky, hlavně mastné kyseliny, alkoholy a jiné látky za pomoci acidogenních bakterií [1].
- Acetogenese - probíhá oxidace vyšších produktů. Dochází k dalšímu rozkladu kyselin a alkoholů za produkce kyseliny octové [1].
- Metanogenese - v posledním stadiu, metanogenní mikroorganismy rozkládají některé jednodušší látky (metanol, kyselina mravenčí, metylaminy,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ), z víceuhlíkatých pouze kyselina octová. Produkty rozkladu jsou metan a oxid uhličitý [1].

#### 3.2 Možnosti použití technologií

Anaerobní stabilizace je nejrozšířenějším způsobem stabilizace čistírenských kalů, stále více se jí využívá pro zpracování různých zemědělských odpadů jako např. exkrementů hospodářských zvířat, různé organické zbytky rostlinného i živočišného původu [1].



Obr. 3.1 Schéma anaerobního vyhnívání [9]



Pro čištění odpadních vod je vhodné použít anaerobní technologie v následujících případech:

- vysoká koncentrace organického znečištění odpadních vod,
- vysoký obsah suspendovaných látek v odpadních vodách
- přítomnost faktorů, které ztěžují nebo znemožňují použití aerobní technologie,
- převážně sacharidické znečištění působící byttnění aktivovaného kalu,
- nízký obsah N a P v odpadních vodách,
- vyšší teplota odpadních vod zhoršující přestup kyslíku při aerobním čištění,
- kampaňové provozování,
- stabilizace kalů,
- stabilizace tuhých odpadů,
- zpracování zemědělských odpadů [1].

Z hlediska reakčních teplot rozdělujeme anaerobní procesy, podle optimální teploty pro mikroorganismy na psychofilní (5-30 °C), mezofilní (30-40 °C), termofilní (45-60 °C) a extrémně termofilní (nad 60 °C). Většina anaerobních reaktorů pracuje v mezofilní nebo termofilní oblasti [1].

### Porovnání druhu stabilizace

Termofilní – dochází k hlubšímu rozkladu organické hmoty než při mezofilní při stejné době zdržení. Významná hygienizace kalu, tj. snížení obsahu patogenních zárodků. Další výhodou je zlepšení odvodňovacích schopností. Nevýhodou jsou velké tepelné ztráty [1].

Mezofilní – nižší náklady než termofilní (způsobeno ohřevem na vyšší teploty). Nižší koncentrace mastných kyselin v kalové vodě. Mezofilní stabilizace je lépe prozkoumána a jsou s ní větší zkušenosti [1].

Volím mezofilní stabilizaci kalu pro její nižší náklady a dlouholeté používání v praxi při teplotě 38°C.

## 4 NÁVRH VYHNÍVACÍCH NÁDRŽÍ

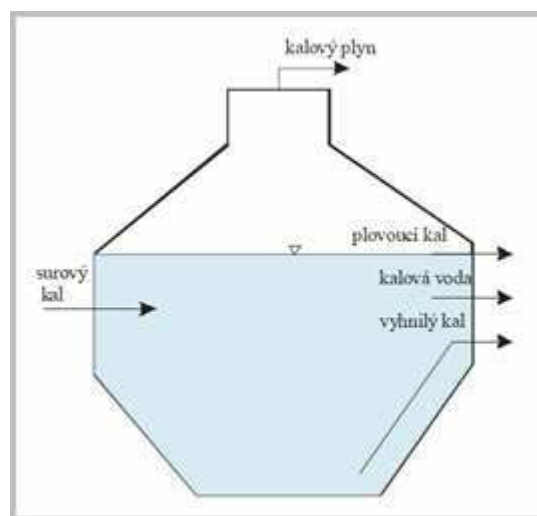
### 4.1 Reaktory pro stabilizaci kalů

Základním zařízením pro technologii anaerobní stabilizace kalů jsou anaerobní reaktory. Jedná se o vodotěsné a plynotěsné nádrže s různými vestavbami a zařízeními.

Z technologického hlediska lze anaerobní reaktory rozdělit do dvou základních skupin:

- reaktory pro anaerobní čištění a předčištění odpadních vod
- reaktory pro stabilizaci čistírenských kalů a jiných organických suspenzí – metalizační nádrže (vyhňovací nádrže).

Konstrukčně se tyto dvě skupiny reaktorů odlišují zejména uspořádáním vnitřních vestaveb a vnějším příslušenstvím [4].



Obr. 4.1 Schéma vyhňovací nádrže [8]

## 4.2 Konstrukce reaktorů

V současné době se konstruuji vyhnívající nádrže převážně s pevným stropem, víko nádrže je pevně spojeno s tělesem nádrže. Moderní konstrukce vyhnívajících nádrží vychází z požadavku maximální úspory tepla při provozu nádrže. Z hlediska dobrého využití tepla je výhodný co největší objem nádrže, protože, s rostoucím objemem relativně klesá povrch nádrže a tím i možné ztráty tepla. Velikost nádrže je však omezena možnostmi stavebními. U velkých čistíren se pak staví několik nádrží, které se propojují. Reaktory se budují jako kombinace válce s kuželem. Kuželový strop příznivě ovlivňuje hydrauliku míchání a tím se snižuje nebezpečí tvorby kalového stropu. Kuželové dno zamezuje masivní tvorbu sedimentů v nádrži a usnadňuje jejich vyklízení. V praktických aplikacích se pro anaerobní reaktory používají nádrže o objemech od stovek až do 15 000 m<sup>3</sup>. U velkých zařízení se používá několika nádrží [4].

## 4.3 Materiály pro stavbu

Ve většině případů se reaktory zhotovují ze železobetonu nebo z předepjatého betonu.

U menších aplikací se používají i plastové a laminátové nádrže.

Vestavby reaktorů se zhotovují nejčastěji z kombinace železobetonu, oceli, plastů a laminátů, někde i ze dřeva [4].

Aby se zabránilo úniku tepla z reaktorů, bývá jejich plášť obložena tepelnou izolací. U reaktorů pro mezofilní stabilizaci kalů při teplotách mezi 30 – 40 °C je tepelná izolace důležitá [4].



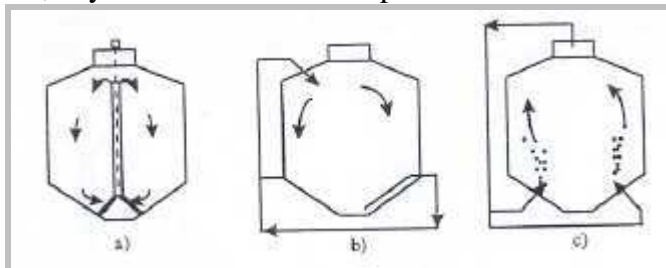
Obr. 4.2 Vyhnívací nádrže ČOV Brno - Modřice [6]

## 4.4 Způsob míchání a vytápění

Míchání a teplota patří mezi nejdůležitější faktory ovlivňující průběh metalizace. Z konstrukčního hlediska existuje několik základních způsobů míchání a vytápění metalizačních nádrží [4].

