

MORAVSKÁ VYSOKÁ ŠKOLA OLMOUC

Ústav managementu a marketingu

Jiří Machovec

**Způsoby recyklace a maximálního energetického využití  
odpadů z čištění městských odpadních vod**

Methods of the Maximum Energetical Utilization and Recycling  
of Wastes from Wastewater Treatment

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Anežka Machátová

Olomouc 2012

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jen informační zdroje uvedené v soupisu literatury a pramenů.

Praha 29.3.2012

Jiří Machovec

Děkuji Ing. Anežce Machátové za odborné vedení bakalářské práce a za cenné rady při jejím zpracování. Dále děkuji Ing. Lud'ku Pospěchovi, manažerovi Ústřední čistírny odpadních vod v Praze, za poskytnutí provozní dokumentace a dat.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	6
<b>I. Teoretická část</b> .....	8
<b>1 Odpady vznikající v procesu čištění odpadních vod</b> .....	8
1.1 Odpady z mechanického stupně čištění .....	9
1.1.1 Hrubé předčištění - lapače šterku, lapače písku .....	9
1.1.2 Česle - plovoucí nečistoty.....	10
1.1.3 Usazovací nádrže - primární kal .....	11
1.2 Odpady z biologického stupně čištění .....	11
1.2.1 Dosazovací nádrže - přebytečný biologický kal .....	12
<b>2 Zacházení s odpady</b> .....	13
2.1 Odpady anorganické, šterk a písek .....	13
2.2 Odpady organické, plovoucí nečistoty a kaly .....	14
2.2.1 Primární kal .....	14
2.2.2 Přebytečný biologický kal .....	15
2.2.3 Surový směsný kal .....	16
2.3 Anaerobní stabilizace kalů .....	16
2.3.1 Produkty anaerobní stabilizace .....	20
2.3.2 Zacházení s bioplynem .....	20
2.3.3 Zacházení se stabilizovaným kalem, základní zásady pro využívání a odstraňování kalů .....	21
2.3.4 Finální způsoby zpracování a nakládání s kaly .....	23
2.3.5 Využití cenných vlastností kalů .....	25
<b>II. Praktická část</b> .....	27
<b>3 Technologie čištění městských odpadních vod na Ústřední čistírně odpadních vod v Praze (dále jen ÚČOV)</b> .....	27
3.1 Anaerobní stabilizace na ÚČOV Praha .....	29
3.1.1 Intenzifikace anaerobní stabilizace .....	30

3.2	Produkty anaerobní stabilizace na ÚČOV .....	34
3.2.1	Zacházení se stabilizovaným kalem .....	35
3.2.2	Zacházení s bioplynem .....	35
<b>4</b>	<b>Energocentrum na ÚČOV Praha .....</b>	<b>39</b>
4.1	Produkce bioplynu .....	40
4.2	Produkce elektrické energie .....	42
4.3	Produkce tepla .....	43
4.4	Energetická bilance ÚČOV .....	45
<b>5</b>	<b>Návrh na energetické využití odvodněného stabilizovaného kalu na ÚČOV Praha .....</b>	<b>47</b>
5.1	Hmotnostní bilance produkce odvodněného stabilizovaného kalu .....	47
5.2	Problematika současného nakládání s odvodněným stabilizovaným kalem .....	47
5.3	Možnosti sušení odvodněného stabilizovaného kalu a změna jeho vlastností ...	48
5.4	Energetická bilance sušení, možnosti vlastních zdrojů tepelné energie .	49
5.5	Energetické využití vysušených odvodněných kalů, jako poslední stupeň jejich úplné recyklace .....	51
<b>6</b>	<b>Jak dosáhnout úplné energetické soběstačnosti čistírny odpadních vod .....</b>	<b>52</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>54</b>
	<b>ANOTACE .....</b>	<b>56</b>
	<b>LITERATURA A PRAMĚNY .....</b>	<b>58</b>
	<b>SEZNAM ZKRATEK .....</b>	<b>59</b>
	<b>SEZNAM ZNAČEK .....</b>	<b>60</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>61</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>62</b>
	<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>63</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>64</b>
	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>65</b>

# ÚVOD

V této práci se zabývám odpady vzniklými při čištění městských odpadních vod v Ústřední čistírně odpadních vod Praha. Odpady, jejichž množství v kontinuálně provozovaném čistírenském procesu narůstá, je nutno soustavně odstraňovat. Obecně se odpady, jako dále nepoužitelný produkt, likvidují a to nejrozličnějším způsobem. Odpady se mohou ukládat na skládku, mohou se jednoduše spalovat, dříve se také ukládaly na dna oceánů a podobně. Odpady, s nimiž se zachází popsánymi způsoby, zatěžují a nebo přímo poškozují životní prostředí a proto uvedený způsob ukládky na mořské dno je již zakázán.

V práci se chci zaměřit spíše než na samotnou likvidaci odpadů na využití jejich vlastností, na jejich přínos. Co ještě nám, jako společnosti mohou dát, jak s nimi naložit tak, abychom z nich měli ještě užitek. Dnes již téměř nikoho nepřekvapí pojem tříděný odpad, většina lidí si bohužel dosud neuvědomuje, proč se odpady třídí. Málokdo ale tuší, že odpady obsažené v odpadní vodě z domácností a průmyslu obsahují po jejím vyčištění významnou složku – organické látky, které se po vhodném zpracování dají velmi dobře využít jako zdroj energie. Toto je, myslím, velmi důležité v době, kdy se zásoby fosilních paliv na zemi neustále zmenšují. V současné době se na celé planetě hledají způsoby jak a čím tato paliva nahradit, jak si připravit dostatečné nové zdroje pro získávání energií a zejména se soustřeďuje pozornost na takové zdroje energie, které jsou obnovitelné.

Práce má dvě části, část teoretickou a praktickou. V teoretické části se zaměřuji na obecný popis technologie čištění odpadních vod, její jednotlivé části a jejich funkce. Analyzuji ty části procesu, ve kterých vznikají různé druhy odpadů. Teoretická část také obsahuje popis významného produktu, kterým je bioplyn, vznikající transformací odpadních organických látek při anaerobní stabilizaci kalů v procesu čištění městských odpadních vod.

V praktické části se zabývám podrobně anaerobní stabilizací kalů na Ústřední čistírně odpadních vod v Praze, jako procesem, kterým se významně zhodnocuje kal,

vznikající jako odpad, tedy produkcí bioplynu a jeho následným zpracováním, využitím. Dále se v praktické části věnuji konkrétnímu způsobu zpracování kalů na Ústřední čistírně odpadních vod v Praze, bilancím hmotnostním i energetickým, účinnosti jednotlivých stupňů a návrhem na způsob úplného využití chemické energie v kalech.

V této části práce využívám svých znalostí a zkušeností, které jsem získal ve svém profesním životě. Více než 20 let pracuji ve vodním hospodářství. Celou tuto dobu působím v oboru čištění odpadních vod na Ústřední čistírně odpadních vod v Praze, (dále jen ÚČOV). V současnosti pracuji na úseku kalového hospodářství ÚČOV. Mé pracovní činnosti mimo jiné vyžadují sledování produkcí jednotlivých odpadů a nakládání s nimi, jejich správné využívání.

Cílem této práce je, především ukázat výhodnost výroby a energetického využití bioplynu jeho spalováním v kogeneračních jednotkách na ÚČOV a výrobě elektrické energie a tepla. Ze získaných dat chci poukázat na mimořádně výhodnou ekonomiku tohoto řešení. Dále pomocí syntézy chci ukázat jak, docílit významného snížení hmotnosti vznikajících odpadů a úplného energetického využití těchto odpadů a zároveň naznačit možnosti a způsoby, jak toho dosáhnout.

Postup v praktické části je zaměřen na zpracování odpadu I. řádu, tj. surového směsného kalu. Z tohoto odpadu získáme cenný zdroj energie – bioplyn. Současně ale vznikne další odpad, odpad II. řádu. Protože obsahuje organické látky, které jsou zdrojem chemické energie, spojuji energetické proporce procesu zpracování bioplynu v energocentru s vlastnostmi tohoto odpadu. Navrhnou, jak zvýšit jeho užitné vlastnosti tak, aby nebyl ukládán na skládku, ale představoval zdroj energie spalováním.

# I. Teoretická část

## 1 Odpady vznikající v procesu čištění městských odpadních vod

Komunální odpadní vody (splšky) jsou odpadní vody z domácností, které neobsahují odpadní vody průmyslové. Takovéto vody by se vyskytovaly ve městech, kde není žádný průmysl. V současnosti ale většina městských odpadních vod obsahuje i podíl odpadních vod průmyslových (například pivovarské, mlékárenské, jateční, aj.). Odpadní vody z potravinářských výroby se významně neliší od splšků, pouze je jejich znečištění zpravidla vyšší.

Podle Chudoby splškové vody jsou zpravidla zbarveny šedě až šedohnědě a jsou silně zakalené. Jejich teplota se v České republice pohybuje od 5 do 20°C v závislosti na ročním období a hodnota pH je v rozmezí od 6,8 do 7,5.<sup>1</sup>

Přítok odpadní vody do čistírny odpadních vod a její složení kolísají během dne, týdne i roku. Maxima i minima závisí na složení obyvatelstva, jejich způsobu života, na množství průmyslových podniků v daném městě a podobně. Maxima na čistírnách odpadních vod v České republice se obvykle dosahuje ve večerních hodinách, minima pochopitelně v hodinách ranních.

**Tab. 1 - Množství látek v gramech produkované jedním obyvatelem za den a odpovídající hodnoty BSK<sub>5</sub> jako ukazatele znečištění.<sup>2</sup>**

Látky	Anorganické	Organické	Veškeré	BSK
<b>Nerozpuštěné</b>	15	40	55	30
<i>Usaditelné</i>	10	30	40	20
<i>Neusaditelné</i>	5	10	15	10
<b>Rozpuštěné</b>	75	50	123	30
<b>Veškeré</b>	90	90	180	60

<sup>1</sup> Srov. CHUDOBA, J., DOHÁNYOS, M., a WANNER J., *Biologické čištění odpadních vod*, s. 52

<sup>2</sup> Srov. CHUDOBA, J., DOHÁNYOS, M., a WANNER J., *Biologické čištění odpadních vod*, s. 53



**Poznámka:** BSK<sub>5</sub> - biochemická spotřeba kyslíku, je faktor, vyjadřující množství biologicky odbouratelných organických látek. Je to množství kyslíku, spotřebovaného na oxidaci organických látek aerobní biocenózou za 5 dní při definovaných aerobních podmínkách.<sup>3</sup>

Městské čistírny odpadních vod se zpravidla podrobují procesu dvoustupňového čištění. První stupeň je mechanické čištění, druhý stupeň je čištění biologické. V každém z těchto stupňů vznikají při procesu čištění odpadních vod různé druhy odpadů. Některé čistírny odpadních vod mohou mít i třetí - terciální stupeň. Jedná se o dočištění biologicky vyčištěných vod.

Podle Pytla toto obvykle požaduje vodoprávní orgán ve vodohospodářsky exponovaných lokalitách, kde se požaduje lepší nebo spolehlivěji zajištěná kvalita odtoku do recipientu, než je tomu u mechanicko - biologické čistírny odpadních vod.<sup>4</sup>

Následuje stručný popis čistícího procesu na ČOV a vznikajících odpadů.

## **1.1 Odpady z mechanického stupně čištění**

Mechanický stupeň čištění je na čistírně odpadních vod vždy jako první stupeň. Zde se separují z odpadní vody dispergované odpadní látky, které na čistírnu přitečou spolu s odpadní vodou přivádějíci stokou. Jsou to látky hrubě dispergované a to minerální a organické a látky jemně dispergované a usaditelné, rovněž minerální a organické. Separace těchto látek se provádí způsobem, podle povahy dispergovaných látek

### **1.1.1 Hrubé předčištění – lapáky štěrku, lapáky písku**

Lapáky štěrku se umísťují bezprostředně na přítoku odpadních vod. Jsou to nálevkovité prohlubně ve dně přírodního žlabu, kde se shromažďují hrubé a těžké částice minerálního původu. Tyto složky jsou sunuté po dně stok v proudu odpadních vod, jako štěrk, úlomky cihel, betonu, zlomky z poškozených kanalizačních trub a šachet atd.

---

<sup>3</sup> Srov. CHUDOBA, J., DOHÁNYOS, M., a WANNER J., *Biologické čištění odpadních vod*, s. 53

<sup>4</sup> Srov. PYTL, V., aj., *Příručka provozovatele čistírny odpadních vod*, s. 100

Lapáky jsou strojně vyklíženy pomocí pojízdného jeřábu s drapákovou lžící. Správná funkce lapáku šterku je dobrým ochranným prvkem dalších zařízení čistírny. V lapáku písku, který je zařazen jako další prvek, se zachycuje převážná část zrn písku splaveného z ulic, parků, vozovek, který odpadní voda ve stoce stačí dopravit až k čistírně odpadních vod. Lapákem písku se podstatně zlepšuje čistící proces, neboť, písek se nedostane do strojních součástí v čistírně. Vyšší účinnosti sedimentace písku se dosahuje provzdušňováním odpadní vody, které vytváří příčnou cirkulaci a tak proud suspense písku je spirálovitý. To má za následek delší zdržení v lapáku a méně organických látek na zrnech písku.

„Důvod pro odstraňování písku odděleně od ostatních nerozpuštěných organických látek, které se odstraňují v sedimentační nádrži je následující. Písek má přibližně dvojnásobnou hustotu než organické nerozpuštěné látky. Kdyby se takto rozdílné nečistoty zachytily spolu v usazovacích nádržích, dostal by se písek společně se smíchaným kalem až do nádrží vyhnívacích, kde by – vzhledem k relativně vysoké hustotě ( $2,2 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ ) – sedimentoval u dna a nevyplavil by se. Hromadění písku by zmenšovalo účinný objem vyhnívací nádrže, až nakonec by se musela vyhnívací nádrž odstavit a pracně vyklidit.“<sup>5</sup>

Podle Pytla a kol. písek ani kal nejsou znehodnocovány (písek vytváří s kalem, zvláště po delší době usazování, poměrně pevnou a plastickou hmotu). V lapáku se mají zachytit všechny anorganické částice větší než 0,2 mm tak, aby organické nečistoty nebyly zatěžovány mineráliemi (znehodnocování kalu pro zemědělské využívání, problémy při odvodňování kalu s vysokým podílem anorganického podílu – více než 50 % a pod).<sup>6</sup>

### 1.1.2 Česle – plovoucí nečistoty

Česle slouží jako ochrana strojního zařízení čistíren, hlavně čerpadel. Surová odpadní voda přitékající na ČOV obsahuje plovoucí látky, jako hadry, vlákna, fekálie, různé kuchyňské, domovní a jiné odpadky, kusy dřeva, plasty a jiné unášené splaveniny, vesměs organického charakteru. Tyto splaveniny se musí z odpadní vody odstranit,

---

<sup>5</sup> CHUDOBA, J., DOHÁNYOS, M., a WANNER J., *Biologické čištění odpadních vod*, s. 58

<sup>6</sup> Srov. PYTL, V., aj., *Příručka provozovatele čistírny odpadních vod*, s. 61

protože jinak by mohlo dojít k ucpání potrubí, žlabů, otvorů, čerpadel nebo tato zařízení dokonce poškodit. Pro účely zachycení a odstranění těchto nežádoucích pevných látek slouží česle. Zachycený materiál nazýváme shrabky.

### **1.1.3 Usazovací nádrže – primární kal**

Posledním zařízením v řadě mechanického stupně jsou usazovací nádrže (usazovárky). Slouží k separaci jemných, usaditelných látek a to jak minerálních, tak i organických, které převažují. Jedná se obvykle o kruhové nádrže s kuželovitým dnem, avšak jsou používány i usazovárky podélné. Odpadní voda po průchodu lapákem písku se přivádí do středu usazovárky, odtok je přes přelivnou hranu na obvodu. Zpomalením proudění, a dostatečnou dobou zdržení jsou vytvořeny podmínky pro gravitační separaci jemně dispergovaných usaditelných částic. Částice se shromažďují na šikmém dně nádrže a vytváří kalovou zónu, která se mechanickými shrabovárkami stírá do kalové jímky ve středu dna nádrže, odkud se odčerpává. Kal zachycený v usazovacích nádržích se nazývá primární kal. Usazovací nádrže jsou ještě vybaveny stíracím zařízením, které odstraňuje z hladiny plovoucí částice, především tuky.

## **1.2 Odpady z biologického stupně čištění**

Mechanicky vyčištěná voda odtéká z usazovárků a přivádí se na biologické čištění. Tato voda obsahuje rozpuštěné organické látky a zbylé jemně dispergované částice, které nebyly separovány v usazovacích.

Podstatou biologického čištění, které probíhá v tzv. aktivačních nádržích, je proces, kdy se směsná kultura mikroorganismů za intenzivního provzdušňování ve vznosu kultivuje v prostředí odpadní vody. Dochází k tomu, že tato biocenóza spotřebovává organické látky ze znečištění jako zdroj energie a zároveň jako stavební látky pro svůj růst. Tak se vlastně přeměňují rozpuštěné organické látky syntézou na nerozpustnou biomasu, která je dalším druhem odpadu. Odpad, který vzniká při biologickém čištění odpadních vod, se nazývá kalem biologickým, aktivovaným.

Syntézou nové biomasy se odstraňuje z odpadních vod i část dusíku a fosforu.

### 1.2.1 Dosazovací nádrže - přebytečný biologický kal

Suspenze biomasy se od vyčištěné vody separuje v dosazovacích nádržích. Dosazovací nádrže jsou stavebně podobné jako nádrže usazovací a fungují obdobně, jen s tím rozdílem že v tomto případě není instalováno zařízení na stírání plovoucích částic z hladiny, která je čistá.