**Míchání metalizačních nádrží může být:**

- mechanické – různé druhy míchadel, turbin, vrtulových čerpadel apod. na obr. 4.3 a)
- míchání recirkulace kalu – kalovými čerpadly různých typů a konstrukcí umístěných uvnitř nebo vně nádrže na obr. 4.3 b).
- míchání recirkulací plynu – bioplyn je čerpán z plynového prostoru a pod tlakem vháněn do různých míst nádrže tak, aby došlo k dokonalému promíchání na obr. 4.3 c)[4].

**Obr. 4.3 Způsoby míchání [4]****Účel míchání**

Účelem míchání anaerobních reaktorů je udržení homogenního prostředí uvnitř reaktoru.

Míchání zabezpečuje dobrý kontakt aktivní biomasy s přivedeným substrátem, zamezuje místnímu přetížení, zlepšuje odvod reakčních zplodin.

Mícháním se udržuje stejnoměrná teplota v celém objemu reaktoru, což je důležité k udržení dynamické rovnováhy probíhajících procesů.

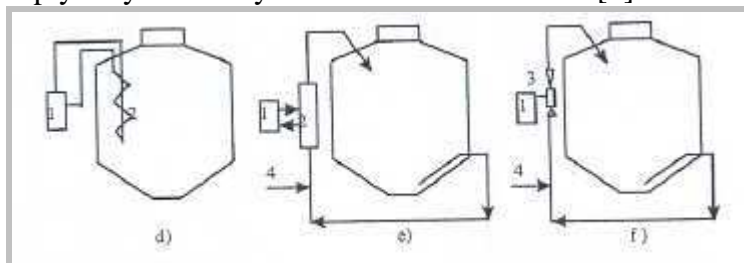
Rychlým rozmícháním vstupujícího materiálu dochází k minimalizaci vlivu eventuálně přítomných toxických látek.

Míchání působí proti tvorbě tzv. kalového stropu v reaktoru a zamezuje tvorbě sedimentů na dně reaktoru.

Hlavní nevýhodou míchaného reaktoru jsou náklady na míchání reaktoru a zvýšení nákladů na separaci tuhé a kapalné fáze po anaerobní stabilizaci [1].

**Vytápění metalizačních nádrží je nejčastěji prováděno:**

- teplou vodou nebo párou a topnými tělesy uvnitř nádrže na obr 4.4 d),
- teplou vodou nebo párou ve výměnících tepla vně nádrže. Ohřívá se recirkulovaný a surový kal na obr 4.4 e),
- přímým injektováním vodní páry, buď přímo do nádrž, nebo do recirkulovaného kalu na obr. 4.4 f),
- ponořenými plynovými hořáky k ohřívání surového kalu[4].

**Obr. 4.4 Způsoby vytápění [4]**

Při praktickém provedení dochází ke kombinaci jednotlivých způsobů míchání a vytápění tak, aby byl zaručen co nejbezpečnější provoz metalizačních nádrží [4].

## 4.5 Teplotní režim

Anaerobní reaktory pro stabilizaci kalu se v našich podnebních podmínkách nejčastěji staví jako vyhřívané. Mediem používaným pro ohřev bývá voda o teplotě běžné pro ústřední vytápění tj. 70 až 90 °C, ohřívána buď v teplovodních kotlích nebo v chladícím okruhu kogeneračních jednotek. K výrobě tepla se využívá vyprodukovaný bioplyn [4].

Ohřev odpadních vod a kalu se provádí buď v samostatných tepelných výměnících, do nichž se potrubím přivádí jak topná voda, tak i ohřívána tekutina, nebo probíhá přímo v reaktorech sdílením tepla ze zabudovaných teplovodních topných hadů [4].

Volím vyhnívací nádrž, která bude míchána pomocí recirkulace plynu a ohřev kalu se bude provádět teplou vodou ve výměníku tepla mimo nádrž.

## 5 POPIS MÉDIÍ

Čistírenské kaly (primární, aktivovaný) se ve větších čistírnách zpracovávají metalizací. Je to nejdokonalejší způsob jejich stabilizace, přičemž současně dochází i k hmotnostnímu a objemovému úbytku organické hmoty uvolněním velké části organického uhlíku v plynné formě (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) a uvolněním vody, původně vázané chemicky i fyzikálně. Dochází k potlačení ostatní flóry a fauny, která byla v kalu přítomna. Snížením je výskyt patogenních mikroorganismů [1].

### 5.1 Druhy kalů

Pod pojmem kal rozumíme suspenzi pevných látek nazývaných sušina kalu. Složení a obsah sušiny závisí na původu kalu, druhu kanalizace, složení odpadních vod, typu mechanického stupně čištění [1]. Na čistírně odpadních vod vznikají tyto druhy kalů:

primární kal - odděluje se ze surové vody sedimentací v usazovacích nádržích (nebo v jiném separačním zařízení) [1]

přebytečný aktivovaný kal - vznikají v biologickém stupni při čištění odpadních vod a odděluje se od vyčištěné vody v dosazovacích nádržích [1].

surový kal – vzniká spojením primárního a aktivovaného kalu. Společně nebo separátně se zahušťují gravitačně (v zahušťovacích nádržích) nebo strojově (např. centrifugy) před dalším zpracováním [1].

vyhnilý kal - je nepáchnoucí, dobře odvodněný a z hygienického hlediska nezávadný. Z fyzikálního hlediska je to tmavá (až černá) amorfni neplastická heterogenní směs. Barva je dána hlavně nerozpuštěným sulfidem železnatým [1].

kalová voda – je kapalina, která se odděluje od vyhnilého kalu. Kalová voda se likviduje tím že ji přivedeme na přítok do biologického stupně čistírny nejlépe v nočních hodinách [1].

bioplyn - je produktem procesu metanizace - anaerobního rozkladu organických látek při technologickém procesu anaerobní stabilizace kalů. Je to bezbarvý plyn skládá se hlavně z metanu ( $\text{CH}_4$ ) a oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ). Bioplyn se z vyhnívajících nádrží odvádí do plynojemu odtud se potom rozvádí k dalšímu využití, jako je vyhřívání vyhnívajících nádrží, výrobě tepla a elektrické energie. Zbytkový bioplyn se spaluje na hořácích zbytkového plynu [1].



Obr. 5.1 Hořáky zbytkového bioplynu[6]

## 6 ANAEROBNÍ STABILIZACE KALŮ

Stabilizace kalu je důležitý krok pro spolehlivé zpracování čistírenských kalů. Mezi hlavní přednosti anaerobní stabilizace kalů před ostatními metodami zpracování kalů patří :

- Proces anaerobní stabilizace je díky produkci bioplynu energeticky aktivní. Takto získaná energie postačuje na plné pokrytí energetických požadavků vlastního procesu (ohřev metalizační nádrží, míchání). Nadbytečná energie významně vylepšuje energetickou bilanci celé čistírny odpadních vod (vytápění budov, ohřev teplé vody, elektrická energie pro pohon různých zařízení).
- V procesu anaerobní stabilizace dochází přeměnou organických látek na bioplyn ke značnému snížení sušiny kalu, přibližně o 45-65 % proti surovému kalu. To má za následek snížení nákladů na další zpracování kalu.
- Anaerobně stabilizovaný kal je výborným prostředkem ke hnojení a zlepšení struktury půdy. Anaerobní stabilizací se odstraní nepříjemný zápach surového kalu.
- Při anaerobní stabilizaci dochází k částečné hygienizaci kalu – převážná část patogenů je v průběhu procesu zničena [1].

Mezi nevýhody patří:

Relativně vysoké investiční náklady

Dlouhá doba zdržení v metalizačních nádržích

Kalová voda po odvodnění anaerobně stabilizovaného kalu je značně znečištěna rozpuštěnými i nerozpuštěnými organickými i anorganickými látkami a vyžaduje další čištění [1].

## 6.1 Současný stav technologie

V současné době se provozují dva způsoby metalizace kalu, normální (standardní, nízko zatížená) a vysokozatížená (rychlovyhňívání). Vzhledem k intenzitě anaerobních procesů, hlavně při vysokozatěžované metalizaci, se pracuje ve dvou stupních. První stupeň je vyhříváný a míchaný a slouží jako anaerobní reaktor, ve kterém probíhá vlastní proces metalizace. Druhý stupeň slouží jako uskladňovací nádrž, ve které dozrívají metalizační pochody a dochází k oddělení kalu od kalové vody. Kalová voda je vrácena do aktivační nádrže a stabilizovaný kal se vede k odvodnění [1].

Dobře stabilizovaný (vyhnilý) kal vzhledem k příznivému obsahu organických a anorganických látek je kal po metalizaci vhodný pro použití jako hnojivo buď přímo, nebo ke kompostování. Podporuje tvorbu humusu a upravuje strukturu půdy. Zemědělské využití je však omezeno obsahem těžkých kovů [1].

## 7 VLASTNÍ NÁVRHOVÉ ŘEŠENÍ

V této kapitole je řešen vlastní návrh vyhňívací nádrže pro ČOV s 60 tis. EO, na základě dříve zvolených předpokladů a dle dostupné literatury. Abych mohl přistoupit k samotnému návrhu reaktoru nejdřív musím spočítat množství kalu, které bude přiváděno, objem nádrže, produkci bioplynu provést tepelnou bilanci, návrh výměníku tepla a kogenerační jednotky.

### 7.1 Celková produkce kalu:

$$m_K = (NL + 0,1 \cdot q_{dp}) \cdot EO, \quad (7.1)$$

$$m_K = (55 + 0,1 \cdot 150) \cdot 60000 = 4200000 \text{ g / den} = 4200 \text{ kg / den}$$

kde  $m_K$  – hmotnost primárního kalu

NL – množství nerozpustných látek produkované jedním obyvatelem za den gramech

$q_{dp}$  – spotřeba vody na jednoho obyvatele za den v litrech

EO – počet ekvivalentních obyvatel

Primární kal vzniká sedimentací v usazovacích nádržích. Účinnost usazovací nádrže  $\eta_{UN} = 0,5$

$$m_{PR} = m_K \cdot \eta_{UN}, \quad (7.2)$$

$$m_{PR} = 4200 \cdot 0,5 = 2100 \text{ kg / den}$$

Primární kal má obsah sušiny v rozmezí (2,5 ÷ 5)%, volím obsah sušiny v primárním kalu 3%,

$$V_{PR} = \frac{m_{PR}}{30}, \quad (7.3)$$

$$V_{PR} = \frac{2100}{30} = 70 \text{ m}^3 / \text{den}$$

## 7.2 Přebytečný kal z dosazovací nádrže

V systému s aktivovaným kalem je možno produkci kalu spočítat podle kinetiky růstu biomasy.

$$P_x = Y \cdot S_r, \quad (7.4)$$

kde  $P_x$  – produkce biomasy za den ( $\text{kg}_{\text{sušiny}}/\text{den}$ )  
 $Y$  – růstový koeficient aktivovaného kalu ( $\text{kg}_{\text{sušiny}}/\text{BSK}_5$  odbouraného)  
 $S_r$  – odbourání substrátu ( $\text{BSK}_5$  odbouraného/den)

Pro teplotu kalu  $10^\circ\text{C}$  je  $Y=0,84$ , dále se předpokládá, že  $1/3$   $\text{BSK}_5$  je odstraněna mechanickým čištěním, zbývá tedy  $40 \text{ g BSK}_5/\text{osoba.den}$ . Účinnost odbourání je  $95\%$  [6].

$$P_x = 0,84 \cdot (40 \cdot 0,95) = 31,92 \approx 32 \text{ g}_{\text{sušiny}} / \text{osoba.den}$$

Přebytečný kal z dosazovacích nádrže má koncentraci sušiny  $(0,5 \div 1,5)\%$ , volím  $1\%$ .

$$m_{KD} = P_x \cdot EO, \quad (7.5)$$

$$m_{KD} = 32 \cdot 60000 = 1920000 \text{ g} / \text{den} = 1920 \text{ kg} / \text{den}$$

Objem přebytečného kalu,  $1\%$  sušiny

$$V_{KD1} = \frac{m_{KD}}{10}, \quad (7.6)$$

$$V_{KD1} = \frac{1920}{10} = 192 \text{ m}^3 / \text{den}$$

Po strojním zahuštění tohoto kalu na  $6\%$

$$V_{KD6} = \frac{m_{KD}}{60}, \quad (7.7)$$

$$V_{KD6} = \frac{1920}{60} = 32 \text{ m}^3 / \text{den}$$

## 7.3 Celkové množství kalu do VN

$$V_{CK} = V_{PR} + V_{KD6}, \quad (7.8)$$

$$V_{CK} = 70 + 32 = 102 \text{ m}^3 / \text{den}$$

Koncentrace směsného kalu

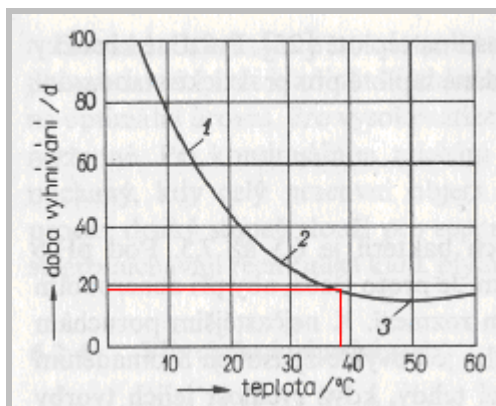
$$X = \frac{V_{DK6} \cdot 6\% + V_{PR} \cdot 3\%}{V_{CK}}, \quad (7.9)$$

$$X = \frac{32 \cdot 6\% + 70 \cdot 3\%}{102} \approx 4\%$$



## 7.4 Doba vyhnívání

Při zvolené mezofilní teplotě 38 °C je dle literatury [2] doba potřebná pro vyhnítí kalu 19 dní.