Biologický kal - biomasa – se rovněž odčerpává z kalové jímky v centrální části kónického dna dosazovací nádrže. Z procesu aktivace vyplývá, že dochází k růstu biomasy, zvyšuje se její množství. Proto se odčerpávaný biologický kal rozděluje na dva proudy. Jeden proud - přebytečná biomasa – přebytečný biologický kal je potrubím odváděn k dalšímu zpracování do kalového hospodářství čistírny. Druhý proud biologického kalu se nazývá vratným kalem a je zaveden na vstup do aktivace, kde se mísí s přiváděnou mechanicky vyčištěnou vodou. V aktivaci dochází jeho opětovnému namnožení, separaci v dosazovacích nádržích atd.

Dosazovací nádrže jsou v technologické lince čištění odpadních vod zpravidla jako poslední článek. Vyčištěná voda z nich odtéká již do recipientu, zpravidla do vodoteče. Tím je dán jejich obrovský význam a důležitost. Správným provozováním této nádrže lze významně ovlivnit kvalitu vypouštěné odpadní vody. Hlavním požadavkem je, aby sedimentace biologického kalu byla spolehlivá a nedocházelo k úniku jeho vloček s vyčištěnou vodou.

## 2 Zacházení s odpady

Problematicke zacházení s odpady vzniklých při procesu čištění odpadních vod se musí ze zákona č.185/2001 Sb. o odpadech věnovat každý majitel a provozovatel čistírny odpadních vod a musí mít zpracovaný plán odpadového hospodářství. Co nejučinnějším odstraněním jednotlivých druhů odpadů v procesu čištění odpadních vod umožní docílit předepsané kvality vyčištěné odpadní vody.

### Přehled jednotlivých odpadů a místa jejich vzniku na čistírně odpadních vod:

- |                             |                       |
|-----------------------------|-----------------------|
| • štěrk, písek              | lapače štěrku a písku |
| • shrabky                   | česle                 |
| • primární kal              | usazovací nádrže      |
| • přebytečný aktivovaný kal | dosazovací nádrže     |

### 2.1 Odpady anorganické - štěrk a písek

Štěrk a písek – nejčastěji se po jejich vytěžení ze záchytných míst na přívodní stoce ukládá do betonových van s upraveným dnem. Zde dochází k jejich dalšímu „odvodnění“. Zachycený, vytěžený štěrk a písek obsahují velký podíl odpadní vody a tím i velký podíl organických látek. Proto vykazují nepříjemné mechanické a hygienické vlastnosti. Zvýšeným obsahem organického podílu v sušině, narůstá jejich objem a hmotnost. Z tohoto důvodu se oba tyto odpady v záchytných vanách následně odvodňují, čímž se sníží i organický podíl v sušině. Tím dochází k lepší manipulovatelnosti při jejich finálním zneškodnění – odstranění.

Nejčastěji využívaný způsob jejich likvidace je ukládání na skládky komunálního odpadu. Z tohoto důvodu je nutné minimalizovat jejich objem a hmotnost.

Množství písků a štěrků zachycených na čistírně odpadních vod je z velké části závislé na povětrnostních podmínkách, zvláště na množství přívalových dešťů, nutnosti zimních posypů komunikací při sněžení a jejich následné splavení do kanalizačního systému při tání sněhu. Nemalý vliv má nekázeň některých stavebních firemtím, že porušují Kanalizační řád a vypouštějí do kanalizace stavební odpad, bentonit a podobně.

„Při separaci těchto mechanických nečistot nesmíme opominout ten fakt, že s jejich vydělením z dalšího technologického procesu čištění odstraňujeme také část organického znečištění, která je na ně vázána. Toto organické znečištění štěrků a písků je potom zdrojem problémů při jejich likvidaci.“<sup>7</sup>

Na některých čistírnách v zahraničí se tyto minerální produkty ve speciálních pračkách vypírají čistou vodou, takže jejich kvalita umožňuje zpětné využití ve stavebnictví.

## **2.2 Odpady organické - plovoucí nečistoty a kaly**

Plovoucí látky, jako jsou tuky a pěna, které se vyskytují na hladině usazovací nádrže se zachycují a odstraňují pomocí stíracích zařízení. Tímto se zlepšuje následný čistící proces. Takto shromážděné odpadní látky se zpracovávají v kalovém hospodářství.

### **2.2.1 Primární kal**

Primární kal vzniká v usazovací nádrži. Sedimentující částice znečišťujících látek v odpadní vodě vytváří vločky, které sedimentují ke dnu nádrže, kde se dále shlukují a vytvářejí tak primární kal. Tento je postupně odčerpáván do objektů kalového hospodářství k dalšímu využití a zpracování. Aby se vločky lépe tvořily a lépe sedimentovaly, přidávají se do odpadní vody na vstupu do nádrže chemikálie, které napomáhají tvorbě vloček. Jedná se flokulant, který současně slouží k odstraňování fosforu.

Flokulant je organická makromolekulární látka, jejíž malý přírůstek do kalové disperze urychlí tvorbu látek tak, že se na polymerní molekulu naváží jemné, koloidní částice kalu a tak vznikne velká částice, která sedimentuje anebo při strojním odvodňování kalu umožňuje dosahovat vyšší sušiny.

Tímto se výrazně zvyšuje účinnost usazovací nádrže a zlepšuje kvalita primárního kalu.

---

<sup>7</sup> HLADÍK, Z., *Písek jako odpad z ČOV a možnosti jeho recyklace.*, KALY A ODPADY 2004, s. 169.

## 2.2.2 Přebytečný biologický kal

Biologický kal vzniká v aktivační nádrži. „Kvalitativní a kvantitativní složení aktivovaného kalu závisí hlavně na složení substrátu, na němž byl daný kal vypěstován, a na hodnotách technologických parametrů během kultivace (na době zdržení, zatížení a stáří kalu). Aktivovaný kal se liší od většiny čistých kultur mikroorganismů také tím, že je schopen se oddělovat od kapalně fáze prostou sedimentací. Dobrá flokulace, tj. shlukování jemných částic kalu do větších agregátů vloček a sedimentace vloček kalu je jednou z nejcennějších vlastností této přirozené směsné kultury“.<sup>8</sup>

„Přebytečný aktivovaný kal může vzniknout buď jako přebytečný kal z aktivačního systému nebo kal z biologické filtrace. Převážná většina biologických čistíren se v současnosti provozuje s aktivačním systémem. Přebytečný aktivovaný kal je možno definovat jako směs přiváděných inertních nerozpuštěných látek v odpadní vodě do aktivace a vyprodukované biomasy. Množství produkované biomasy v aktivačních nádržích je závislé na poměru NL : BSK<sub>5</sub> přiváděném do systému, teplotě a stáří kalu.“<sup>9</sup>

Přebytečný aktivovaný kal se dále odčerpává k jeho využití a zpracování do objektů kalového hospodářství. Před tímto je nutné a výhodné přebytečný aktivovaný kal nejprve předzahuštit. Toho lze dosáhnout pomocí flokulantu gravitačním zahuštěním v zahušťovacích nádržích, jímkách s odběrem odsazené vody. Takto předupravený, předzahuštěný přebytečný biologický kal se dále zahušťuje strojně.

„U strojního zařízení se dosahuje reálné zahuštění kalu na cca 5 – 6% (vyšší koncentrace, jsou dosažitelné, ale způsobují provozní potíže při dopravě). Dávka polymerního flokulantu se pohybuje obvykle v rozmezí 3 – 6 g.kg<sup>-1</sup> sušiny“.<sup>10</sup>

Strojní zahuštění přebytečného aktivovaného kalu má velký význam při jeho dalším zpracování. Zmenšením jeho objemu se dosáhne lepšího využití kapacity objektů kalového hospodářství, jako jsou vyhnívací nádrže a odvodňovací zařízení pro vyhnílé kaly. Další význam je ve snížení objemu vyhnílého kalu a tím menší náklady na jeho následnou úpravu a likvidaci. Správným zahuštěním přebytečného biologického kalu se

---

<sup>8</sup> CHUDOBA, J., DOHÁNYOS, M., a WANNER J., *Biologické čištění odpadních vod.* s. 131

<sup>9</sup> PYTL, V., aj., *Příručka provozovatele čistírny odpadních vod.* s. 105

<sup>10</sup> PYTL, V., aj., *Příručka provozovatele čistírny odpadních vod.* s. 108

docílí lepší stabilizace anaerobního procesu a tím vyšší produkce bioplynu s možností jeho následného využití.

### 2.2.3 Surový směsný kal

Primární kal a zahuštěný přebytečný biologický kal se čerpají do objektu kalového hospodářství čistírny odpadních vod. Dále se sem čerpají stírané plovoucí látky a tuky z povrchu usazováků. Zde se promíchají na směs s názvem surový směsný kal. Tato směs kalů se na větších ČOV dále zpracovává anaerobní stabilizací kalů ve vyhnívacích nádržích.

„Hmotnostní poměr sušiny kalu primárního a biologického je asi 2:1, objemový poměr obou kalů je přibližně 1:1. Je vytvářen z cca 70% - 75% organickými látkami a z 25% - 30% látkami minerálními.“<sup>11</sup>

Je to poměr sušin obou druhů kalů, které vznikají při čištění, vyjádřený v jednotkách hmotnosti. Dále se jedná o minerální látky přivedené odpadní vodou na čistírnu a odstraněné sedimentací.

## 2.3 Anaerobní stabilizace kalů

Surový směsný kal obsahuje vysoké procento organických látek podléhajících rychle rozkladu a je nutno jej stabilizovat. Stabilizací se odstraňují patogenní mikroorganismy a snižuje obsah organických látek. Stabilizace je na malých ČOV obvykle aerobní, kdy se kal provzdušňuje, tím se organické látky oxidují a zvýšená teplota, která proces provází, likviduje mikroorganismy a snižuje se hmotnost organické sušiny.

Na velkých ČOV se většinou používá anaerobní proces stabilizace kalů, kdy za nepřístupu vzduchu, v uzavřených nádržích anaerobní biocenóza přeměňuje složité organické látky na jednoduché a v konečné fázi až na vodu a směs CO<sub>2</sub> a metanu, což je tzv. bioplyn. Anaerobní stabilizační proces probíhá za zvýšené teploty (nádrže jsou vyhřívány). Během procesu se snižuje hmotnost organické sušiny až o 50%. Tento proces je energeticky výhodný a proto se na ČOV uplatňuje.

---

<sup>11</sup> CHUDOBA, J., DOHÁNYOS, M., a WANNER J., *Biologické čištění odpadních vod.* s. 60



**Z bilance energie při aerobních a anaerobních mikrobiálních procesech vyplývá:**<sup>12</sup>

- při aerobních procesech je přibližně 60 % energie spotřebováno na syntézu nové biomasy a 40% se ztrácí ve formě reakčního tepla.
- při anaerobních procesech je téměř 90 % energie obsažené v substrátu zachováno ve vzniklém bioplynu, 5 až 7% je spotřebováno na růst nové biomasy a 3 až 5 % se ztrácí ve formě reakčního tepla.

Chudoba uvádí, že při anaerobním procesu dochází ke štěpení složitých organických látek pomocí speciálních skupin anaerobních mikroorganismů podle tohoto schématu:<sup>13</sup>

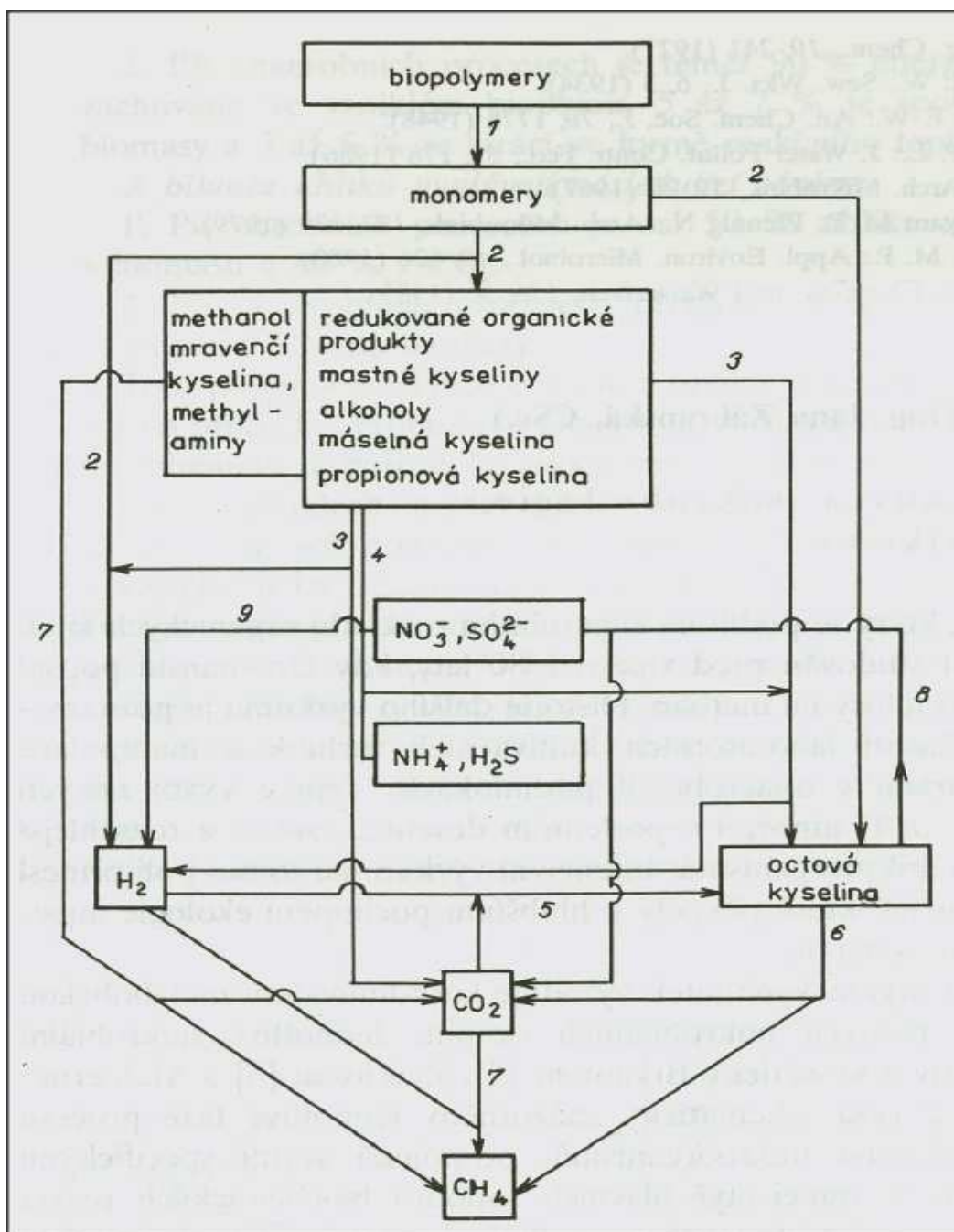
- hydrolýza – pomocí enzymů se organické látky štěpí a převádí do roztoku
- acidogeneze – rozpuštěné organické látky se přeměňují na směs organických kyselin, aldehydů a alkoholů
- acetogeneze – produkty acidogeneze se přeměňují na kyselinu octovou, vodík a CO<sub>2</sub>
- etanogeneze – závěrečná etapa, kdy se produkty acetogeneze pomocí metanogenních bakterií přemění na metan a CO<sub>2</sub>, tedy na bioplyn

---

<sup>12</sup> Srov. CHUDOBA, J., DOHÁNYOS, M., a WANNER J., *Biologické čištění odpadních vod.* s. 358

<sup>13</sup> Srov. Tamtéž. s. 359

Obr. 1 - Schéma anaerobního rozkladu organických látek:<sup>14</sup>



- 1 – hydrolýza
- 2 - acidogeneze
- 3 - acetogeneze
- 4 - metanogeneze

<sup>14</sup> Srov. DOHÁNYOS, M., aj., *Anaerobní čistírenské technologie*, s. 12

Všechny procesy probíhají souběžně, přičemž produkty jedné skupiny mikroorganismů jsou využívány další skupinou, až nakonec metanogenní bakterie produkuje metan.

Bioplyn je cenný zdroj energie, který se s vysokou účinností přeměňuje na elektrickou energii a teplo. Je tedy snahou, aby produkce bioplynu byla maximální, tím rovněž dochází ke snižování organických látek v kalu. Anaerobní proces se realizuje buď jako mezofilní při teplotách 35°C – 40°C a nebo jako termofilní, při teplotě 55°C. Při termofilním procesu dochází rovněž k výraznému poklesu patogenů.

Podle Dohányose jsou anaerobní čistírenské technologie nedílnou součástí biologických čistírenských postupů a díky své ekologické šetrnosti a energetické výhodnosti zaznamenávají v poslední době značný rozmach po celém světě. Tyto technologie zahrnují anaerobní způsoby čištění zejména vysoce zatížených odpadních vod.<sup>15</sup>

Dále Dohányos uvádí: „Anaerobní stabilizace je nejrozšířenějším a nejefektivnějším způsobem zpracování čistírenských kalů, při níž dochází k přeměně většiny rozložitelných organických látek do bioplynu za současné stabilizace a hygienizace kalu.“<sup>16</sup>

Podle Chudoby jsou pro zajištění optimálních podmínek anaerobního – metanizačního procesu, důležité faktory, jejichž pomocí se zajistí správné podmínky pro život mikroorganismů. Tyto faktory jsou:<sup>17</sup>

- udržení správné teploty v systému
- způsob dávkování substrátu
- koncentrace dávkovaného substrátu
- míchání obsahu metanizační (vyhňovací) nádrže
- doba zdržení
- zabezpečení potřebných živin
- neutralizační kapacita
- oddělení předmetanizační a metanizační fáze
- zamezení přítomnosti toxických látek

---

<sup>15</sup> Srov. DOHÁNYOS, M., *Úvodní slovo, ANAEROBIE 2011*, s. 1

<sup>16</sup> Tamtéž.