Obr. 7.1 Závislost potřebné doby vyhnívání na teplotě

Celkový objem vyhnívání  $V_{UŽ} = V_{CK} \cdot 19 = 102 \cdot 19 = 1938 m^3$

Volím dvě vyhnívací nádrže o užitém objemu 1100 m<sup>3</sup>.

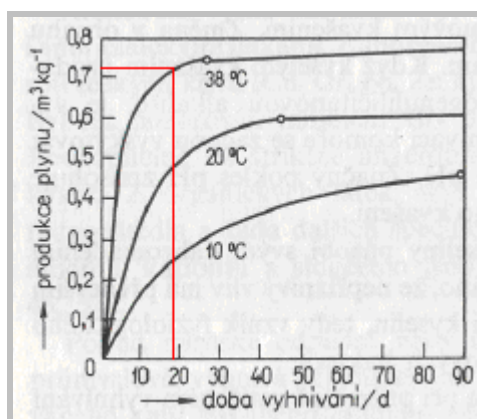
- rezerva pro zvýšení nátoků na ČOV
- užitný objem 1100 m<sup>3</sup> odpovídá typové nádrži VN 1100

Nádrž VN1 míchána, vyhřívána, teplota 38°C.

Nádrž VN2 míchána, nevyhřívána, teplota 34,2°C

## 7.5 Produkce bioplynu

Celkové množství sušiny ve směsném kalu je 2100 + 1920 = 4020 kg<sub>sušiny</sub>/den. Předpokládá se, že v celkovém množství sušiny je organického podílu 70%. Z toho je předpoklad odbourání 50% sušiny. Pro dobu zdržení 19 dní a teplotu 38°C vznikne dle [2] z 1kg odbourané sušiny 0,72 m<sup>3</sup> bioplynu.

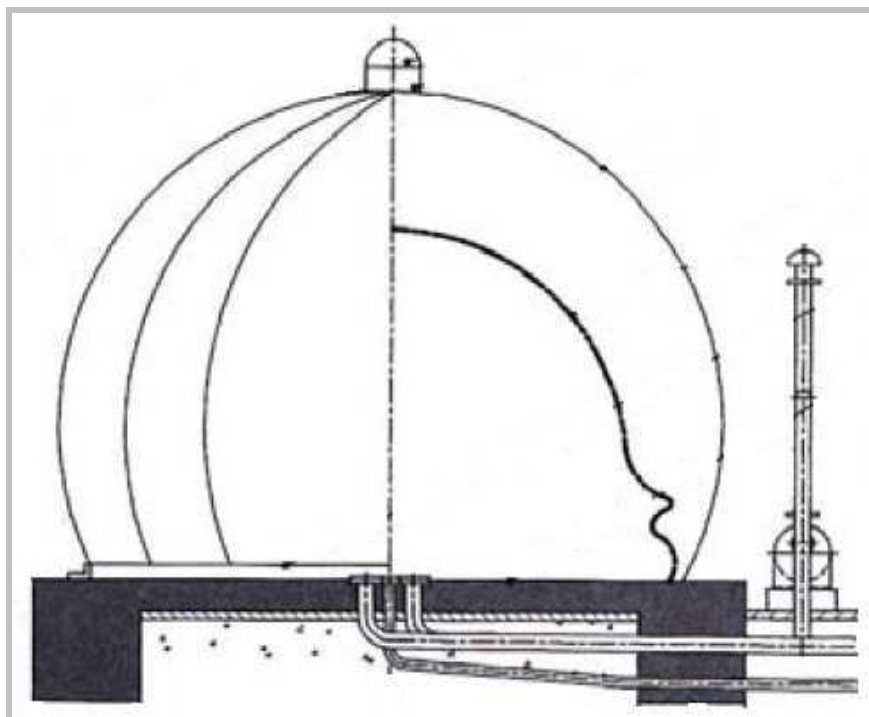


Obr. 7.2 Závislost produkce plynu na teplotě



$$V_{BP} = (m_{KD} + m_{PR}) \cdot OP \cdot \eta_O \cdot OS, \quad (7.10)$$
$$V_{BP} = 4020 \cdot 0,7 \cdot 0,5 \cdot 0,72 = 1013,1 \text{ m}^3 / \text{den}$$

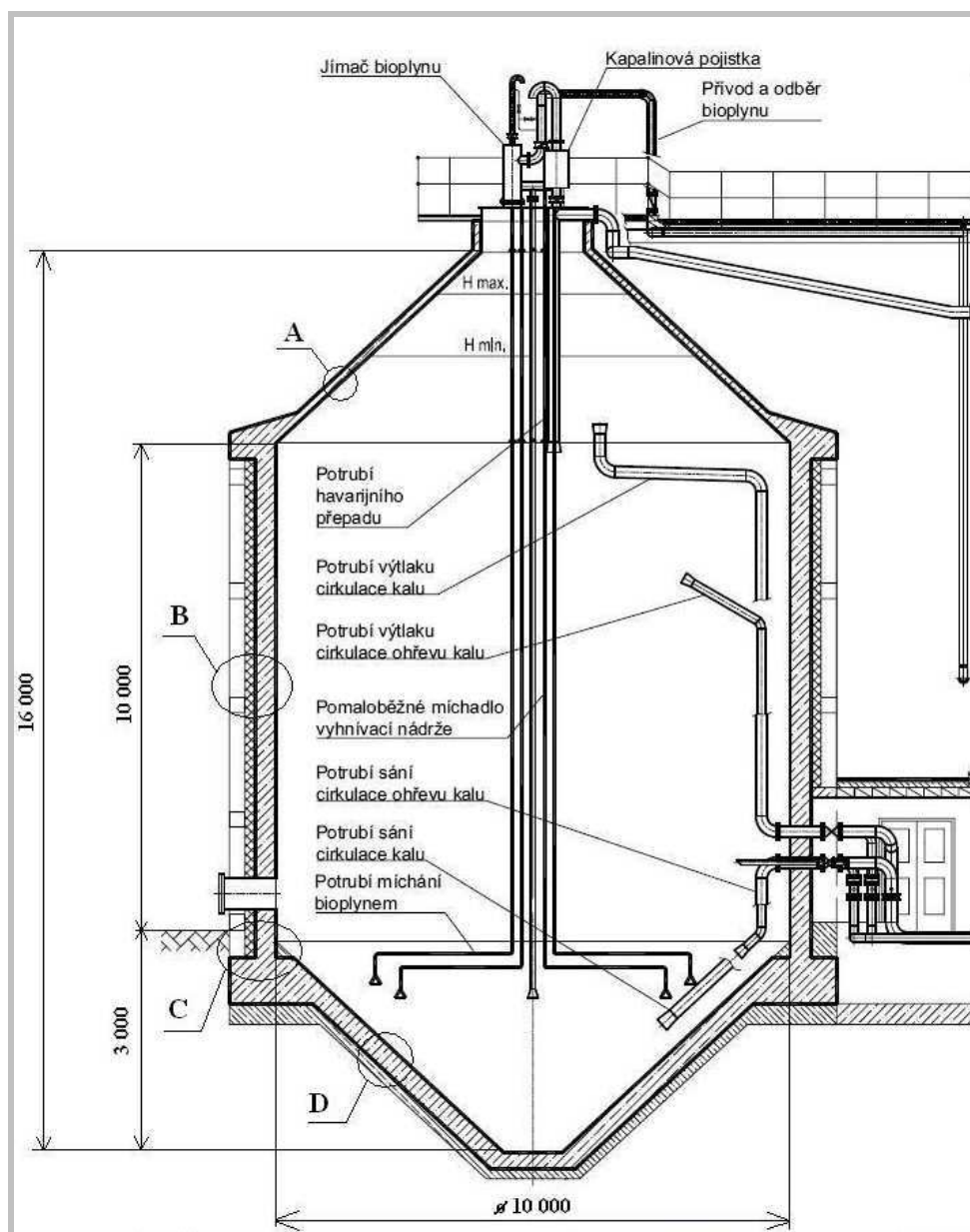
Pro akumulaci plynu volím plynojem schopný akumulovat cca 1/2 denní produkce. Z typové řady B9 118 suchých membránových plynojemů volím plynojem SATTER o objemu 570 m<sup>3</sup>.