<sup>17</sup> Srov. CHUDOBA, J., DOHÁNYOS, M., a WANNER J., *Biologické čištění odpadních vod*, s. 438

### 2.3.1 Produkty anaerobní stabilizace kalů

Produkty, které vznikají, při anaerobní stabilizaci kalů jsou:

- bioplyn
- stabilizovaný kal

Podle Straky termínu „**bioplyn**“ přiřadila současná technická praxe výlučně pro plynný produkt anaerobní metanové fermentace organických látek uváděné též pod pojmy anaerobní digesce, biometanizace anebo biogasifikace. Pojmu „bioplyn“ je obecně míněna plynná směs methanu a oxidu uhličitého. V plynném produktu dobře prosperujících metanogenních mikroorganismů představuje suma  $\text{CH}_4$  a  $\text{CO}_2$  hodnoty velmi blízké 100 % objemu, vždy s výraznou převahou obsahu methanu. Protože v praxi se s takovýmto „ideálním“ bioplynem nesetkáme, jsou zde další plyny, které může bioplyn obsahovat. Jsou to zbytky vzdušných plynů  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ , Ar,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ .<sup>18</sup>

Chudoba uvádí: „Dobře stabilizovaný kal (vyhnilý) je nepáchnoucí, z hygienického hlediska nezávadný, pro další zpracování je dobře odvodnitelný. Z fyzikálního hlediska se jedná o tmavou, téměř černou neplastickou heterogenní směs suspendovaných a koloidních látek.“<sup>19</sup>

### 2.3.2 Zacházení s bioplynem

Bioplyn vzniká jako produkt v procesu anaerobní stabilizace kalů. Podle Dohányose má tento plynný produkt přeměny cca 50% organických látek obsažených v kalech vysoký obsah energií (od 13,7 – do 27,4 MJ/Nm<sup>3</sup> podle složení). To jej řadí mezi ušlechtilé zdroje energie. Na čistírnách odpadních vod, které tuto technologii využívají, se bioplyn používá pro jejich tepelné hospodářství, (ohřev TUV, ohřev metanizačních nádrží a provozních objektů. Nevyužitý zbytek se spaluje v hořácích zbytkového plynu.<sup>20</sup>

---

<sup>18</sup> Srov. STRAKA, F., aj., *Bioplyn*, s. 10

<sup>19</sup> CHUDOBA, J., DOHÁNYOS, M., a WANNER J., *Biologické čištění odpadních vod*, s. 439

<sup>20</sup> Srov. DOHÁNYOS, M., aj., *Anaerobní čistírenské technologie*, s. 307

**V současné době jsou realizovány následující způsoby využívání bioplynu:**<sup>21</sup>

- Topné systémy:  
Spalováním bez využití energetického potenciálu  
Spalování v topných systémech pro výrobu tepla a výrobu elektřiny
- Spalovací motory:  
Plynové motory pro výrobu elektřiny nebo pro přímý pohon různých agregátů  
Plynové motory pro pohon motorových vozidel  
Plynové motory pro výrobu elektřiny a tepla – kogenerační jednotky  
Plynové turbíny pro výrobu elektřiny a tepla
- Dodávka do sítě:  
Úprava bioplynu na vysoký obsah metanu

### **2.3.3 Zacházení se stabilizovaným kalem, základní zásady pro využívání a odstraňování kalů**

Rámcová směrnice EU o odpadech (91/156/EEC doplněná 75/442/EEC o odpadech) zavádí pojetí hierarchie zacházení s kaly a upřednostňuje vyloučení vzniku, minimalizaci a recyklaci a potlačuje uložení na skládky. Materiálové využití odpadů je možné a přijatelné pouze v případě, že současně budeme chránit životní prostředí a lidské zdraví.

Využití a opětovné použití kalů z komunálních čistíren odpadních vod zahrnuje přímé použití na půdu, recyklaci materiálu nebo získání energie.

Způsob využití, použití je závislý na místě vzniku kalu, na jeho složení, jeho množství a podobně. Je třeba, aby to byl způsob:

- Přijatelný pro životní prostředí
- Bezpečný
- Technicky proveditelný
- S přijatelnými ekonomickými náklady

---

<sup>21</sup> Srov. DOHÁNYOS, M., aj., *Anaerobní čistírenské technologie*, s. 307

- S případnými ekonomickými výhodami z využití nebo prodeje kalů

Při výběru technologie zpracování kalů je potřeba mít na zřeteli, že minimalizace bezpečnostního rizika a akceptovatelnost veřejností jsou důležitější než cena navrhované technologie.

Obecné schéma zpracování čistírenského kalu je uvedeno na obrázku č. 2. Čistírenská linka může být rozdělena z hlediska vlivu na množství a kvalitu produkovaných kalů do čtyř sektorů. Sektor A – primární čištění (produkce primárního kalu), B – biologické čištění odpadní vody (produkce přebytečného aktivovaného kalu), C – kalová linka (aplikace primárních metod úpravy kalu), D – aplikace finálních metod naložení s kaly.<sup>22</sup>

Vzhledem k tomu, že kal je řídkou suspenzí ve vodě, je jednou z nejdůležitějších technologických operací snižování množství vody, tj. zahušťování a odvodňování kalu a to pro všechny způsoby konečného výstupu.

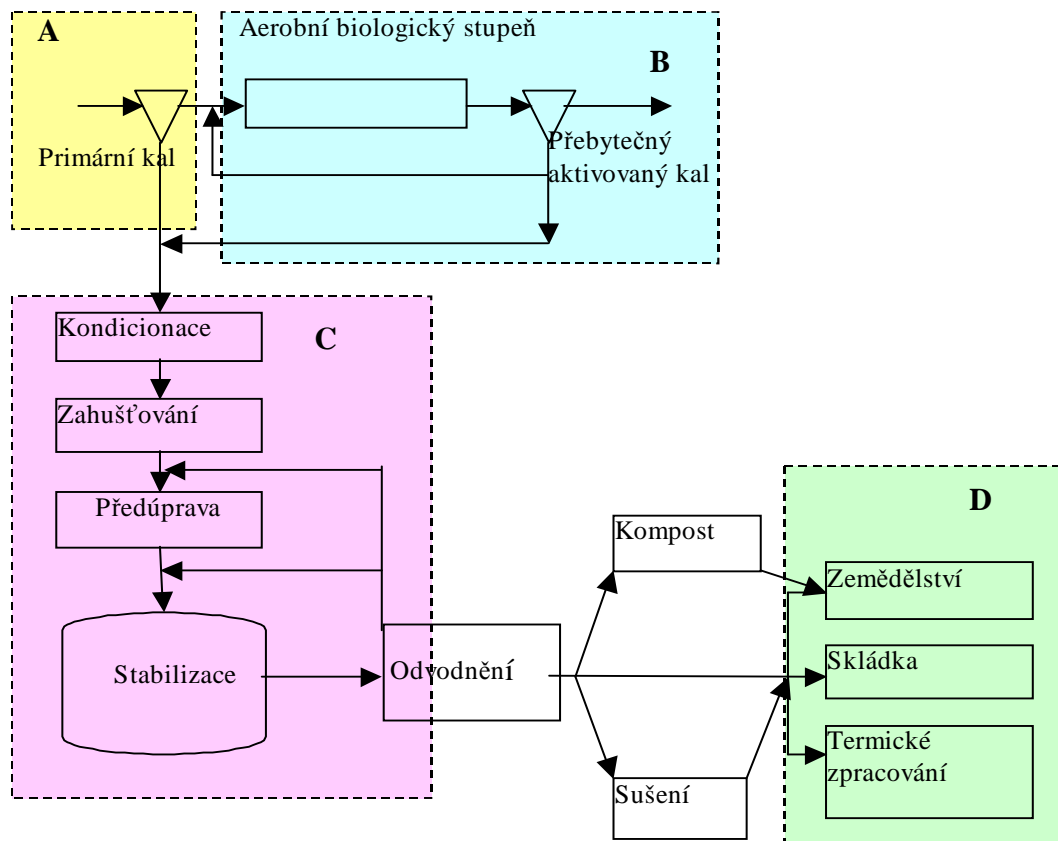
#### **Bereme-li v úvahu tři základní způsoby konečného nakládání pak:**

- pro zemědělské využití a rekultivace je prioritním požadavkem hygienická nezávadnost a stabilizace kalu,
- v případě termického zpracování lze v zásadě zpracovávat surový odvodněný kal nebo kal po anaerobní stabilizaci, prioritou je získání cenných látek z kalu a maximální využití energie z kalu,
- pro ukládání na skládky se vyžaduje kromě snížení obsahu vody také maximální snížení obsahu organické sušiny kalu.

---

<sup>22</sup> Srov. DOHÁNYOS, M., *Nové metody finálního zpracování kalů.*, NAKLÁDÁNÍ S KALY Z ČOV 2007, s. 44.

Obr. 2 – „Obecné schéma zpracování čistírenského kalu“<sup>23</sup>



### 2.3.4 Finální způsoby zpracování a nakládání s kaly<sup>24</sup>

#### Skládkování kalu

V minulosti patřilo k nejvíce rozšířenému způsobu likvidace kalu. Jednalo se většinou o ukládání kalu společně s pevnými městskými odpady na hygienicky zabezpečené skládky. Skládkování odpadů je v ČR legislativně ošetřeno vyhláškou číslo 294/2005 Sb. o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrch terénu. Podle této vyhlášky je v podstatě zakázané ukládat čistírenský kal, jako

<sup>23</sup> DOHÁNYOS, M., *Nové metody finálního zpracování kalů.*, NAKLÁDÁNÍ S KALY Z ČOV 2007, s. 44.

<sup>24</sup> Srov. Tamtéž, s. 45

biologicky rozložitelný odpad bez úprav na skládky. Kaly by měly být smysluplně využívány.

### **Kompostování kalu**

Tento způsob využití kalu je náročný na jeho kvalitu. Požadavky jsou na mikrobiologické, fyzikální a chemické vlastnosti. Dalším faktorem ovlivňující použití tohoto způsobu je vyprodukované množství kalu, určeného ke kompostování. Z toho vyplývá požadavek na velikost kompostovacího zařízení. Vhodný je spíše pro malé čistírny odpadních vod. Dalším problémem, který se musí vyřešit je, co dál se vzniklým kompostem? Získat pro něj dlouhodobý odbyt je v současné době problematické.

### **Použití kalu v zemědělství**

Využití kalu jako hnojiva v zemědělství je za předpokladu dodržení veškerých platných právních předpisů náročné a složité. Klade se velký důraz na účinnost hygienizace kalu s cílem snížení nebo odstranění patogenních biologických činitelů. Žádný provozovatel komunální čistírny odpadních vod, nedokáže zabezpečit stabilní přítok odpadní vody na čistírnu a to z hlediska její kvality. Je ohrožený nekázní jednotlivých subjektů napojených na kanalizační síť. Tím nelze vyloučit přítomnost těžkých kovů, jako například Hg, Cd, Cr, Pb, Zn a jiné. Nezaviněným překročením stanovených limitů obsahu těchto látek v kalu, znemožní jeho využití v zemědělství. Tento způsob je opět vhodnější pro menší čistírny odpadních vod. Určitým problémem je také stav zemědělských podniků, farem v blízkém okolí ČOV a jejich ochota na spolupráci při aplikaci kalů na zemědělskou půdu.

### **Chemická stabilizace – vápnění**

Chemická stabilizace kalu vápnem je vhodná pro stabilizaci a hygienizaci surových i stabilizovaných kalů před jejich aplikací na půdu. Jedná se o perspektivní úpravu kalu ve vazbě na současnou a připravovanou legislativu. Je použitelná v širokém velikostním rozmezí čistíren odpadních vod. Nevýhodou této metody je malý zájem zemědělců o tyto produkty a přetrvávající negativní pohled veřejnosti na tento způsob využití kalů z ČOV.



### **Spalování a spoluspalování kalu**

Obecně, čistírenské kaly ať již bez anaerobní stabilizace nebo anaerobně stabilizované lze spalovat.

I když kaly mají vysoký obsah organických látek a tedy vysokou výhřevnost, překážkou je vysoký obsah vody. Odvodňováním se dosáhne pouze cca 30% sušiny. Značná spotřeba vnitřní energie se pak vynaloží na odpařování vody.

Kaly jsou podle platné legislativy odpadem, a proto nemohou být využívány jako palivo. Spalují se přímo nebo jako přídavek k jinému odpadu. Kaly lze spalovat nebo spoluspalovat v režimu spalování odpadů ve spalovnách při dodržování předepsaných parametrů kvality spalin podle příslušných předpisů. Byly provedeny úspěšné provozní zkoušky se spalováním kalů v cementárnách, kde vysoká teplota ve spalovacím prostoru (až 1600°C) spolehlivě rozloží všechny nebezpečné látky typu PCDD a PCDF (polychlorované dibenzodioxiny a dibenzofurany).<sup>25</sup>

#### **2.3.5 Využití cenných vlastností kalů**

Kaly z čistíren odpadních vod jsou nevyhnutným vedlejším produktem při čištění odpadních vod, je v nich zachycena většina organických látek a nutrientů z odpadních vod. V podstatné míře ovlivňují ekonomiku i ekologii čistíren odpadních vod. Je všeobecnou snahou maximálně využít všechny cenné látky a energii z kalů. Stále se hledají se metody nejlepšího technického řešení kalové problematiky, přitom se naráží především na otázky ekonomické a na míru rizika.

#### **Recyklace – využívání kalů v zemědělství**

Aplikace kalů v zemědělství zůstává nejpřirozenější a ve téměř všech zemích v určitém rozsahu využívanou metodou. Rozhodující a nezbytnou podmínkou pro tuto metodu je přesvědčení veřejnosti o tom, že potenciální nebezpečí, které aplikace kvalitativně přísně kontrolovaných kalů na pole je minimální a tedy akceptovatelné.

---

<sup>25</sup> Srov. Nař. vlády 354/2002 §5, odst. 1-3, *Stanovení emisních limitů a dalších podmínek pro spalování odpadu.*

## Využití energie z kalů<sup>26</sup>

Nositelem energie v kalech jsou organické látky. K získání a využití této energie mohou být použity následující metody:

- anaerobní stabilizace,
- spalování,
- spalování v cementárenské peci,
- spoluspalování s energetickým palivem,
- pyrolýza nebo zplyňování,
- mokrá oxidace v podkritické nebo nadkritické oblasti vody,
- přímá biochemická výroba elektrické energie.

V současné době je z hlediska účinnosti využití energie a její formy nejlépe hodnocena anaerobní stabilizace. Z energetického pohledu se jako velice zajímavá jeví rovněž kombinovaná výroba biovodíku a bioplynu. Z hlediska dalšího využití zbytkových látek po energetickém zpracování se jeví jako nejvýhodnější spalování v cementářských pecích.

---

<sup>26</sup> Srov. DOHÁNYOS, M., *Nové metody finálního zpracování kalů.*, NAKLÁDÁNÍ S KALY Z ČOV 2007, s. 45-46.

## II. Praktická část

### 3 Technologie čištění městských odpadních vod na Ústřední čistírně odpadních vod v Praze, (dále jen ÚČOV)

Ústřední čistírna odpadních vod v Praze byla uvedena do provozu ve druhé polovině 60. let 20. století a je největší čistírnou v České republice. Čistí zhruba 95% z celkové produkce odpadních vod z území hlavního města, zbylých 5% je čištěno na 22 malých lokálních čistírnách rozmístěných na okrajích Prahy.

Počet tzv. ekvivalentních obyvatel připojených v současné době na ÚČOV je cca 1,3 miliónu. Současný průměrný přítok odpadní vody činí necelé 4 m<sup>3</sup>/s odpadní vody. Čistírna biologicky odstraňuje uhlíkové znečištění a částečně nitrifikuje amoniakální dusík. Fosfor se z vody odstraňuje srážením železitými solemi.

„Ústřední čistírna odpadních vod má mechanický a biologický stupněm čištění, s projektovou kapacitou  $Q_{24} 7 \text{ m}^3/\text{s}$ .“<sup>27</sup>

ÚČOV se skládá z čistící linky a kalového hospodářství, zakončené energocentrem. Technologická čistící linka sestává z lapačů šterku, jemných česlí, podélného provzdušňovaného lapáku písku, primárních usazovacích nádrží, aktivačních nádrží s jemnobublinnými aerátory, dosazovacích nádrží a regenerační nádrže vratného kalu. V objektech čistící linky na ÚČOV v Praze se zachytávají a následně likvidují odpady, kterými jsou: šterky, písky a shrabky. Všechny tyto odpady se likvidují na zabezpečených skládkách.

Přehled množství zachycených a likvidovaných písků, včetně šterků a shrabků na ÚČOV v Praze v roce 2011 je uvedený v příloze č. 1. Další odpady vznikající v čistící lince, primární kal a přebytečný aktivovaný kal se využívají při dalším zpracování v kalovém hospodářství na ÚČOV.

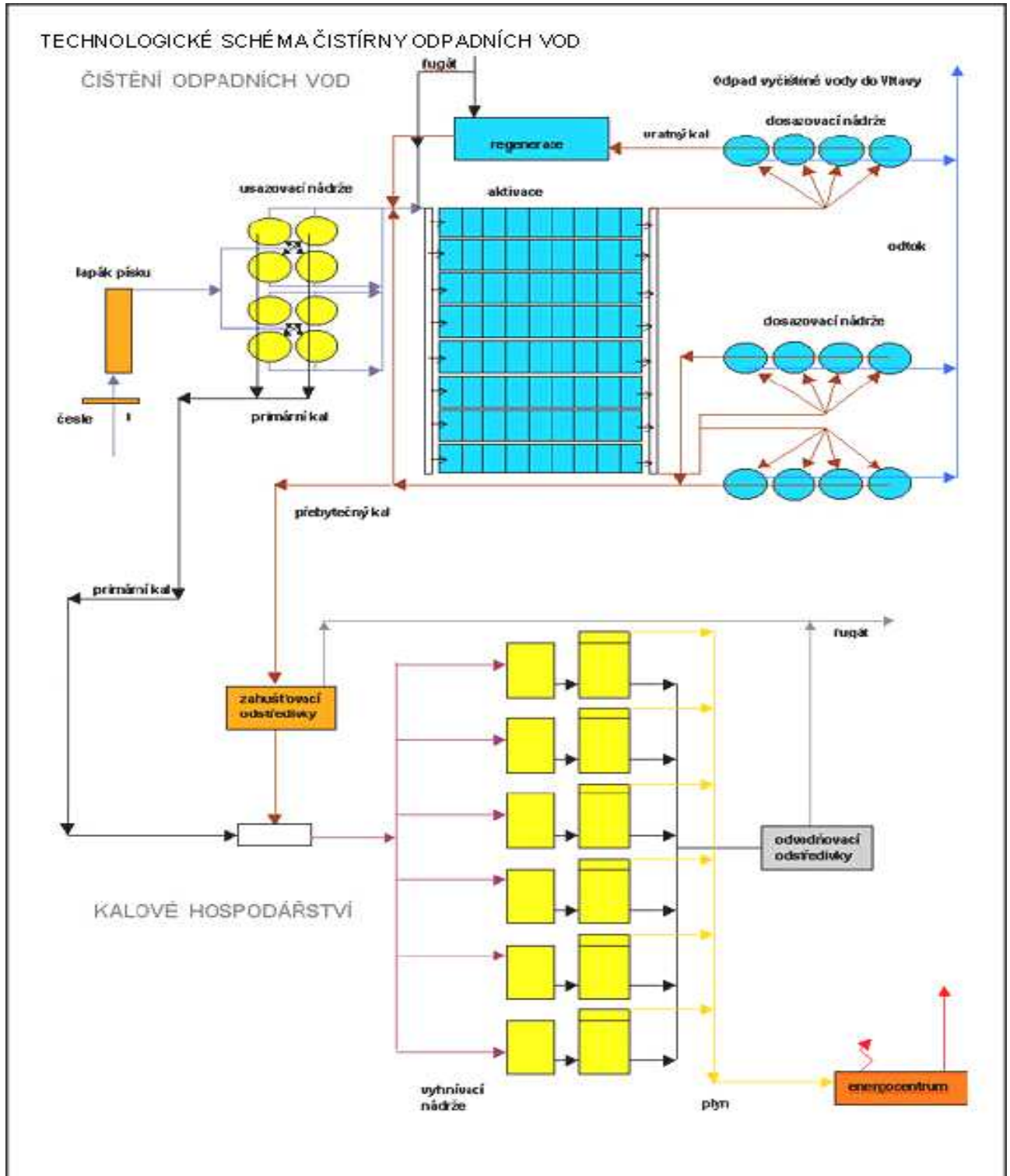
V části kalového hospodářství se na ÚČOV provozují vyhnívací nádrže s mokřými plovoucími plynojemy, jímka pro směsný surový kal, manipulační nádrže pro vyhnílý kal, zahušřovací a odvodňovací odstředivky, včetně dopravy a uskladnění odvodněných vyhnílých kalů. Nakládání s odpady vzniklými v části kalového hospodářství ÚČOV je popsán v kapitole 3.2 - Zacházení s produkty anaerobní stabilizace na ÚČOV.

---

<sup>27</sup> Provozní řád Ústřední čistírny odpadních vod v Praze

Energocentrum sestává z kogeneračních jednotek, kotelny a hořáků zbytkového plynu, včetně plynovodu a stanice úpravy plynu.

Obr. 3 – „Technologické schéma Ústřední čistírny odpadních vod v Praze“<sup>28</sup>



<sup>28</sup> Propagační materiály Provozu ÚČOV

## Průměrné základní ukazatele kvality odpadní vody na ÚČOV Praha v roce 2011:<sup>29</sup>

**Přítok odpadní vody** 3,95 m<sup>3</sup>/s

### Surová odpadní voda

BSK <sub>5</sub>	271 mg/l
CHSK	669 mg/l
N <sub>celk</sub>	57,2 mg/l
P <sub>celk</sub>	6,5 mg/l

### Vyčištěná odpadní voda

BSK <sub>5</sub>	5,9 mg/l
CHSK	35,0 mg/l
N <sub>celk</sub>	19,8 mg/l
P <sub>celk</sub>	0,88 mg/l

### Vysvětlivky:

BSK<sub>5</sub> biochemická spotřeba kyslíku

CHSK chemická spotřeba kyslíku

N<sub>celk</sub> celkový dusík

P<sub>celk</sub> celkový fosfor

## 3.1 Anaerobní stabilizace na ÚČOV Praha

Proces anaerobní stabilizace na ÚČOV probíhá v 6 dvojicích vyhnívacích nádrží a to bez přístupu vzduchu. Surový směsný kal je stabilizován v 6 vyhnívacích nádržích (VN) prvního stupně a 6 VN druhého stupně. Využitelný celkový provozní objem jedné nádrže I° je 5 150 m<sup>3</sup>, ale z důvodů vytváření pojistného prostoru pro eliminaci pěnících stavů je prakticky provozní objem v rozmezí 4 000 – 4 400 m<sup>3</sup>. Obsah nádrží je míchán externě cirkulačními čerpadly a stejným způsobem i ohříván ve spirálových výměnících. VN II° jsou stejného tvaru i rozměrů, ale s nasazenými plovoucími plynojemy. Provozní objem VN II° koresponduje s nádržemi I°, protože je ve dvojici nádrží udržována stejná hladina. Nutný požadavek spolehlivého míchání VN byl podpořen instalací míchání pomocí čerpadel s řezacím ústrojím, které zabraňuje tvoření velkých shluků spletených textilních vláken. Tyto látky v kalu zhoršují jeho čerpatelnost, jeho ohřev ve výměnících a další zpracování při jeho odvodňování.

<sup>29</sup> *Pramen: Vlastní zpracování na základě zdroje: Výroční zpráva Provozu Ústřední čistírny odpadních vod za rok 2011*

**Tab. 2 – Objemy a počet vyhnívacích nádrží<sup>30</sup>**

Počet nádrží prvního stupně	6 ks
Objem nádrže prvního stupně	4 400 m <sup>3</sup>
Celkový objem nádrží I°	26 400 m <sup>3</sup>
Počet nádrží druhého stupně	6 ks
Objem nádrže II°	4 000 m <sup>3</sup>
Celkový objem nádrží II°	24 000 m <sup>3</sup>

### 3.1.1 Intenzifikace anaerobní stabilizace<sup>31</sup>

#### **Jakým způsobem se dosáhlo zlepšení účinnosti anaerobní stabilizace na ÚČOV Praha?**

Pro intenzifikaci anaerobní stabilizace kalů byly na ÚČOV Praha zvoleny dvě vzájemně se umocňující metody a to předúprava kalu zavedením lyzace přebytečného aktivovaného kalu a zavedení termofilní anaerobní stabilizace směsného surového kalu.

#### **Předúprava kalu dezintegrací - aplikace lyzátovací technologie**

Je všeobecně známo, že rozemletí suspendovaných látek a rozbití buněk mikroorganismů způsobuje zlepšení anaerobního rozkladu těchto materiálů. Dezintegrací – rozemletím materiálu určeného k fermentaci se dosáhne podstatného zvětšení povrchu částic, což zlepšuje jeho přístupnost enzymovému rozkladu. Na Pražské ÚČOV se s úspěchem využívá proces tzv. lyzace zahuštěného biologického kalu, kdy mechanickou dezintegrací buněk mikroorganismů se podporuje hydrolýza a následující biochemické reakce. Rozbitím buněčných stěn se uvolní obsah – lyzát – do prostředí., a tím se stimuluje - urychlí a prohloubí - proces anaerobního vyhnívání. Přínos této technologie spočívá v navýšení produkce bioplynu ve vyhnívacích, metalizačních nádržích o 10-20% a při současné aplikaci termofilie dochází k synergickému efektu a produkce bioplynu se zvyšuje až o 40%. Nevýhodou této metody je zvýšená spotřeba elektrické energie. Na odstředivkách cca o 10% - 15%, ale energetický efekt ve zvýšené produkci bioplynu je násobně vyšší. Další výhodou

<sup>30</sup> *Pramen: Vlastní zpracování na základě zdroje: Provozní řád ÚČOV Praha*

<sup>31</sup> Vlastní poznatky z praxe

uvedené technologie je snížení viskozity zahušťovaného kalu a tím je umožněno čerpat do vyhnívacích reaktorů kal o vyšší sušině.<sup>32</sup>

### **Zavedení termofilní anaerobní stabilizace kalu na ÚČOV Praha<sup>33</sup>**

Jako další krok intenzifikace kalového hospodářství byl na ÚČOV zvolen přechod od mezofilní anaerobní stabilizace (38°C) na termofilní (55°C). Mezi výhody termofilní anaerobní stabilizace v porovnání s mezofilním procesem patří zvýšení rychlosti a účinnosti rozkladu organických látek a tím i zvýšení produkce bioplynu a současně zvýšený hygienizační účinek procesu. Technologický význam těchto faktorů je v tom, že umožňuje pracovat při vyšším zatížení nádrží a tím umožňuje snížení potřebného objemu nádrží.

**Termofilní anaerobní stabilizace (fermentace při teplotě 55°C) přináší následující efekty:**

- zvýšení rychlosti rozkladu organických látek v kalu,
- zvýší se účinnost procesu tím, že se prohloubí rozklad organických látek a tím se zvýší i produkce bioplynu,
- zvýšená teplota má zvýšený hygienizační účinek,
- nižší viskozita – snížení energie na míchání a čerpání,
- odstraní problémy s pěněním vyhnívacích nádrží.

Zavedením termofilního procesu na ÚČOV Praha se výrazně zvýšila kapacita stabilizačních nádrží, došlo ke snížení četnosti pění a zvýšila se produkce bioplynu

Aplikované způsoby prohloubení anaerobního rozkladu (lyzace přebytečného biologického kalu) a jeho urychlení (přechod na termofilní stabilizaci při 55°C) ukázaly, jak je možné bez nákladných investičních akcí efektivně intenzifikovat proces zpracování kalů simultánním zavedením obou metod.

Získané výsledky intenzifikace kalového hospodářství ÚČOV nejlépe dokumentují:

graf č. 1 - Vývoj roční produkce bioplynu v letech 1985 – 2011

graf č. 2 - Průběh produkce bioplynu a přivedených organických látek.

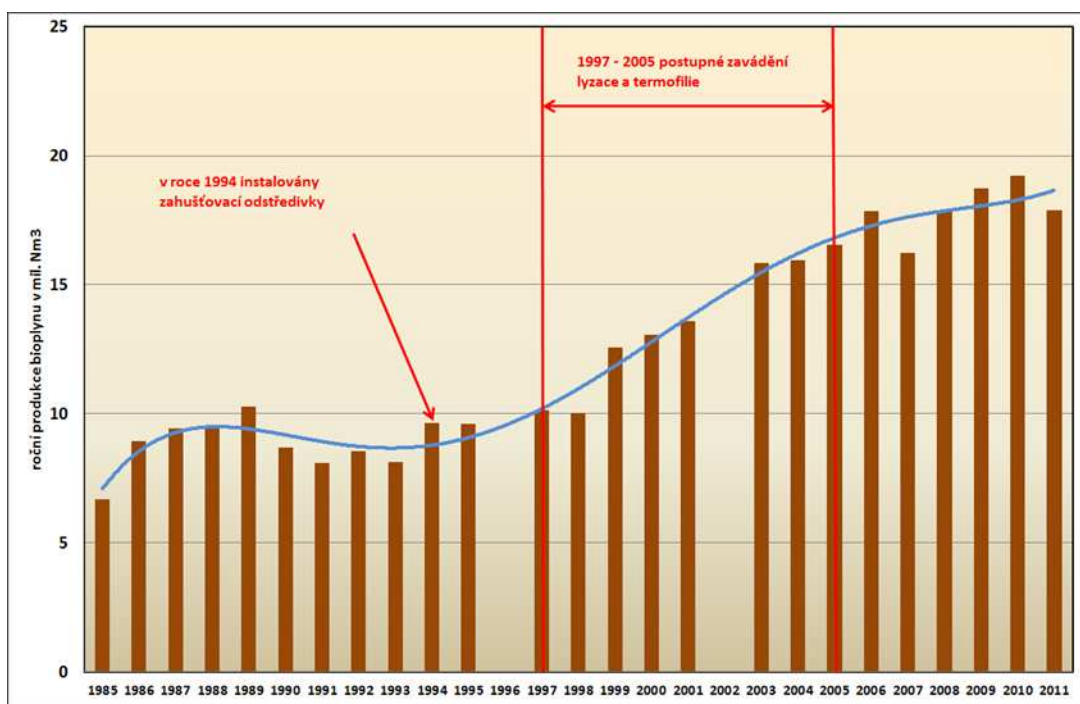
graf č. 3 - Specifická produkce bioplynu (m<sup>3</sup>/tunu OL vložených).

---

<sup>32</sup> Srov. DOHÁNYOS, M., *Vývoj kalového hospodářství na ÚČOV Praha za posledních 10 let.*, KALY A ODPADY 2008, s. 30

<sup>33</sup> Vlastní poznatky z praxe

Graf č. 1 - Vývoj roční produkce bioplynu v letech 1985 – 2011<sup>34</sup>



Celková roční produkce bioplynu na ÚČOV Praha dosahuje v současné době maxima, cca 18 mil Nm<sup>3</sup>/rok.

Poznámka:

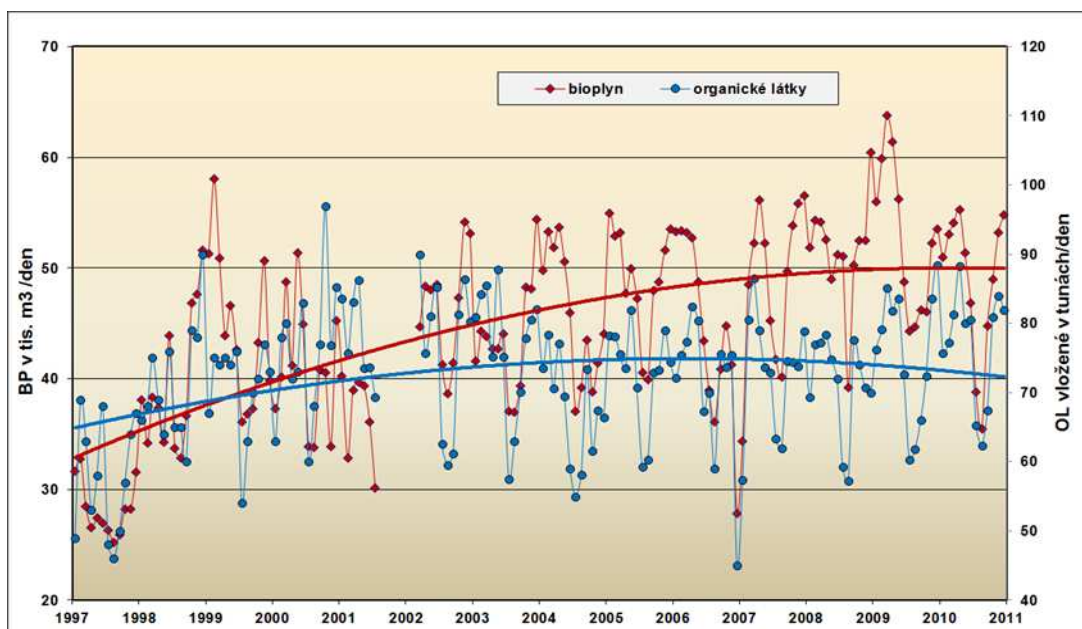
V roce 1996 – intenzifikace ÚČOV, odstávka provozu

V roce 2002 – produkce jen za 7 měsíců, v srpnu povodeň, odstávka ÚČOV

<sup>34</sup> Pramen: Vlastní zpracování na základě zdroje: *Provozní dokumenty a data Ústřední čistírny odpadních vod v Praze*



Graf č. 2 - Průběh produkce bioplynu a přivedených organických látek<sup>35</sup>

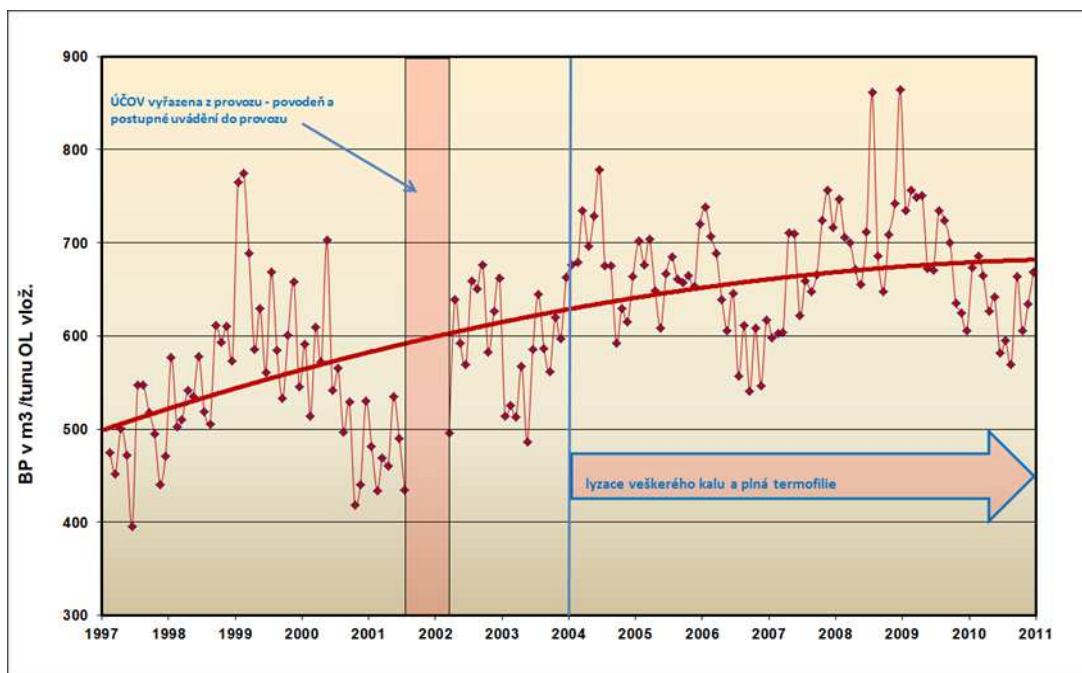


Po uvedení intenzifikace ÚČOV do provozu v roce 1997 byly postupně prováděny změny v kalovém hospodářství. Následně po předsrážení odpadních vod před mechanickým stupněm byla zaváděna lyzace zahuštěného přebytečného kalu a téměř současně termofilní anaerobní fermentace na jednotlivých dvojicích anaerobních nádrží - reaktorů. Výsledkem byla synergie obou faktorů a produkce bioplynu se zvýšila nakonec až o 40%. Průběh procesu vyjadřuje graf č. 2.