Obr. 7.3 Membránový plynojem [5]

## 7.6 Volba izolace vyhřívací nádrže

Vyhřívací nádrže vyhříváme přímo nebo nepřímou. Teplo je spotřebováno k ohřevu kalu a na vyrovnání ztrát únikem tepla přes plášť vyhřívací nádrže.



Obr. 7.4 Rozměrový náčrt vyhřívací nádrže

Bilanční výpočet provádím pro zimní období kdy je největší rozdíl teplot (v nádrži a venku). Teplota okolního vzduchu  $-20\text{ °C}$  a teplota půdy  $-8\text{ °C}$ . Teplotu uvnitř nádrže budu udržovat na  $38\text{ °C}$ . Bude přiváděno  $106\,080\text{ kg/den}$  kalu určeného na vyhřívání o teplotě  $10\text{ °C}$ . Plochy nádrže přes které uniká teplo jsou: strop  $98,2\text{ m}^2$ , stěna  $314,2\text{ m}^2$  stěna v zemi  $31,4\text{ m}^2$  a dno  $98,2\text{ m}^2$ . tepelná kapacita kalové suspenze je  $4186,8\text{ J/kgK}$ . Nádrž jsem rozdělil na 4 části pro které spočtu koeficient prostupu tepla a tepelné ztráty.

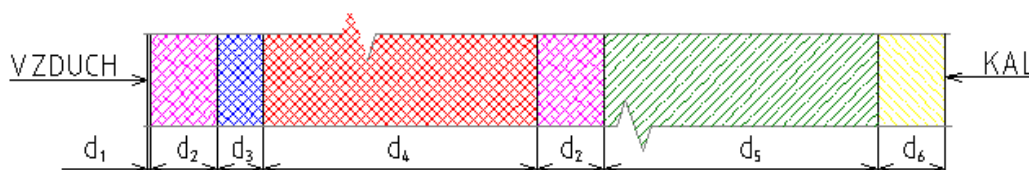
Tepelný tok, který je nutno dodat k ohřátí kalu

$$Q_K = c_K \cdot (T_K - T_P) \cdot Q_{mK}, \quad (7.11)$$

kde  $Q_K$  – tepelný tok (J/den)  
 $c_K$  – tepelná kapacita kalové suspenze (J/kgK)  
 $T_K$  – teplota uvnitř nádrže (°C)  
 $T_P$  – teplota přivedeného kalu (°C)  
 $Q_{mK}$  – hmotnostní tok kalu (kg/den)

$$Q_K = 4186,8 \cdot (38 - 10) \cdot 106080 = 1,244 \cdot 10^{10} \text{ J / den} \approx 3455,5 \text{ kW / den}$$

### 1. část: strop



Obr. 7.5 detail stěny stropu – A

Materiál	Tloušťka [m]	Tepelná vodivost materiálu [W/mK]
plech	$d_1=0,001$	$\lambda_1=58,139$
cementovaný potěr	$d_2=0,03$	$\lambda_2=0,931$
vodotěsná izolace	$d_3=0,02$	$\lambda_3=0,697$
tepelná izolace	$d_4=0,12$	$\lambda_4=0,093$
železobeton	$d_5=0,12$	$\lambda_5=1,512$
omítka	$d_6=0,03$	$\lambda_6=0,931$

Koeficient přestupu tepla stěna – vzduch:  $\alpha_1 = 9,372 \text{ W/m}^2\text{K}$   
 plyn – stěna:  $\alpha_2 = 9,372 \text{ W/m}^2\text{K}$

Koeficient prostupu tepla

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (7.12)$$

kde  $k$  – koeficient prostupu tepla ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )  
 $\alpha_1$  – koeficient přestupu tepla ze suspenze do stěny ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )  
 $\alpha_2$  – koeficient přestupu tepla ze stěny do okolního prostředí ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )  
 $d_i$  – tloušťka vrstvy (m)  
 $\lambda_i$  – tepelná vodivost materiálu ( $\text{W/mK}$ )

Koeficient prostupu tepla pro strop

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \frac{d_5}{\lambda_5} + \frac{d_6}{\lambda_6} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{9,372} + \frac{0,001}{58,139} + \frac{0,03}{0,931} + \frac{0,02}{0,697} + \frac{0,12}{0,093} + \frac{0,03}{0,931} + \frac{0,12}{1,512} + \frac{0,03}{0,931} + \frac{1}{9,372}} = 0,585 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