<sup>35</sup> Pramen: Vlastní zpracování na základě zdroje: *Provozní dokumenty a data Ústřední čistírny odpadních vod v Praze*

Při stagnaci přírůstku organických látek v SSK se postupně zvyšovala celková produkce, a to vyjadřuje růst parametru specifické produkce bioplynu na 1 kg přidaných organických látek, viz graf č. 3.

**Graf č. 3 - Specifická produkce bioplynu (m<sup>3</sup>/tunu OL vložených)<sup>36</sup>**



### 3.2 Produkty anaerobní stabilizace na ÚČOV<sup>37</sup>

Konečnými produkty, které vznikají při anaerobní stabilizaci na ÚČOV jsou vyhnílý, stabilizovaný kal a bioplyn. Při odvodňování vyhnílého kalu se získá ze suspence o koncentraci sušiny cca 3,5% hm. substrát o koncentraci sušiny cca 32% hm., který má těstovitou konsistenci s tixotropními vlastnostmi, což znamená, že vibrací přechází do vysoce viskózní tekutiny. Při odvodňování na odstředivkách se separuje vedle pevné fáze fugát (centrát). Fugát je voda vznikající při strojním odvodnění kalu, obsahující značné množství amoniakálního dusíku. Tento fugát se přečerpává do tzv.

<sup>36</sup> Pramen: Vlastní zpracování na základě zdroje: *Provozní dokumenty a data Ústřední čistírny odpadních vod v Praze*

<sup>37</sup> Vlastní poznatky z praxe

regenerační nádrže, do které je zaveden proud vratného kalu z aktivační nádrže. Zvýšením jeho stáří a dávkováním fugátu s amoniakálním dusíkem v tomto kalu kultivují nitrifikační bakterie, potřebné pro nitrifikační proces v aktivaci. Takže i tento vedlejší produkt ze zpracování kalů (odpadu) má velký význam pro zvýšení účinnosti aktivace.

### **3.2.1 Zacházení se stabilizovaným kalem**

Na ÚČOV v Praze se veškerý stabilizovaný kal strojně odvodňuje na odvodňovacích odstředivkách s použitím organického flokulantu. Tímto se dosáhne odvodnění kalu z průměrné sušiny vstupního kalu 2,9% na výstupní sušinu cca 33%.

Díky intenzifikaci anaerobní stabilizace se na ÚČOV dosáhlo co nejvyšší transformace organických látek do bioplynu a tak snížit na minimum obsah organických látek (OL) ve vyhnilem kalu.

Fugát se čerpá zpět na čisticí linku do regenerační nádrže nebo do aktivační nádrže.

Odvodněný vyhnilý kal (OVK) se dopravuje od odstředivek do sila nebo velkoobjemových uzavřených kontejnerů pomocí vysokotlakých čerpadel. Odtud je co nejdříve transportován nákladními vozidly na zabezpečenou skládku. Zde částečně slouží k rekultivaci skládky. Proces odvodňování vyhnilých kalů a jejich uskladnění probíhá na ÚČOV nepřetržitě. Následný transport na skládku probíhá každodenně ale pouze v ranních směnách. Přehled množství vyprodukovaných a odvezených OVK na ÚČOV v Praze v roce 2011 je uvedený v příloze č. 1.

### **3.2.2 Zacházení s bioplynem**

Celková produkce bioplynu na ÚČOV Praha v posledních letech dosahuje hodnot blízkých se 18 000 000 Nm<sup>3</sup>/rok. Prostým dělením dojdeme k průměrné hodnotě necelých 49 000 Nm<sup>3</sup>/den. Rozpětí denních hodnot produkce bioplynu se za běžného provozu pohybuje v rozmezí od 26 000 až do 75 000 m<sup>3</sup>/den.

V průběhu roku má produkce bioplynu na ÚČOV Praha pravidelné výkyvy. Nejnižší výroba je v letních měsících v červenci a srpnu, potom se začíná zvyšovat a z hruba od prosince do dubna dosahuje maxima. Kolísání produkce mezi nejlepším a nejhorším měsícem má rozsah zhruba 30%.

Z hlediska dlouhodobého vývoje výroba bioplynu na ÚČOV Praha významně roste. Na začátku 80. let minulého století se jeho produkce pohybovala okolo zhruba 8 miliónů  $\text{m}^3/\text{rok}$  a do konce desetiletí stoupla na hodnoty dosahující zhruba 10 miliónů  $\text{m}^3/\text{rok}$ .

V průběhu 90. let a zejména po intenzifikaci ÚČOV provedené v letech 1994-97 se postupně produkce bioplynu zvyšovala z cca 10 mil.  $\text{m}^3/\text{rok}$  na úroveň cca 15 miliónů  $\text{m}^3/\text{rok}$ . Současná stabilizovaná produkce je mezi 17 a 18 milióny  $\text{m}^3/\text{rok}$ . Přitom vkládání organických látek do vyhnívacích nádrží významně stoupla pouze v polovině 90. let v souvislosti se zvýšeným množstvím biologického kalu po intenzifikaci čistící linky.

Na ÚČOV vzniká bioplyn ve dvoustupňových anaerobních reaktorech – vyhnívacích nádržích. Vyhnívací nádrže jsou uskupeny do tří čtveřic nádrží, z nichž každá čtveřice obsahuje dvě vyhřívání nádrže I° s pevným stropem, mechanicky míchané a dvě nádrže II° s nasazeným plynojemem. Zde dochází k popsanému procesu odbourávání organického podílu v surovém směsném kalu a jeho přeměně na bioplyn.

V Praze se provozuje technologie termofilního vyhnívání. To znamená, že se v reaktorech udržuje teplota  $55^\circ\text{C}$ . Této teploty se dosahuje ohříváním kalu ve spirálových, protiproudých výměnících (voda-kal) a čerpadel, pomocí nichž se zároveň obsah reaktoru promíchává. Teplo, které je potřebné k vyhřátí obsahu reaktorů se získává jako vedlejší produkt spalováním produkovaného bioplynu v energocentru v 5-ti kogeneračních jednotkách, o celkovém výkonu  $5,4 \text{ MW}_{\text{el}}$  a  $7,8 \text{ MW}_{\text{tep}}$ . Dále lze teplo získat spalováním bioplynu v kotelně, ve čtyřech kotlích. Případný přebytečný bioplyn se spaluje v šesti hořácích zbytkového plynu. Tím je zajištěno, že nedochází k únikům bioplynu do ovzduší.

V následující tabulce č. 3 je uvedený přehled vývinu a spotřeby bioplynu v roce 2011 na ÚČOV v Praze. Spotřeba je rozdělena podle jednotlivých druhů spotřebičů. Je zde patrný pokles ve vývinu bioplynu v letních měsících červenci a srpnu, ve kterých probíhají školní prázdniny a mnoho Pražanů tráví dovolenou mimo svůj domov.

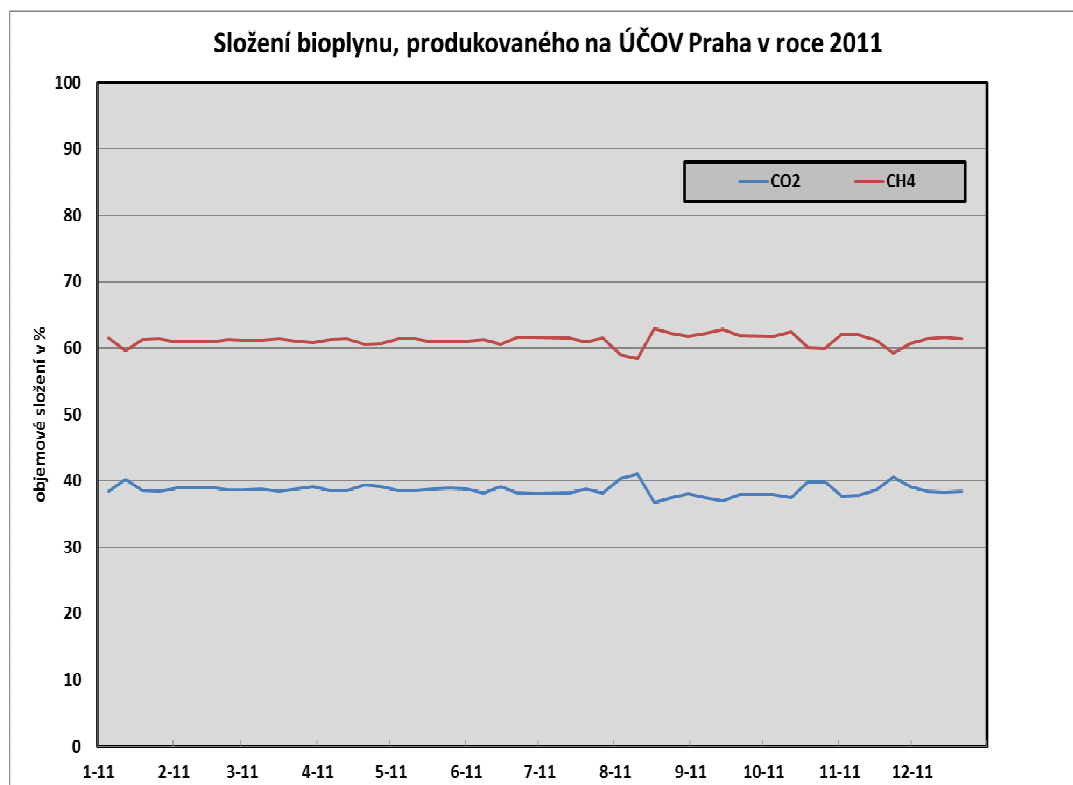
**Tab. 3 - Přehled vývinu a spotřeby bioplynu v roce 2011 na ÚČOV v Praze<sup>38</sup>**

měsíc	vývin Nm <sup>3</sup>	únik Nm <sup>3</sup>	spotřeba			
			MG Nm <sup>3</sup>	kotle Nm <sup>3</sup>	HZP Nm <sup>3</sup>	celkem Nm <sup>3</sup>
leden	1 624 129	151	1 542 613	26 937	54 428	1 623 978
únor	1 494 032	0	1 410 249	32 851	50 932	1 494 032
březen	1 696 770	0	1 598 285	10 765	87 720	1 696 770
duben	1 706 490	0	1 465 525	66 075	174 890	1 706 490
květen	1 665 550	0	1 244 725	123 075	297 750	1 665 550
červen	1 504 912	2	1 306 612	64 088	134 210	1 504 910
červenec	1 246 904	0	1 203 548	23 316	20 040	1 246 904
srpen	1 209 260	0	1 200 034	0	9 226	1 209 260
září	1 395 880	80	1 287 413	13 637	94 750	1 395 800
říjen	1 576 171	0	1 451 120	33 071	91 980	1 576 171
listopad	1 651 870	0	1 631 267	4 683	15 920	1 651 870
prosinec	1 756 570	0	1 703 332	16 218	37 020	1 756 570
<b>celkem</b>	<b>18 528 538</b>	<b>233</b>	<b>17 044 723</b>	<b>414 716</b>	<b>1 068 866</b>	<b>18 528 305</b>
průměr denní	50 763	1	46 698	1 136	2 928	50 762
maximum	68 179	151	58 600	10 759	17 470	68 179
minimum	45 215	0	45 265	585	0	45 215

<sup>38</sup> Pramen: Vlastní zpracování na základě zdroje: *Provozní dokumenty a data Ústřední čistírny odpadních vod v Praze*

V následujícím grafu č. 4 je patrné složení bioplynu na ÚČOV Praha v roce 2011 – jeho hlavních složek, metanu ( $\text{CH}_4$ ) a oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ). Z uvedeného grafu je patrné, že kolísání složení bioplynu je minimální a nemá pro jeho další využití na ÚČOV v Praze vliv.

**Graf č. 4 – Složení bioplynu na ÚČOV Praha v roce 2011<sup>39</sup>**



<sup>39</sup> *Pramen: Vlastní zpracování na základě zdroje: Provozní dokumenty a data Ústřední čistírny odpadních vod v Praze.*

## 4 Energocentrum na ÚČOV Praha

### Objekty Energocentra na ÚČOV Praha:

- úpravna bioplynu
- plynová kotelna
- strojovna kogeneračních jednotek - motorgenerátorů
- stanice hořáků zbytkového plynu
- teplovodní strojovna

**Úpravna bioplynu** slouží k odstraňování vlhkosti a nežádoucích sloučenin z bioplynu, aby byly ochráněny spotřebiče, především kogenerační jednotky a spalovací prostory kotlů.

**Plynová kotelna** slouží k výrobě teplé užitkové vody, která je pak využívána k vyhřívání vyhnívacích nádrží a k vytápění všech budov v areálu ÚČOV. Kotelna je osazena čtyřmi kotli. Celkový výkon kotelny je 12MW.

**Ve strojovně kogeneračních jednotek** je celkem 5 motogenerátorů. Kogenerační jednotky jsou zařízení, která spalováním paliva - bioplynu vyrábí současně elektrickou energii a teplo. El. energie se vyrábí v motogenerátoru, tepelnou energii získáváme dvoustupňově, z chlazení spalovacího motoru a spalin (výměník na výfukovém potrubí). Výroba obou forem energie je spolu pevně spjata a je dán poměr mezi jejich množstvím.

Jedním ze základních parametrů kogenerační jednotky je elektrická účinnost zařízení. Pochopitelně nás zajímá i tepelná účinnost a celková účinnost definovaná jako součet tepelné a elektrické účinnosti, přesto je zásadní účinnost elektrická. Tepelné energie, zvláště v letních měsících, bývá na ÚČOV přebytek a platí, že čím více elektrické energie se vyrobí, tím větší bude ekonomický přínos celé kogenerační jednotky. Výkony a účinnost souboru kogeneračních jednotek jsou uvedeny v tab. 4.

**Tab. 4 – Přehled výkonů a účinností kogeneračních jednotek na ÚČOV v Praze<sup>40</sup>**

Disponibilní výkon (při 100 % výkonu):	MG1	MG2	MG3	MG4	MG5	Celkem
typ soustrojí	TBG 620 V16	TBG 620 V16	TBG 620 V16	TBG 620 V16 K	TBG 620 V16 K	
v provozu od r.	1995	1995	1995	2001	2004	
Příkon v palivu (kW)	2765	2765	2765	3378	3378	15 051
Elektrický výkon	964	964	964	1262	1262	5 416
Tepelný výkon (bez výkonu mezichladiče PS)	1489	1489	1489	1672	1672	7811
výrobce	MWM Deutz					
palivo	kalový plyn					
teplota spalin (°C)	400	400	400	482	482	
generátor – napětí (kV)	6	6	6	6	6	
generátor – účinnost	97%	97%	97%	97%	97%	
generátor – výkon na svorkách (kW)	986	986	986	1 255	1 255	
účinnost elektrická	35,7%	35,7%	35,7%	37,3%	37,3%	
účinnost tepelná	53,3%	53,3%	53,3%	49,5%	49,5%	
účinnost celková	88,9%	88,9%	88,9%	86,8%	86,8%	

**Hořáky zbytkového plynu** slouží ke spalování přebytků bioplynu bez energetického využití. Jde o pojistné zařízení, k likvidaci nevyužitého metanu z bioplynu, který je skleníkovým plynem.

**Teplovodní strojovna** slouží k distribuci a řízení oběhu teplé topné vody od zdrojů tepla z energocentra ke spotřebičům v celém areálu ÚČOV. Cirkulaci topné vody zajišťují oběhová čerpadla na dvou samostatných okruzích – vytápění vyhnívacích nádrží a zvláště vytápění budov.

#### 4.1 Produkce bioplynu

V energocentru se využívá energie obsažená v bioplynu. Bioplyn z termofilních vyhnívacích nádrží obsahuje značné množství vlhkosti, proto se v úpravně plynu ochlazuje a čistí od organokřemičitých příměsí a teprve potom slouží jako pohonná směs pro kogenerační jednotky.

Výtěžnost bioplynu se během poslední 20 let postupně zlepšovala, tak jak byly prováděny intensifikační úpravy procesu.

<sup>40</sup> *Pramen: Vlastní zpracování na základě zdroje: Provozní dokumenty a data Ústřední čistírny odpadních vod v Praze.*



**Stručný přehled změn a událostí v jednotlivých letech, které měly zásadní vliv na produkci bioplynu, uvádí následující přehled:<sup>41</sup>**

- 1994** - v srpnu uvedeno do provozu zahušťování PAK
- 1995** - v dubnu uvedeny do provozu 3 kogenerační jednotky
- 1996** - intenzifikace ÚČOV - odstávka provozu + rekonstrukce (intenzifikace)
- 1997** - zahájena lyzace ZPAK, od IX. ÚČOV ve zkušebním provozu po ukončené intenzifikaci
- 1998** - zkušební provoz - , nestabilita provozu, pěnění VN + úniky BP, od XI. Ve VN 5 zahájen termofilní provoz
- 1999** - pokračování zkušebního provozu, pěnění VN (mimo termofilní VN5), úniky BP
- 2000** - od XII. trvalý provoz, GO 4 lyzačních souprav, dále na 3 měsíce lyzace vyjmuta (sledování složení fugátu)
- 2001** - uvedena 4 kogenerace do provozu, omezení kapacity VN, silné pěnění všech VN a úniky BP
- 2002** - produkce jen za 7 měsíců, v srpnu povodeň, odstávka ÚČOV
- 2003** - postupné uvádění ÚČOV do provozu po povodni, data od II. do XII., postupně z 50% termofilie na 83% celkové kapacity
- 2004** - lyzace v provozu 5 měs. (od VI. - XII. vyjmuta), instalace 5 kogenerace
- 2005** - lyzace v provozu 11 měsíců (zpětná montáž poč. února), od VIII. úplná termofilie
- 2006** - snížení objemu fermentačních nádrží na 84% - GO VN7, 8
- 2007** - dtto jako v roce 2006, GO VN5(6), ve 4 čtvrtletí závažná porucha na kal. hospodářství - průnik anorganického balastu na ÚČOV, (porušení Kanalizačního řádu na stokové síti)
- 2008** - v 1 čtvrtletí - regenerace kalového hospodářství po havárii

Zvyšování produkce bioplynu je znázorněno na grafu č.1, s.33. Graf ukazuje, jak se postupně zvyšovala produkce bioplynu, až v posledních pěti letech dosáhla kulminace. Anaerobní proces je nyní optimální a absolutní produkce bioplynu závisí pouze na množství organických látek v kalu, což závisí na nátoku organických látek na ÚČOV.

---

<sup>41</sup> *Pramen: Vlastní zpracování na základě zdroje: Výroční zprávy Provozu Ústřední čistírny odpadních vod v Praze 1994 – 2008, další provozní dokumenty a data Ústřední čistírny odpadních vod v Praze.*

Jak je z výše uvedených dat patrné, roční produkce bioplynu v posledních pěti letech oscilovala mezi 16 až 18 mil. Nm<sup>3</sup> s tím, že cca 80 % bylo využito v motorgenerátorech a zbývající množství bylo z poloviny spotřebováno v kotelně a v obdobném množství pak na hořácích zbytkového plynu (HZP). Důvodem, proč není veškerá produkce bioplynu spotřebována v motorgenerátorech jsou omezení okamžité provozuschopnosti motorů (odstávky na údržbu a opravy).

## 4.2 Produkce elektrické energie

Bioplyn se spotřebovává přednostně na kogeneračních jednotkách, tzv. motorgenerátorech (MG) a dále na kotlích v kotelně, přebytky se pak zneškodňují na tzv. hořácích zneškodňování plynu (HZP).

Kogenerace obecně je technický způsob pro současnou výrobu elektrické energie a tepla. Na ÚČOV se to realizuje tak, že bioplyn se spaluje v plynových motorech (jsou to spalovací, pístové motory), které pohánějí elektrický generátor. Těchto souprav (motorgenerátorů) je na ÚČOV celkem pět. Množství vyrobené elektrické a tepelné energie závisí primárně na množství spalovaného bioplynu.

Elektrická energie se používá pro vlastní spotřebu čistírny odpadních vod a podobně teplo se požívá pro technologický ohřev vyhřívacích nádrží a pro vytápění provozních budov.

Vyvedení elektrického výkonu je provedeno do místní sítě 6 kV. Generátory napájejí zejména největší elektrospotřebiče – dmychadla a odstředivky.

Generátory nejsou zařízeny pro ostrovní provoz. V případě výpadku venkovní sítě není možné zásobovat velké spotřebiče. Největší elektromotory spotřebičů nemají vybavení pro měkký start a jejich záběrové proudy jsou natolik veliké, že by kogenerace potřebný výkon v daném okamžiku nedokázala poskytnout – měkký zdroj.

Zvyšování produkce bioplynu intensifikačními opatřeními mělo vliv i na produkci el. energie. Tabulka č. 5 ukazuje, jak se zvyšovala soběstačnost ve spotřebě el. energie a také, jak se zvyšuje potenciál krytí, v případě transformace celé produkce bioplynu na el. energii.

**Tab. 5 – Přehled výroby a spotřeby el. energie na ÚČOV v Praze v letech 1990 až 2011<sup>42</sup>**

rok	spotřeba EE celkem MWh	nákup EE MWh	výroba EE MWh	% krytí výrobou	Produkce BP v mil. Nm <sup>3</sup>	potenciál v BP MWh	potenciál v % krytí
1990	26578	21860	4718	17,8	8,71	19162	72,1
1991	27915	23207	4708	16,9	8,1	17820	63,8
1992	27944	24306	3638	13,0	8,54	18788	67,2
1993	27719	23246	4473	16,1	8,14	17908	64,6
1994	28636	23821	4815	16,8	8,18	17988	62,8
1995	30735	18933	11802	38,4	8,31	18292	59,5
* 1996							
1997	29139	10739	18400	63,1	8,61	18943	65,0
1998	37504	20205	17299	46,1	9,03	19872	53,0
1999	36614	17204	19410	53,0	13,23	29108	79,5
2000	34064	16927	17137	50,3	11,02	24244	71,2
2001	38551	13501	25050	65,0	11,51	25314	65,7
* 2002							
2003	42460	18252	24208	57,0	10,61	23343	55,0
2004	43435	19508	23927	55,1	15,97	35138	80,9
2005	42436	11075	31361	73,9	16,57	36455	85,9
2006	41956	16229	25727	61,3	17,88	39337	93,8
2007	42617	14988	27629	64,8	16,26	35765	83,9
2008	43235	15372	27863	64,0	17,88	41938	97
2009	42204	10645	31559	75,2	18,73	43892	104
2010	43896	10520	33376	76,3	18,70	43896	100
2011	44722	9899	34823	78,2	18,53	43380	97

### 4.3 Produkce tepla<sup>43</sup>

Jednotlivé MG jsou s ohledem na jejich maximální vytížení průběžně udržovány v provozuschopném stavu, to znamená, že zpravidla je vždy po nějaký čas jeden MG odstaven z provozu. V současné době jsou MG 1 až MG 3 ve stejném provedení vyvedení tepelného výkonu – chlazení spalin a chlazení motoru. MG 4 je navíc osazen nouzovým chladičem s chladičem směsi, MG 5 je osazen samostatnými okruhy chlazení směsi a nouzovým chladičem. Teplo z MG se získává v tzv. tepelných modulech. To je soubor výměníků, kde se teplem produkovaným MG ohřívá otopná voda, která rozvádí teplo do spotřeby.

<sup>42</sup> Pramen: Vlastní zpracování na základě zdroje: *Provozní dokumenty a data Ústřední čistírny odpadních vod v Praze.*

<sup>43</sup> Vlastní poznatky z praxe

Každý MG produkuje teplo dvojího druhu. Je to teplo tzv. nízkopotenciální, odebírané z chlazení motorů, kdy do výměníku vstupuje voda z motoru o teplotě 90°C, ohřívá otopnou vodu a vrací se o teplotě 70°C zpět do motoru. A dále je to teplo tzv. vysokopotenciální. Spaliny odcházející z MG mají teplotu cca 400°C, procházejí výměníkem, odevzdávají teplo do vody a odchází do komína o teplotě 125°C.

Vyvedení tohoto topného výkonu je provedeno do centrální teplovodní strojovny, kam přichází též otopná voda z kotelny.

Kotle jsou celkem čtyři (3 x 3,7 a 1 x 1,575 MW) a slouží jako záloha pro výrobu tepla v případě poruchy motorgenerátorů. Energetickým zdrojem pro kotle je samozřejmě bioplyn.

Minimální výkon hořáků kotlů je 0,3 resp. 0,5 MW. Podle dosavadní provozní praxe je v zimním období při teplotách vzduchu pod nulou provozován pouze jeden kotel na uvedeném minimálním výkonu, aby se udržoval v provozuschopném stavu vč. ochrany přívodního potrubí plynu před zamrznáním.

Technologickou spotřebou tepla je především vytápění vyhnívacích nádrží. Kal ve vyhnívacích nádržích se zahřívá na teplotu 55°C.

Potřebné teplo se dodává z centrální teplovodní strojovny, odkud se rozvádí topná voda do strojoven vyhnívacích nádrží. Topná voda ohřívá prostřednictvím spirálových výměníků kal. Obsah nádrží I° je míchán mechanicky, pomocí vertikálních vrtulových míchadel nebo cirkulačním přečerpáváním kalu

Technologická spotřeba je dána v zásadě ohřevem vstupujícího SSK do vyhnívacích nádrží a energetickou ztrátou nádrží.

Roční množství kalů pro ohřev z 15°C na 55°C je v průměru 2 000 m<sup>3</sup>/den, 365 dnů.

Množství tepelné energie vstupující do procesu ohřevu SSK není měřeno, pro stanovení energetických bilancí je možné vycházet z výpočtů základních parametrů ohřevu a množství kalů a tepelné ztráty nádrží.

Ústřední vytápění budov a technologických hal představuje ve srovnání s technologickou spotřebou řádově menší spotřebu. Vytápění hal se provádí teplovzdušnými soupravami do nezámrzné teploty, vytápění obytných prostor, dílen a kanceláří podle potřeby pomocí teplovodních otopných těles.

Spotřeba tepla pro vytápění a TUV je cca ve výši **5 500 MWh/rok**.

Hořáky zbytkového plynu – je to celkem 6 jednotek, slouží k likvidaci provozního přebytku bioplynu v případě výpadku jeho spotřeby. V zimním období při teplotách pod

nulou je dle stávající praxe podobně jako u kotle provozován alespoň jeden hořák na minimálním výkonu. Energie z bioplynu spáleného v hořácích zbytkového plynu je energií zmařenou.

#### 4.4 Energetická bilance ÚČOV<sup>44</sup>

Energetická bilance je složena z bilance elektrické energie a energie tepelné.

Největším spotřebičem tepla jsou vyhřívací nádrže. Energetická náročnost vyhřívacích nádrží byla posouzena, s cílem jaký efekt na spotřebu tepla bude mít probíhající rekonstrukce nádrží, která mimo jiné zahrnuje i zlepšení tepelně-technických vlastností obvodových konstrukcí nádrží.

Vedle vlastního měření dodávek tepla a jeho následného rozdělení na spotřebu tepla potřebného na ohřev přivedeného kalu a na krytí tepelných ztrát nádrží byla současně pro přesnější vyčíslení stanovena tepelná ztráta vyhřívacích nádrží kontrolním výpočtem na základě parametrů obvodových konstrukcí nádrží jak v původním provedení, tak i po rekonstrukci.

Obnova obvodového pláště nádrží tak v konečném důsledku sníží ztráty tepla prostupem z původních cca 680 MWh na cca 330 MWh za rok u jedné nádrže respektive 6krát více za všechny nádrže prvního stupně, které jsou dnes vytápěny.

Roční potřeba tepelné energie na krytí tepelných ztrát všech nádrží prvního stupně tak činí **více než 4 tis. MWh** respektive po dokončení rekonstrukce celého souboru **necelé 2 tis. MWh**.

V současné době se roční potřeba tepla pro krytí ztrát nádrží pohybuje **okolo 5 500 MWh**.

Žádoucí úroveň procesu termofilní anaerobní fermentace je podmíněna udržováním teploty kalu ve vyhřívacích nádržích na 55°C.

S ohledem na skutečnost, že směsný surový kal (SSK) má před přívodem do nádrží prvního stupně cca 15 °C, je nutné obsah nádrží periodicky ohřívat díky částečnému ochlazení přívodem každé dílčí dávky kalu.

V současnosti je SSK dávkován do každé nádrže prvního stupně 24krát za den v celkovém množství cca 320 m<sup>3</sup>/den a nádrž čili 2 tis. m<sup>3</sup> za všechny nádrže prvního stupně.

---

<sup>44</sup> Vlastní poznatky z praxe

S ohledem na celkové množství SSK, které je z procesu čištění generováno, představuje jeho ohřev na potřebnou provozní teplotu hlavní technologickou spotřebu tepla, která při projekci denního průměru do ročního souhrnu představuje **cca 34 tis. MWh** či jinak **více než 120 tis. GJ**.

**V kogenerační výrobě však dnes končí stále jen cca 80 % bioplynu, což se s ohledem na potenciál další výroby elektřiny z něj jeví z tohoto pohledu jako neekonomické.**

**Stávající způsob provozu kogeneračního parku však tento potenciál plně využít neumí – je limitován počtem instalovaných MG, resp. odběrovým diagramem čistírny.**

**Zde se nabízí možnost, jak zhodnotit nadbytek bioplynu a současně řešit dlouhodobě přetrvávající problém spočívající v současném způsobu likvidace kalu.**

Nezanedbatelný potenciál energetických úspor v oblasti hospodaření energií je pak možné identifikovat v užití tepla. Určité úspory bude dosaženo po dokončení rekonstrukce vyhřívacích nádrží, díky čemuž poklesnou ztráty tepla obvodovými konstrukcemi nádrží na méně než polovinu.

Mnohem významnějšího efektu je možné dosáhnout přehřevem SSK před přívodem do vyhřívacích nádrží prvního stupně a to rekuperací tepla obsaženého ve vyhnilém kalu odváděného z vyhřívacích nádrží II° stupně.

Tímto způsobem je možné uspořit více než 60 % tepla na ohřev.

Obě tato opatření současně umožní snížit potřebu tepelného výkonu a tím úplně odstranit spalování bioplynu v kotelně bez jakéhokoliv ekonomického efektu.

Ve vyhnilých kalech se však ukrývá významný energetický potenciál – vyjádříme-li zbytkovou chemickou energii v sušině kalu jeho výhřevností, pak při roční produkci, dosahující cca 23 tis. tun sušiny kalu s obsahem cca 50% spalitelné organiky to reprezentuje to více než 70 tis. MWh.

Pouhé mechanické odvodnění však využitelnost této energie de facto znemožňuje. Navrhují zavedení následného sušení kalů na takovou úroveň, která umožní energetické využití vysušeného kalu přímým spalováním ve vhodném spalovacím zařízení.

Vyhnilé kaly jsou dnes po odvodnění z areálu čistírny odváženy nákladní automobilovou dopravou na skládku.

## **5 Návrh na energetické využití odvodněného stabilizovaného kalu na ÚČOV Praha**

### **5.1 Hmotnostní bilance produkce odvodněného stabilizovaného kalu<sup>45</sup>**

Konečný produkt čistícího procesu kalové linky, který je odpadem, je vyhnílý kal. Protože po transformaci části organických látek v surovém směsném kalu (který je vstupním substrátem do procesu anaerobní stabilizace), do bioplynu ještě v tomto kalu zbývají organické látky anaerobně neodbouratelné, ale jsou dalším zdrojem chemické energie. Proto navrhuji soustředit na ně pozornost.

Bilancování jednotlivých stupňů procesu během roku kolísá a pro modelování návrhu postupu úplného využití chemické energie v kalech jsem zvolil průměrné měsíční hodnoty roku 2011. V příloze č. 2 je uveden průběh v jednotlivých měsících roku 2011.

Anaerobní stabilizací se převede 57% OL do bioplynu. Z toho důvodu poklesne koncentrace VL z 5,1% hm. v surovém směsném kalu na 3,0% hm. ve vyhnílém kalu.

#### **Odvodněním vyhnílého kalu na 30% sušiny se sníží jeho objem 10x!**

Přesto sušina vyhnílého kalu obsahuje ještě 52% organických látek, což v měsíčním průměru za rok 2011 činí **999 tun**.

Domnívám se, že je účelné tento energetický potenciál využít a dosáhnout tak úplného energetického využití čistírenského kalu.

### **5.2 Problematika současného nakládání s odvodněným stabilizovaným kalem**

V současné době se téměř celá produkce vyhnílého kalu odvodňuje a odváží v zakrytých kamionech na skládku. V roce 2011 to bylo 95% produkce, zbývajících 5% bylo čerpáno na kalová pole.