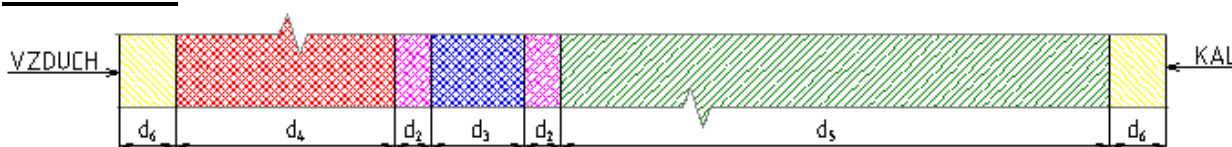
Tepelné ztráty pro strop

$$Q = k \cdot (T_K - T_V) \cdot S, \quad (7.13)$$

kde  $Q$  – tepelný tok ztrátový (W)  
 $k$  – koeficient prostupu tepla ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )  
 $T_K$  – teplota uvnitř nádrže ( $^\circ\text{C}$ )  
 $T_V$  – teplota vně nádrže ( $^\circ\text{C}$ )  
 $S$  – plocha prostupu tepla ( $\text{m}^2$ )

$$Q_1 = 0,585 \cdot (38 - (-20)) \cdot 98,2 = 3334 \text{ W} = 3,3 \text{ kW}$$

## 2. část: stěna



Obr. 7.6 detail stěna - B

Materiál	Tloušťka [m]	Tepelná vodivost materiálu [W/mK]
cementovaný potěr	$d_2=0,02$	$\lambda_2=0,931$
vodotěsná izolace	$d_3=0,05$	$\lambda_3=0,697$
tepelná izolace	$d_4=0,12$	$\lambda_4=0,093$
železobeton	$d_5=0,30$	$\lambda_5=1,512$
omítka	$d_6=0,03$	$\lambda_6=0,931$

Koeficient přestupu tepla stěna – kal:  $\alpha_1 = 348,889 \text{ W/m}^2\text{K}$   
 stěna – vzduch:  $\alpha_2 = 9,372 \text{ W/m}^2\text{K}$

Koeficient prostupu tepla pro stěnu

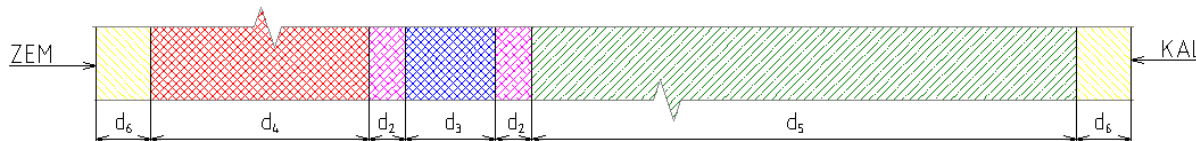
$$k_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{21}} + \frac{d_6}{\lambda_6} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_5}{\lambda_5} + \frac{d_6}{\lambda_6} + \frac{1}{\alpha_{22}}},$$

$$k_2 = \frac{1}{\frac{1}{348,889} + \frac{0,03}{0,931} + \frac{0,12}{0,093} + \frac{0,02}{0,931} + \frac{0,05}{0,697} + \frac{0,02}{0,931} + \frac{0,30}{1,512} + \frac{0,03}{0,931} + \frac{1}{9,372}} = 0,563 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Tepelné ztráty pro stěnu

$$Q_2 = k_2 \cdot (T_K - T_V) \cdot S_1,$$

$$Q_2 = 0,563 \cdot (38 - (-20)) \cdot 314,2 = 1025 \text{ W} = 10,3 \text{ kW}$$

**3. část stěna v zemi**

Obr. 7.7 detail stěny - C

Materiál	Tloušťka [m]	Tepelná vodivost materiálu [W/mK]
cementovaný potěr	$d_2=0,02$	$\lambda_2=0,931$
vodotěsná izolace	$d_3=0,05$	$\lambda_3=0,697$
tepelná izolace	$d_4=0,12$	$\lambda_4=0,093$
železobeton	$d_5=0,30$	$\lambda_5=1,512$
omítka	$d_6=0,03$	$\lambda_6=0,931$

Koeficient přestupu tepla stěna – kal:  $\alpha_1 = 348,889 \text{ W/m}^2\text{K}$   
 stěna – zem:  $\alpha_2 = 5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$

Koeficient prostupu tepla pro stěnu

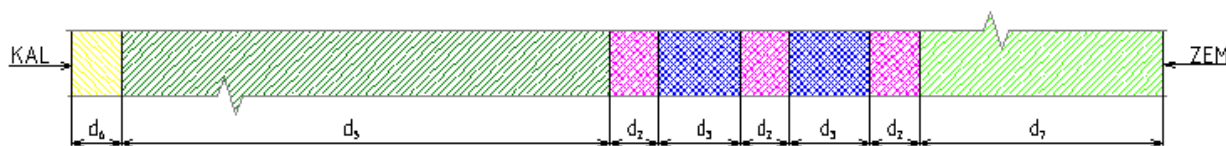
$$k_3 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{21}} + \frac{d_6}{\lambda_6} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_5}{\lambda_5} + \frac{d_6}{\lambda_6} + \frac{1}{\alpha_{22}}}$$

$$k_3 = \frac{1}{\frac{1}{348,889} + \frac{0,03}{0,931} + \frac{0,12}{0,093} + \frac{0,02}{0,931} + \frac{0,05}{0,697} + \frac{0,02}{0,931} + \frac{0,30}{1,512} + \frac{0,03}{0,931} + \frac{1}{5,7}} = 0,542 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Tepelné ztráty pro stěnu

$$Q_3 = k_2 \cdot (T_K - T_V) \cdot S_4,$$

$$Q_3 = 0,542 \cdot (38 - (-8)) \cdot 31,42 = 782,8 \text{ W} = 0,8 \text{ kW}$$

**4. část: dno**

Obr. 7.8 detail stěny dna - D

Materiál	Tloušťka [m]	Tepelná vodivost materiálu [W/mK]
cementovaný potěr	$d_2=0,03$	$\lambda_2=0,931$
vodotěsná izolace	$d_3=0,05$	$\lambda_3=0,697$
železobeton	$d_5=0,30$	$\lambda_5=1,512$
omítka	$d_6=0,03$	$\lambda_6=0,931$
podkladní beton	$d_7=0,15$	$\lambda_6=1,279$

Koeficient přestupu tepla stěna – kal:  $\alpha_1 = 348,889 \text{ W/m}^2\text{K}$   
 stěna – zem:  $\alpha_2 = 5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$

Koeficient prostupu tepla pro dno

$$k_4 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{21}} + \frac{d_6}{\lambda_6} + \frac{d_5}{\lambda_5} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_7}{\lambda_7} + \frac{1}{\alpha_3}}$$

$$k_4 = \frac{1}{\frac{1}{348,889} + \frac{0,03}{0,931} + \frac{0,30}{1,512} + \frac{0,03}{0,931} + \frac{0,05}{0,697} + \frac{0,03}{0,931} + \frac{0,05}{0,697} + \frac{0,03}{0,931} + \frac{0,15}{1,279} + \frac{1}{5,7}} = 1,305 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K}$$

Tepelné ztráty pro dno

$$Q_4 = k_3 \cdot (T_K - T_p) \cdot S_4,$$

$$Q_4 = 1,305 \cdot (38 - (-8)) \cdot 98,2 = 5894 \text{ W} = 5,9 \text{ kW}$$

Vlastní tepelné ztráty celé vyhnívací nádrže za den

$$Q_Z = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (7.14)$$

$$Q_Z = 3,334 + 10,25 + 0,8 + 5,894 = 20,3 \text{ kW} = 487,2 \text{ kW} / \text{den}$$

Celkový tepelný tok, který je nutno dodat pro vyhnívací nádrž

$$Q_C = Q_K + Q_Z, \quad (7.15)$$

$$Q_C = 3455,5 + 487,2 = 3942,7 \text{ kW} / \text{den}$$

Dále budeme uvažovat 10 % ztráty potrubím. V tom případě celkový tepelný tok:

$$Q_{CC} = 1,1 \cdot Q_C = 1,1 \cdot 3942,7 = 4336,9 \text{ kW} / \text{den}$$

## 7.7 Volba kogenerační jednotky

Na základě denní produkce bioplynu 1013,1 m<sup>3</sup> volím kogenerační jednotku od firmy Tedom typ Cento T120 SP BIO. Která spálí denní produkci bioplynu za 19,5 hodiny.