---

<sup>45</sup> Vlastní poznatky z praxe

Stávající způsob konečného nakládání s vyhnílym kalem je nevýhodný ze dvou důvodů:

- nevratně se likviduje nevyužitá chemická energie organických látek
- transportuje se voda, která tvoří 70% hmotnosti přepravovaného odvodněného vyhnílého kalu, což jsou zbytečně vynaložené náklady na přepravu

### **5.3 Možnosti sušení odvodněného stabilizovaného kalu a změna jeho vlastností<sup>46</sup>**

Odstraněním vody z odvodněného vyhnílého kalu sušením na obsah sušiny 65% - 90% se získá substrát v pevné formě, granulovaný, který má výhřevnost 8 MJ/kg – 11 MG/kg, tedy výhřevnost srovnatelnou s výhřevností lignitu (8 MJ/kg – 10 MJ/kg).

Odstranit vodu sušením ovšem znamená zahřátím kalu převést vodu na páru a odstranit ji od sušeného substrátu.

Vysušený kal lze následně spalovat samostatně v zařízení vybaveném čištěním spalin (což je nákladné a složité zařízení), lze jej spoluspalovat v elektrárnách a cementárnách, zplyňovat atd., to vše s cílem získat především buď cennou elektrickou energii, nebo energii tepelnou. Reálnou možností pak stále zůstává využití usušených kalů v zemědělství a při výrobě kompostů, pokud kal splňuje kvalitativní požadavky.

Na ÚČOV Praha již byly provedeny zkoušky se sušením kalu i s použitím sušárny bubnové a fluidní. Nejlépe se osvědčila fluidní, nízkoteplotní, podtlaková sušárna.

Důležitým faktorem při volbě technologie sušení kalů je omezení tvorby prachových částic, které mohou limitovat manipulaci s usušeným kalem a v neposlední řadě ovlivňují i bezpečnost provozu. Prachové podíly usušeného kalu mají sklon k výbuchu a dále mohou být příčinnou různých alergií a ekzémů. Fluidní sušárna toto nebezpečí efektivně minimalizuje.

Sušárna pracuje s teplotou 85°C (voda se odpařuje v podtlaku, což brání úniku škodlivin z cirkulačního plynu a vzniklá pára, neboli brýdy, se dále kondensuje) a tato teplota je vzdálená od teploty, která je u sušení nebezpečná pro samovznícení, tj. 130 až

---

<sup>46</sup> Srov. KUTIL, J., HARTIG, K., Sušení čistírenských kalů, *Vodní hospodářství*, 2008, roč.58, č. 11, příloha *Čistírenské listy č.6/2008*, s. 1-2.



150°C. Tato teplota pak nevyžaduje mnoho chladicí energie pro zchlazení kalu a kondenzaci brýd. Cirkulační plyn je inertní a v procesu je sledován obsah O<sub>2</sub>, který se udržuje na hodnotě menší než 8 obj. %. Při sušení se dosahuje až 95% až 98% sušiny. Mícháním vysušeného kalu o této sušině se zvoleným množstvím kalu vstupujícího lze získávat konečný produkt o zvolené sušině, na příklad 65% - 80%. Regulace teploty se dociluje řízeným dávkováním vlhkého kalu a výška vrstvy se reguluje přepadem kalu do oddělené části tělesa sušárny, která je chlazená výměníkem. Kal vystupující ze sušárny je tedy již vychlazen a nemůže dojít k samovznícení.

Sušením se dosáhne maximálního zmenšení objemu anaerobně stabilizovaného kalu, získá se stabilizovaný produkt o vysoké sypné hmotnosti (cca 620 kg/m<sup>3</sup>), který obsahuje prakticky všechny pevné látky obsažené v původním odvodněném kalu a to včetně určitého podílu těkavých látek (sušení probíhá při 85°C). Použití usušeného kalu je v podstatě universální na rozdíl od kalu pouze odvodněného máme k dispozici více způsobů pro jeho další využití. Velmi tomu napomáhá jeho dobrá transportovatelnost a skladovatelnost.

#### 5.4 Energetická bilance sušení, možnosti vlastních zdrojů tepelné energie<sup>47</sup>

##### Výchozí údaje:

• výhřevnost 1Nm <sup>3</sup> bioplynu	23,5 MJ
• na odstranění 1 tuny vody je potřeba	2,6 GJ
• denní produkce vody v odvodněném kalu	145 tun
• denní přebytek bioplynu	7786 Nm <sup>3</sup>
• využitelné teplo z denní produkce spalin MG	117 GJ
• výhřevnost 1 tuny organických látek	23 GJ

V přebytečném bioplynu je denně k dispozici 183 GJ, ve spalinách z kogeneračních jednotek o teplotě 400°C je denně k dispozici 117 GJ, tedy suma využitelného tepla činí 300 GJ.

---

<sup>47</sup> Vlastní poznatky z praxe

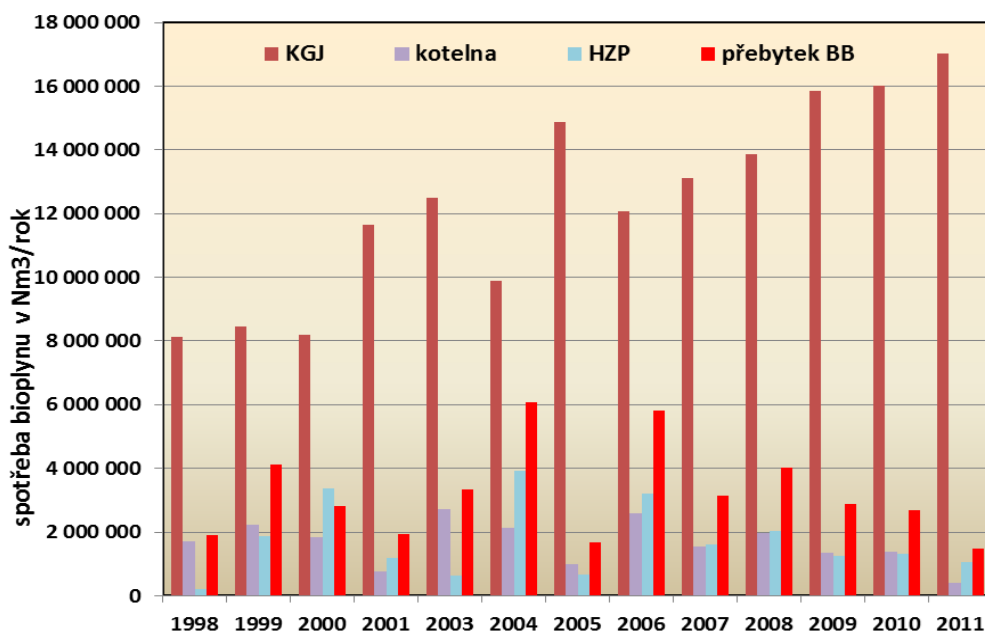
Tímto teplem je možné odstranit 115 tun vody, hmotnost zbytkové vody ve vysušeném kalu by tedy činila 30 tun.

Denní produkce sušiny vyhnílého kalu je 62 tun. **Denní produkce vysušeného kalu tedy může činit 92 tun, o sušině 69%.**

Tato stručná bilance dokazuje, že využitím objemu bioplynu, který není zpracováván v kogeneračních jednotkách a využitím vysoko potenciálního tepla ze spalin motorgenerátorů lze ve fluidní nízkoteplotní, podtlakové sušárně převést odvodněný vyhnílý kal na samo spalitelný produkt, tedy na další zdroj tepelné energie.

V následujícím grafu č. 5 je patrné kolik Nm<sup>3</sup> bioplynu se podařilo spálit v motorgenerátorech a kolik se jich spálilo v ostatních spotřebičích. Z grafu vyplývá kolik Nm<sup>3</sup> bioplynu se nepodařilo využít k výrobě elektrické energie.

**Graf č. 5 – Přehled spotřeby produkce bioplynu v jednotlivých spotřebičích na ÚČOV v letech 1998 - 2011<sup>48</sup>**



<sup>48</sup> Pramen: Vlastní zpracování na základě zdroje: *Provozní dokumenty a data Ústřední čistírny odpadních vod v Praze.*

## 5.5 Energetické využití vysušených odvodněných kalů, jako poslední stupeň jejich úplné recyklace<sup>49</sup>

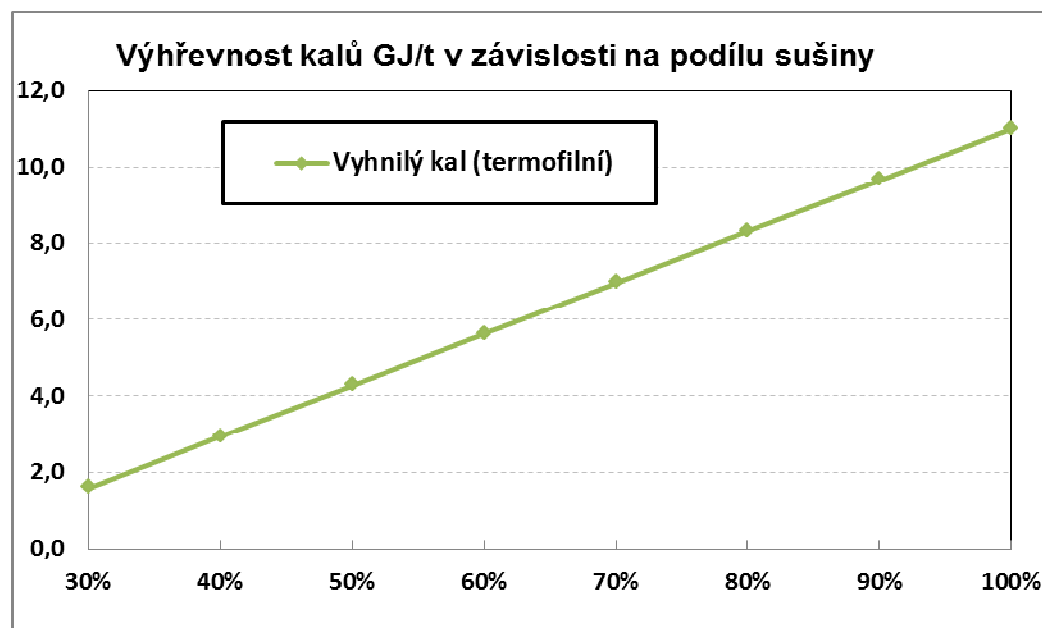
Zdrojem chemické energie ve vysušeném kalu je obsah organických látek. Protože výhřevnost organických látek je 23 GJ na tunu, v denní produkci 33 tun organických látek se jedná o energetický potenciál 759 GJ tepelné energie za den.

Tuto energii lze využívat na příklad v cementárnách, elektrárnách a dalších spalovacích zařízeních, které mají čištění spalin, aby jejich kvalita emisí odpovídala požadavkům Nařízení vlády č. 354/2002, ve znění Nařízení vlády č. 206/2006 Sb.

Využití tepla spalováním vysušených kalů bude zřejmě dostupné pouze na externích spalovacích zařízeních, které jsou pro tento účel technicky vybavené. Spalovací zařízení na ÚČOV není a není reálné jej dodatečně instalovat. Podstatné je i to, že se vysušením významně sníží hmotnost kalu, místo současných cca 208 tun pouze odvodněného vyhnílého kalu na skládku, by se přepravovalo cca 103 tun vysušeného vyhnílého kalu jako palivo, spalitelné v režimu spalování odpadu.

V následujícím grafu č. 6 je znázorněn vztah mezi stupněm vysušení vyhnílého kalu a jeho dosaženou výhřevností.

Graf č. 6 – Výhřevnost vyhnílejších kalů s různým stupněm vysušení<sup>50</sup>



<sup>49</sup> Vlastní poznatky z praxe

<sup>50</sup> Pramen: Vlastní zpracování na základě zdroje: *Provozní dokumenty a data Ústřední čistírny odpadních vod v Praze.*

## 6 Jak dosáhnout úplné energetické soběstačnosti čistírny odpadních vod

Z celkového zhodnocení energetické spotřeby ÚČOV Praha vyplývá, že ji lze rozdělit na dva kvalitativně rozdílné toky:

- spotřeba elektrické energie
- spotřeba tepla

Zdroj chemické energie, kterou, jak bylo uvedeno, lze transformovat do obou toků, je obsah organických látek v nátoku na ÚČOV, který se koncentruje do kalů. A právě zpracováním kalů anaerobní stabilizací a zacházením s jejími produkty vznikají oba druhy energií, potřebné pro provozování všech zařízení a objektů.

### **Následná bilance vztažená na denní hodnoty:<sup>51</sup>**

- v surovém směsném kalu je 76 tun OL, což představuje 1756 GJ energie
- anaerobní stabilizací přejde do bioplynu 44 tun organických látek, tj. 1003 GJ energie
- produkce bioplynu se z 85% spotřebuje v kogeneraci a vyrobí se 85 MWh elektrické energie a 343 GJ tepla
- denní spotřeba elektrické energie činí 118 MWh, tedy pokrytí vlastní výrobou z 85% produkovaného bioplynu je z 72%
- na ohřev kalu z 10°C na 55°C se spotřebuje 328 GJ tepla, na vytápění objektů se spotřebuje 54 GJ, tedy celkem 382 GJ – zde je nutno uvést, že tato bilance vychází z projektovaných hodnot a ve skutečnosti je nižší. Nedochozí k tomu, že by bylo nutno omezovat výrobu elektrické energie ve prospěch výroby tepla

---

<sup>51</sup> Vlastní poznatky z praxe

Z uvedeného přehledu vyplývá, že úplnou přeměnou veškeré produkce bioplynu by výroba elektrické energie pokryla spotřebu. To ostatně dokazují roční bilance uvedené v příloze č. 3, kde teoretická soběstačnost je v pětiletém průměru na 97%. Současná výroba elektrické energie se realizuje na pěti instalovaných kogeneračních jednotkách s rozdílnou elektrickou účinností. Pro vyšší výrobu elektrické energie navrhuji instalovat šestou kogenerační jednotku.

Výroba tepla je dostatečná. V současné době probíhají GO vyhřívacích nádrží, dochází rovněž k výměně tepelných izolací. Měřením bylo zjištěno, že tepelné ztráty nádrží po GO jsou cca poloviční. Původní obvodový plášť nádrží má ztrátu cca 80 kW, po rekonstrukci necelých 40 kW.

Mimořádný efekt v úspoře tepla na ohřev kalu na 55°C přinese jednoduchá konstrukční úprava – rekuperace, jak již bylo zmíněno na str. 46. Vyhnilý kal, vypouštěný z vyhřívacích nádrží má teplotu cca 52°C. SSK dávkovaný v témž objemu do vyhřívacích nádrží má teplotu cca 10°C. Navrhuji proto protiproudou rekuperaci, kdy se vypouštěný kal teoreticky ochladí na 31°C a dávkovaný kal se teoreticky ohřeje na 31°C. Potřeba tepla na ohřev kalu v nádržích na teplotu 55°C potom klesne na cca 40% současné potřeby.

**Protože navrhovaný způsob zhodnocení odvodněného kalu vysušením na samospalitelný substrát o různé výhřevnosti v závislosti na stupni vysušení využívá přebytečný bioplyn, lze na základě dlouholetého sledování stanovit, že energetická soběstačnost ve spotřebě elektrické energie se bude pohybovat okolo 80% a tepelná soběstačnost bude úplná. Vysušením vyhnilého kalu na 65% se denně získá 98 tun substrátu o výhřevnosti cca 6 GJ/t a nebo vysušením na 80% se získá 80 tun o výhřevnosti cca 8 GJ/t, viz graf č. 6. Tato tepelná energie ale bude využita externě. V každém případě úplná energetická bilance ÚČOV je pozitivní.**

## ZÁVĚR

Práce se podrobně zabývá zacházením s odpady, které vznikají při čištění odpadních vod na Ústřední čistírně odpadních vod v Praze.

I když odpadní vody, jak je patrné z názvu tohoto media, jsou tzv. odpadem, z technologického procesu čištění je patrné, že se jedná o separaci nečistot, které se do původně pitné vody dodané do spotřebitelské sítě, jejím používáním dostaly. V naprosto převážné míře jde o znečištění organické.

Z jednotlivých stupňů separace znečištění jsou hlavním předmětem zájmu kaly. Kaly ve svém objemu představují pouhých cca 5% objemu čištěných vod, ale je v nich koncentrováno cca 80% přitékajícího znečištění a to, opět v převažující míře organické. Právě tyto organické látky jsou zdrojem chemické energie, kterou lze využívat různými způsoby. Je popsána a bilancemi doložena anaerobní stabilizace, fermentace, což je transformace organických látek na bioplyn, který se dále přeměňuje na elektrickou energii a teplo. Touto transformací, se hmotnost kalu sníží cca na 50%, ale ve zbytku po anaerobní stabilizaci je ještě dalších cca 50% organických látek, které nepodléhají anaerobnímu rozkladu.

Kaly jsou suspensí o nízké koncentraci sušiny a pro všechny operace s nimi je nutné z nich co nejvíce vody odstranit. Proto je snahou dosáhnout co možná nejvyšší koncentrace sušiny u kalu primárního sedimentací s předsrážením, u kalu biologického sedimentací, předsrážením a strojním zahušťováním. Kal zbylý po anaerobní stabilizaci, nazývaný kal vyhnílý obsahuje cca 3,5 % sušiny, se zmíněným cca 50% ním obsahem organických látek, který se strojně odvodňuje, tím se zahustí cca 10x a produkt obsahuje cca 32% sušiny.

Je známý a používaný způsob sušení tohoto produktu a jeho dalšího využívání jako zdroje tepelné energie. Na ÚČOV Praha byly provedeny provozní zkoušky sušení na vysokou sušinu – cca 92% a tento produkt byl úspěšně zkušebně spalován v cementárnách. Ovšem, pro tento způsob vyžadují cementárny právě vysokou sušinu, tj. min. 92%.

Protože vyrobený bioplyn je přednostně využíván na výrobu elektrické energie a tepla, nelze produkci vyhnílého kalu vysušit na 92% vyrobeným bioplynem.

V práci se zabývám několika skutečnostmi. Vyprodukovaný bioplyn se využívá cca z 80%. Nejsou stále v nepřetržitém provozu kogenerační jednotky (odstávky z důvodů údržby, poruch atd.), část produkce se bez užitku spaluje v hořácích, část se spaluje v kotelně, i když kogenerace produkuje dostatek tepla. Kogenerace produkuje teplo na dvou tepelných hladinách a právě teplo ze spalin (více než 400°C) je možno rovněž použít na sušení. Z poznatků provozování sušárny jsem provedl bilancování, o jaké množství vody by bylo možné v odvodněném vyhnílému kalu její obsah snížit a jak by se to projevilo v možném energetickém využití částečně vysušeného kalu.

Přestože roční přebytky bioplynu jsou různé, různá je rovněž produkce vysokopotenciálního tepla ze spalin, která je závislá na množství bioplynu spáleného v kogeneraci, je tato suma dostačující, aby byla produkce vyhnílého kalu vysušena na samospalitelný substrát o sušině od 65% do 80%.

Rovněž upozorňuji na značný tepelný potenciál ve vyhnílému kalu, který lze snadno využít a rekuperací ohřívat dávkovaný surový směsný kal do vyhřívacích nádrží.

V bakalářské práci uvedené bilance ukazují, že popsáním způsobem lze dosáhnout pozitivní energetické bilance a úplné přeměny organických látek v odpadu – v kalech, na energii elektrickou a tepelnou.

## ANOTACE

<b>Jméno a příjmení:</b>	Jiří Machovec
<b>Instituce:</b>	Moravská vysoká škola Olomouc
<b>Název práce v českém jazyce:</b>	Způsoby recyklace a maximálního energetického využití odpadů z čištění městských odpadních vod.
<b>Název práce v anglickém jazyce:</b>	Methods of the Maximum Energetical Utilization and Recycling of Wastes from Wastewater Treatment.
<b>Vedoucí práce:</b>	Ing. Anežka Machátová
<b>Počet stran:</b>	68
<b>Počet příloh:</b>	3
<b>Rok obhajoby:</b>	2012
<b>Klíčová slova v českém jazyce:</b>	odpadní voda, odpad, bioplyn, anaerobní stabilizace, stabilizovaný kal, energie, kogenerace, sušení
<b>Klíčová slova v anglickém jazyce:</b>	wastewater, waste, biogas, digestion process, digested sludge, power, cogeneration, drying process

Cílem této bakalářské práce je zdokumentování efektivního a výhodného zacházení s odpadními vodami při procesu jejich čištění s využitím anaerobní stabilizace kalů. Popsaným procesem lze dosáhnout maximální energetické soběstačnosti čistírny odpadních vod a to při vhodném způsobu zacházení se vzniklými odpady. V bakalářské práci je uveden proces intenzivní přeměny odpadů na energii elektrickou a tepelnou v instalované kogeneraci na Ústřední čistírně odpadních vod v Praze. Práce ukazuje výhodnost a efektivitu tohoto řešení. Součástí práce je návrh na úplné energetické využití odvodněného stabilizovaného kalu.

The goal of this bachelor work is to present an effective and economical processing of wastewater during its treatment by using of digestion process. The described processing aims to achieve maximum self-sufficiency of the wastewater treatment plant in power at proper waste disposal. The bachelor work contains a presentation of waste conversion into power and heat in the cogeneration units at Wastewater treatment plant



in Prague. A part of this bachelor work is a proposal of energy utilization of dewatered digested sludge and its complete recovery.

## LITERATURA A PRAMENY

1. DOHÁNYOS, Michal, aj. *Anaerobní čistírenská technologie*. 1. vyd. Brno: NOEL 2000 s.r.o., 1998. 339 s. ISBN 80-86020-19-3
2. DOHÁNYOS Michal. Nové metody finálního zpracování kalů-intenzifikace kalového hospodářství-praktické zkušenosti. In *Nakládání s kaly z ČOV 2007*. 1. vyd. SOVAK, Sdružení vodovodů a kanalizací ČR
3. DOHÁNYOS Michal. Úvodní slovo. In *Anaerobie 2011*. 1. vyd. Klatovy: Asociace pro vodu ČR, ISBN 978-80-260-0449-3
4. DOHÁNYOS Michal. Vývoj kalového hospodářství na ÚČOV Praha za posledních 10 let. In *KALY A ODPADY 2008*. 1. vyd. AČE SR, Nitra: 2008. ISBN 978-80-89088-62-1
5. HLADÍK Zdeněk. Písek jako odpad z ČOV a možnosti jeho recyklace. In *Kaly a odpady 2004*. 1. vyd. AČE SR, Nitra: NOI, 2004. ISBN 80-89088-0
6. CHUDOBA, Jan, DOHÁNYOS, Michal, a WANNER Jiří. *Biologické čištění odpadních vod*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1991. 468 s. ISBN 80-03-00611-2
7. KUTIL, Josef, HARTIG, Karel. Sušení čistírenských kalů. *Vodní hospodářství*, 2008, Praha: Vodní hospodářství spol. s r.o., ISSN 1211-0760, 2008, roč. 58, č. 11, příloha: *Čistírenské listy*, č. 6/2008, s. 1-2
8. PYTL, Vladimír, aj. *Příručka provozovatele čistírny odpadních vod*. 1. vyd. Líbeznice u Prahy: Medim, spol.s r.o., 2004. 206 s. SBN80-239-2528-8
9. STRAKA, František, aj. *Bioplyn*. 1. vyd. Říčany: GAS s.r.o., 2003. 513 s. ISBN 80-7328-029-9
10. Nařízení vlády č. 354/2002, §5, odst. 1-3, Stanovení emisních limitů a dalších podmínek pro spalování odpadu.
11. Propagační materiály Provozu Ústřední čistírny odpadních vod v Praze
12. Provozní dokumenty a data Provozu Ústřední čistírny odpadních vod v Praze
13. Provozní řád Ústřední čistírny odpadních vod v Praze, vyd. 2008
14. Vlastní poznatky z praxe
15. Výroční zprávy Provozu Ústřední čistírny odpadních vod v Praze, vyd. 1994 – 2011

## SEZNAM ZKRATEK

BP .....	bioplyn
BSK <sub>5</sub> .....	biochemická spotřeba kyslíku
ČOV .....	čistírna odpadních vod
ČR.....	Česká republika
EU .....	Evropská unie
GO.....	generální oprava
HZP .....	hořák zbytkového plynu
CHSK .....	chemická spotřeba kyslíku
MG.....	motorgenerátor
NL.....	nerozpuštěné látky
OL.....	organické látky
OVK .....	odvodněný vyhnílý kal
PAK .....	přebytečný aktivovaný kal
SSK .....	směsný surový kal
TUV.....	topná užitková voda
ÚČOV .....	Ústřední čistírna odpadních vod
VL .....	veškeré látky
VN.....	vyhňivací nádrž
VN I°.....	vyhňivací nádrž prvního stupně
VN II°.....	vyhňivací nádrž druhého stupně
ZPAK .....	zahuštěný přebytečný aktivovaný kal

## SEZNAM ZNAČEK

Ar .....	..arzén
Cd .....	..kadmium
CH <sub>4</sub> .....	..metan
CO <sub>2</sub> .....	..oxid uhličitý
GJ .....	..gigajoul
g.kg <sup>-1</sup> .....	..gram na jeden kilogram
Hg .....	..rtuť
H <sub>2</sub> .....	..vodík
H <sub>2</sub> O .....	..voda
H <sub>2</sub> S .....	..oxid siřičitý
kg .....	..kilogram
kg.m <sup>-3</sup> .....	..kilogram na jeden metr krychlový
kV .....	..kilovolt
MJ.Nm <sup>-3</sup> .....	..megajoul na jeden normovaný metr krychlový
mm .....	..milimetr
MW .....	..megawatt
MWh .....	..megawatthodina
m <sup>3</sup> .....	..metr krychlový
m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> .....	..metr krychlový za jednu sekundu
m <sup>3</sup> .t <sup>-1</sup> .....	..metr krychlový na jednu tunu
N <sub>celk.</sub> .....	..celkový dusík
N <sub>2</sub> .....	..dusík
Nm <sup>3</sup> .rok <sup>-1</sup> .....	..normovaný metr krychlový za jeden rok
O <sub>2</sub> .....	..kyslík
PCDD .....	..polychlorovaný dibenzodioxin
PCDF .....	..polychlorovaný dibenzofuran
P <sub>celk.</sub> .....	..celkový fosfor
Pb .....	..olovo
pH .....	..kyselost a zásaditost látek
Zn .....	..zinek
°C .....	..Celsiův stupeň
% .....	..procento

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Schéma anaerobního rozkladu organických látek .....	18
Obr. 2 - Obecné schéma zpracování čistírenských kalů .....	23
Obr. 3 - Technologické schéma ÚČOV v Praze .....	28

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 - Množství látek v gramech produkované jedním obyvatelem za den a odpovídající hodnoty BSK <sub>5</sub> jako ukazatele znečištění .....	8
Tab. 2 - Objemy vyhřívacích nádrží .....	30
Tab. 3 - Přehled vývinu a spotřeby bioplynu v roce 2011 na ÚČOV v Praze .....	37
Tab. 4 - Přehled výkonů a účinností kogeneračních jednotek na ÚČOV v Praze.....	39
Tab. 5 - Přehled výroby a spotřeby el. energie na ÚČOV v Praze v letech 1990 až 2011 .....	43

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 – Vývoj roční produkce bioplynu v letech 1985 – 2011.....	32
Graf 2 – Průběh produkce bioplynu a přivedených organických látek.....	33
Graf 3 – Specifická produkce bioplynu ( $\text{m}^3/\text{tunu OL vložných}$ ) .....	34
Graf 4 – Složení bioplynu na ÚČOV Praha v roce 2011 .....	38
Graf 5 – Přehled spotřeby produkce bioplynu v jednotlivých spotřebičích na ÚČOV v letech 1998 - 2011 .....	50
Graf 6 – Výhřevnost vyhnilých kalů s různým stupněm vysušení .....	51

## SEZNAM PŘÍLOH

Příl. 1 - Hmotnost vyprodukovaných a likvidovaných odpadů v roce 2011 .....	66
Příl. 2 - Hmotnostní bilance kalů v roce 2011 .....	67
Příl. 3 - Energetická bilance bioplynu, elektřiny a tepla v letech 2007 – 2011 ....	68



## **PŘÍLOHY**

**Příl. č. 1 - Hmotnost vyprodukovaných a likvidovaných odpadů<sup>52</sup>  
v roce 2011**

Měsíc	písek + šterk	shrabky	OVK
	t	t	t
leden	264	246	6 296
únor	235	236	4 785
březen	278	267	5 878
duben	317	440	5 628
květen	329	253	6 195
červen	514	264	6 042
červenec	361	206	5 133
srpen	452	241	4 748
září	258	242	5 584
říjen	275	299	6 678
listopad	223	274	7 357
prosinec	274	263	6 443
<b>celkem</b>	<b>3780</b>	<b>3231</b>	<b>70 767</b>

**Vysvětlivky:**

OVK – odvodněný vyhnílý kal

<sup>52</sup> *Pramen: Vlastní zpracování na základě zdroje: Provozní dokumenty a data Ústřední čistírny odpadních vod v Praze.*

Příl. 2 - Hmotnostní bilance kalů v roce 2011<sup>53</sup>

2011	surový směsný kal					vyhnilý kal					odvodněný kal			OL převedené do BP	
	objem m <sup>3*</sup>	VL %	ZŽ %	sušina t	OL t	objem m <sup>3*</sup>	VL %	ZŽ %	sušina t	OL t	VL %	hmotnost t	hm. vody t	t	%
leden	60 362	5,0	74	3 033	2230	59 013	3,1	54	1815	986	29,4	6 167	4352	1244	56
únor	55 950	5,0	76	2 798	2118	55 600	3,2	54	1751	947	30,0	5 834	4083	1171	55
březen	62 505	5,5	72	3 463	2495	61 279	3,0	55	1826	999	30,0	6 083	4256	1497	60
duben	67 310	5,9	69	3 938	2705	66 527	3,4	53	2229	1171	29,9	7 456	5228	1534	57
květen	69 306	5,1	70	3 521	2467	64 546	3,2	51	2065	1054	31,8	6 502	4436	1412	57
červen	74 746	5,4	65	4 036	2606	74 052	3,1	50	2277	1130	32,5	7 013	4736	1476	57
červenec	66 118	4,1	67	2 687	1799	65 684	2,5	52	1649	851	30,5	5 401	3752	948	53
srpen	55 250	5,5	67	3 012	2009	49 103	3,0	48	1461	704	31,9	4 584	3123	1305	65
září	55 073	5,1	69	2 792	1916	55 738	3,2	49	1772	865	30,3	5 858	4086	1051	55
říjen	62 775	5,4	74	3 390	2522	61 387	3,0	53	1842	978	27,2	6 781	4940	1544	61
listopad	70 548	4,8	75	3 400	2550	70 588	3,0	55	2132	1175	27,9	7 652	5520	1375	54
prosinec	69 218	5,0	74	3 431	2529	68 307	2,9	57	1981	1123	29,4	6 734	4753	1405	56
<b>průměr</b>	<b>64 097</b>	<b>5,1</b>	<b>71</b>	<b>3 292</b>	<b>2 329</b>	<b>62 652</b>	<b>3,0</b>	<b>52</b>	<b>1 900</b>	<b>999</b>	<b>30</b>	<b>6 339</b>	<b>4 439</b>	<b>1 330</b>	<b>57</b>

**Vysvětlivky:**

\* nesoulad objemů je způsoben chybou měření průtokoměrů, za reprezentativní se považuje objem surového směsného kalu

VL – veškeré látky (sušina)

ZŽ – ztráta žíháním – úbytek na váze sušiny po vyžhání = obsah OL

<sup>53</sup> Pramen: Vlastní zpracování na základě zdroje: *Provozní dokumenty a data Ústřední čistírny odpadních vod v Praze.*

**Příl. 3 – Energetická bilance bioplynu, elektřiny a tepla v letech 2007 – 2011<sup>54</sup>**

	2007	2008	2009	2010	2011	průměr	
suma vývin BP	16251850	17876783	18728498	18699956	18528387	<b>18017095</b>	
suma produkce BP v Nm3	16256968	17878269	18730268	18700100	18528620	<b>18018845</b>	
spotřeba BP v MG	13107060	13868369	15 848 278	16 015 575	17 044 723	<b>15176801</b>	
spotřeba BP v kotelně	1540074	1965374	1 354 527	1 381 974	414 716	<b>1331333</b>	
spotřeba BP v HZP	1599598	2042483	1 255 634	1 302 263	1 068 866	<b>1453769</b>	
BP nespotr. v MG	3149908	4009900	2881990	2684525	1483897	<b>2842044</b>	
výroba EE (MWh)	27629	27863	31 559	33 376	34 823	<b>31050</b>	
odběr EE (MWh)	14988	15372	10 645	10 520	9 899	<b>12285</b>	
soběstačnost ve výr. EE v %	65	64	75	76	78	<b>72</b>	
teoretická soběstačnost ve výr. EE v %	89,23	97,00	104	100	97	<b>97</b>	
EE v kWh z 1 Nm3 BP	2,11	2,01	1,99	2,08	2,04	<b>2,05</b>	
spotřeba BP na výrobu 1MWh	474	498	502	480	489	<b>489</b>	
výroba tepla MG (provozní údaj) (GJ)	115940	118906	118 113	128 778	144 391	<b>125226</b>	
th. výroba tepla štítková (tep. výk. je 1,489 MW)	55274	60502	63 385	59 809	59 261	<b>59646</b>	
theor. teplo v GJ/rok	198985	217806	228 186	215 313	213 338	<b>214726</b>	
vyrobené teplo v GJ na vyrobenou MWh (vč.ztrát)	4,20	4,27	3,74	3,86	4,15	<b>4,04</b>	
vyrobené teplo v GJ na vyrobenou MWh (beze ztrát)	5,84	6,06	6,12	5,52	5,64	<b>5,84</b>	
spotřeba BP na 1 GJ vyrobený v MG	113	117	134	124	118	<b>121</b>	
teplo v MJ z 1 Nm3 BP v MG	9,22	8,57	7,45	8,04	8,47	<b>8,35</b>	
provozní hodiny	MG 1	6 597	6 343	7058	7385	7400	<b>6957</b>
	MG 2	6 941	7 335	6625	6924	6660	<b>6897</b>
	MG 3	6 671	5 011	6439	7952	7597	<b>6734</b>
	MG 4	5 908	5 270	6358	6739	6940	<b>6243</b>
	MG 5	5 806	5 468	6308	6104	7813	<b>6300</b>
suma	31 922	29 427	32788	35104	36410	<b>33130</b>	
plný časový roční fond pro 5 ks MG	43800	43920	43800	43800	43800	<b>43824</b>	
provozní využití v %	73	67	75	81	83	<b>76</b>	
výkon v MWel	0,866	0,947	0,963	0,951	0,956	<b>0,937</b>	
výkon MWtep. (vč. ztrát)	1,017	1,131	1,009	1,027	1,110	<b>1,059</b>	
výkon MWtep. (beze ztrát)	1,745	2,072	1,949	1,717	1,641	<b>1,825</b>	

<sup>54</sup> Pramen: Vlastní zpracování na základě zdroje: *Provozní dokumenty a data Ústřední čistírny odpadních vod v Praze.*