Název	Elektrický výkon [kW]	Tepelný výkon [kW]	Spotřeba plynu [m <sup>3</sup> /h]
Cento T120 SP BOI	125	163	52,5

Tab. 7.1 Parametry kogenerační jednotky



Obr. 7.9 kogenerační jednotka[5]

## 7.8 Volba výměníku tepla

Výměník tepla byl zvolen na základě výpočtového programu na stránkách firmy K&H KINETIC. Je to šroubovicový výměník voda – kal TVVK6 s výkonem 161 kW obr.7.11.

<input type="checkbox"/> Návrh výměníku	<input checked="" type="checkbox"/> Výpočet výměníku	tvvk6	
<input checked="" type="checkbox"/> Zadat průtoky			
Vstupní teplota vody	90 °C	Teplosměnná plocha	6.58 m <sup>2</sup>
Vstupní teplota kalu	37.3 °C	Průřez štěrbin vody	27.4 cm <sup>2</sup>
Průtok topné vody	1 dm <sup>3</sup> /s	Průřez štěrbin kalu	124.3 cm <sup>2</sup>
Průtok kalu	8 dm <sup>3</sup> /s	Sířka štěrbin vody	10.0 mm
		Sířka štěrbin kalu	44.0 mm

Obr. 7.10 Parametry výměníku [5]

Voda		
Výstupní teplota	[°C]	83,058
Rychlost	[m/s]	0,729
Reynolds	[-]	34593,7
Alfa	[W/mK]	4772,56
Tlakové ztráty	[kPa]	23,982

Tab. 7.2 a) Výstupní parametry vody

Kal		
Výstupní teplota	[°C]	83,058
Rychlost	[m/s]	0,729
Reynolds	[-]	34593,7
Alfa	[W/mK]	4772,56
Tlakové ztráty	[kPa]	23,982

Tab. 7.2 b) Výstupní parametry kalu



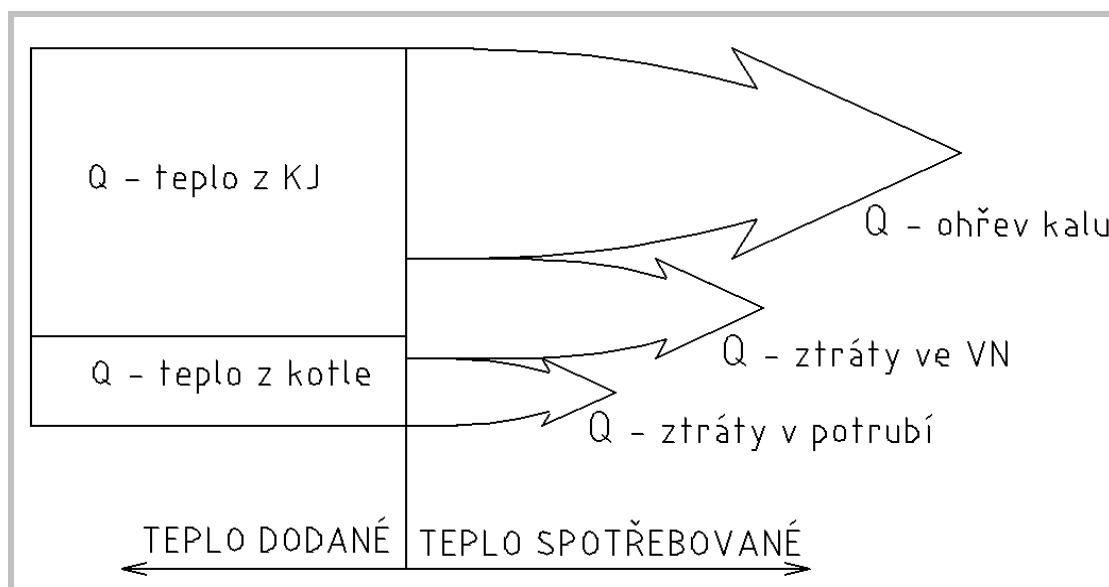
Obr. 7.11 Šroubovicový výměník[5]



## 7.9 Tepelná bilance

Tepelná bilance je provedena podle schématu na obr.7.12, kdy množství tepla dodaného se musí rovnat množství tepla spotřebovaného. Do tab.7.4 jsou názorně dosazené hodnoty bilančních jednotek.

Protože není, k ohřevu kalu, dostatečně množství tepla produkovaného kogenerační jednotkou, bude nutné tento rozdíl dorovnávat za pomoci přitápěním teplovodním kotlem na zemní plyn od firmy TH typu THP 240 IN na obr.7.13. V tabulce tab.7.3 jsou uvedeny hodnoty tepla a množství zemního plynu potřebné k přitápění, jestliže počítám s výhřevností zemního plynu  $34 \text{ MJ/m}^3$ . Pro přepočítání kW na MJ jsem použil vztah:  $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$ .



Obr. 7.12 Schéma tepelné bilance

Zima	Celk. Potřebné teplo k ohřevu	MJ	14371
	Teplo z KJ	MJ	11302,2
	Teplo z kotle na ZP	MJ	3068,8
	Množství ZP	$\text{m}^3/\text{den}$	90,26
	Doba chodu	hod/den	3,3

Tab. 7.3 Hodnoty tepla a množství ZP potřebné k přitápění



Obr. 7.13 teplovodní kotel [10]



## TEPELNÁ BILANCE ANAEROBNÍ ČÁSTI ČOV

		Jednotky	Zima
Teplo dodané	Teplo z KJ	MJ	11302,2
	Teplo z kotle	MJ	3068,8
	<b>Celkem</b>	<b>MJ</b>	<b>14371</b>
Teplo spotřebované	Q – ohřev kalu	MJ	12441,6
	Q – ztráty VN	MJ	1753,92
	Q – ztráty potrubí	MJ	175,4
	<b>Celkem</b>	<b>MJ</b>	<b>14371</b>

Tab. 7.4 Hodnoty tepla a množství ZP potřebné k přitápění

Následující tabulka popisuje, kolik je vyrobeno celkem tepla a elektrické energie za den. Dále jsou zde náklady spojené s provozem kogenerační jednotky a dotápění teplovodním kotlem na zemní plyn. Cena za výkup elektrické energie je brána 3,05 Kč/kWh [11] cena za nákup zemního plynu 653,90 Kč/MWh [12].

	Jednotky	Zima
Potřeba tepla k ohřevu	MJ/den	12441,6
Tepelné ztráty ve VN	MJ/den	1753,92
Tepelné ztráty v potrubí	MJ/den	175,4
Celková potřeba tepla	MJ/den	14371
Teplo z kotle ZP	MJ/den	3068,8
Vyrobena elektrická energie	kW/den	2437,5
Prodej elektrické energie	Kč/den	+7434,4
Nákup zemního plynu	Kč/den	-557,4
Provozní náklady KJ	Kč/den	-1000
<b>Celkem</b>	<b>Kč/den</b>	<b>+5877</b>

Tab. 7.5 Ekonomická bilance ohřevu

Z výsledku v tabulce tab. 7.5 vyplývá, že provoz anaerobní části ČOV se může pohybovat i v kladných číslech. A tyto prostředky se mohou využít v rozpočtu ČOV.

## 8. ZÁVĚR

Předmětem této bakalářské práce bylo popsat tepelnou bilanci anaerobní části ČOV. V úvodní části práce je popsán vývoj, který vedl k budování ČOV. Dále se zabývám konkrétním popisem ČOV. Důraz byl kladen na anaerobní zpracování kalu. Je zde popsán princip stabilizace, výhody a nevýhody a její uplatnění. V navazující kapitole se zabývám samotným návrhem vyhnívací nádrže. Byly zde nastíněny různé aspekty, které se musí brát v úvahu při samotném návrhu nádrže. Jako je materiál potřebný na stavbu, volba izolace, míchání a vytápění. Byly zde popsány všechna media, která souvisí s provozem vyhnívací nádrže. Také je zde naznačeno, jak se dá využít stabilizovaný kal.

Výpočtová část je věnována množství kalu, které vznikne v čistírně o velikosti 60 tis. EO. Je zde proveden samotný výpočet nádrže a produkce bioplynu. Pro danou čistírnu je potřeba dvou vyhnívacích nádrží o celkovém objemu 2200 m<sup>3</sup> a plynojem o objemu 570 m<sup>3</sup>. Dále je navržena tepelná izolace pro vyhnívací nádrž. Vypočteno množství tepla, které se ztratí v důsledku prostupu stěnami a teplo potřebné k udržení stálé teploty uvnitř vyhnívací nádrže. Pro zajištění ohřevu kalu byla navržena kogenerační jednotka s výměníkem tepla. V dalším kroku při výpočtu samotné tepelné bilance, ze které vyplývá, že dodané teplo z kogenerační jednotky nestačí k ohřátí kalu na požadovanou teplotu. Proto musel být navržen teplovodní kotel na přitápění v zimním období. Z tepelné bilance také vyplývá, že výrobou elektrické energie a její následným prodejem se dá vylepšit celkový rozpočet ČOV o cca 5877 Kč za den.

Vypočtené údaje dávají základní představu o energetické a finanční náročnosti anaerobní části ČOV. Tyto výpočty jsou jenom částí celkového bilance ČOV. A mohou se měnit na základě použitých materiálů, technologií a specifikace konkrétního problému.

---

**9 SEZNAM POUŽITÉ LITERUTURY**

- [1] DOHÁNYOS, M. a kolektiv : *Anaerobní čistírenské technologie*. 1 vydání. Brno: Noel 2000 s.r.o., 1998. 340 s. ISBN 80-86020-19-3
- [2] TUČEK, F., CHUDOBA, J., KONÍČEK, Z. : *Základní procesy a výpočty technologií vody*. 2 přepracované vydání. Praha : SNTL, 1988. 640 s.
- [3] HLAVÍNEK, P., HLAVÁČEK, J., JEŽ, M.,. : *Čistění odpadních vod – praktické příklady výpočtů*. VUT Brno: 1995. 135 s.
- [4] PYTL, V. a kolektiv : *Příručka provozovatele čistírny odpadních vod*. 1 .vydání. Příbram: PĚB tisk, s.r.o., 2004. 210 s. ISBN 80-239-2528-8
- [4] TEDOM s.r.o. [online]  
Dostupné z < <http://kogenerace.tedom.cz/vyrobky-kogeneracni-jednotky-na-zemni-plyn.html>>, [cit. 2008-4-15].
- [5] K&H KINETIC a.s. [online]  
Dostupné z <<http://www.kh-kinetic.cz/home/velke/ramec.html>>, [cit. 2008-4-15].
- [6] Brněnské vodárny a kanalizace a.s.[online]  
Dostupné z <<http://www.bvk.cz/page.jsp?lang=cz&firstLevel=29&secondLevel=43&thirdLevel=45>>, [cit. 2008-2-12].
- [6] Wikipedie.[online]  
Dostupné z <[http://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cist%C3%ADrna\\_odpadn%C3%ADch\\_vod](http://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cist%C3%ADrna_odpadn%C3%ADch_vod)>, [cit. 2008-2-12].
- [7] Ministerstvo zemědělství ČR.[online]  
Dostupné z < [http://www.mze.cz/attachments/Katalog\\_opatreni/2\\_intenzifikace\\_COV.pdf](http://www.mze.cz/attachments/Katalog_opatreni/2_intenzifikace_COV.pdf)>, [cit. 2008-2-12].
- [8] BUŇATA, T. – Čistírny odpadních vod.[online]  
Dostupné z <<http://tnet.bunata.cz/czu/Cistirny%20odpadnich%20vod/reserzni%20semestralni%20prace%20Final%20proCOV.pdf>>, [cit. 2008-2-12].
- [9] The Waste.[online]  
Dostupné z < [http://www.waste.cz/pdf/05-04/technolog\\_zprac\\_kalu.pdf](http://www.waste.cz/pdf/05-04/technolog_zprac_kalu.pdf)>, [cit. 2008-4-20].
- [10] TH. s.r.o. [online]  
Dostupné z < [http://www.th-kotle.cz/ceska\\_verze/katalog.htm](http://www.th-kotle.cz/ceska_verze/katalog.htm)>, [cit. 2008-5-2].
- [11] Energetický regulační úřad.[online]  
Dostupné z <<http://www.eru.cz/>>, [cit. 2008-4-25].
- [12] Jihomoravská plynárenská a.s.[online]  
Dostupné z <<http://www.rwe-jmp.cz/cs/zakaznici/obec-statni-sprava/ceny-zemniho-plynu/>>, [cit. 2008-4-25].
-

## **10 SEZNAM PŘÍLOH**

1. Technologické schéma mezofilní anaerobní stabilizace