

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING

## SUŠENÍ ČISTÍRENSKÝCH KALŮ SOLÁRNÍ ENERGIÍ

DRYING OF SEWAGE SLUDGE USING SOLAR ENERGY

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

BC. DALIBOR PRÁŠEK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

ING. LUCIE HOUDKOVÁ, PH.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Dalibor Prášek

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Procesní inženýrství (3909T003)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

**Sušení čistírenských kalů solární energií**

v anglickém jazyce:

**Drying of sewage sludge using solar energy**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rozbor problematiky současných způsobů nakládání s kaly z komunálních čistíren odpadních vod. Rešerše v oblasti sušení kalu v solárních sušárnách se zaměřením na získání dat pro výpočet hmotnostní a energetické bilance procesu sušení.

Cíle diplomové práce:

Vypracování hmotnostní a energetické bilance procesu sušení v solární sušárně na základě dat získaných rešerší aplikovaných na prostředí ČR.

Ekonomické vyhodnocení instalace solární sušárny na ČOV různých kapacit.

## Seznam odborné literatury:

- [1] Vladimír Pytl a kolektiv: Příručka provozovatele čistírny odpadních vod. 1. vydání, Praha, 2004, 209 s. ISBN 80-239-2528-8
- [2] Pallav Purohit a kolektiv: Solar drying vs. Open sun drying: A framework for financial evaluation
- [3] Lubomír Mazel, Miloš Pokorný: Vodárny a čistírny. 2. přepracované vydání, VUT, Brno 1992. 149 s. ISBN 80-214-0473-6
- [4] O.V. Ekechukwu, B. Bortin, Review of solar-energy drying systéme II: an overview of solar drying technology
- [5] DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Tagungsband, 6. Klärschlammstage in Fulda

Vedoucí diplomové práce: Ing. Lucie Houdková, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 15.11.2010

L.S.

---

prof. Ing. Petr Stehlik, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **ANOTACE**

Diplomová práce se zabývá problematikou současných způsobů nakládání s kaly z čistíren odpadních vod. Hlavním cílem je porovnání finančních nákladů konvenčního sušení se sušením solárním. V první části je uvedena deskripce procesu zpracování kalu a možnosti jeho likvidace. Dále práce popisuje různé metody sušení čistírenských kalů.

Klíčová slova:

Kal - obsah sušiny - čistírna odpadních vod - solární sušení kalu

## **ANNOTATION**

This Master's Thesis deals with a question of the current methods of treatment of sewage sludge. The main objective is to compare the financial cost of conventional drying with solar drying. In the first part is described process of the treatment sludge and its disposal options. The Thesis also describes different methods of drying sewage sludge.

Key words:

Sludge - volume of dry matter content - waste water treatment plant - solar drying of sewage sludge

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE PRÁCE**

PRÁŠEK, D. *Sušení čistírenských kalů solární energií*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 64 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Lucie Houdková, Ph.D..

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 27. května 2011

-----

Podpis

## PODĚKOVÁNÍ

Mé poděkování patří vedoucímu diplomové práce Ing. Lucii Houdkové, Ph.D. za cenné informace a připomínky při zpracování této práce.

**OBSAH**

<b>SEZNAM SYMBOLŮ .....</b>	<b>10</b>
<b>ÚVOD.....</b>	<b>11</b>
<b>1 ČISTÍRENSKÉ KALY .....</b>	<b>12</b>
1.1 VZNIK.....	12
1.2 VLASTNOSTI .....	13
1.3 ZPRACOVÁNÍ KALŮ .....	13
1.3.1 Zahušťování kalu .....	14
1.3.2 Stabilizace kalu.....	15
1.3.3 Odvodnění kalu .....	15
1.3.4 Hygienizace kalu .....	15
1.4 LIKVIDACE KALU .....	16
1.4.1 Kompostování.....	16
1.4.2 Aplikace na zemědělskou půdu .....	16
1.4.3 Spalování kalů v teplárnách a elektrárnách .....	17
1.4.4 Spalování v cementárenské peci.....	17
1.4.5 Ostatní způsoby likvidace.....	17
<b>2 LEGISLATIVNÍ ASPEKTY SUŠÁREN KALU .....</b>	<b>18</b>
2.1 POVOLENÍ PODLE VODOVODNÍHO ZÁKONA .....	18
2.2 POVOLENÍ PRO ZPRACOVÁNÍ ODPADU .....	18
2.3 SUBVENCE KRAJSKÁ .....	19
2.4 SUBVENCE EVROPSKÁ.....	19
<b>3 PRINCIPY SUŠENÍ KALU .....</b>	<b>20</b>
3.1 KONVEKČNÍ SUŠENÍ .....	20
3.1.1 Nízkoteplotní fluidní sušárna.....	20
3.1.2 Pásová sušárna.....	21
3.1.3 Rotační bubnová sušárna .....	21
3.2 KONTAKTNÍ SUŠENÍ.....	21
3.2.1 Diskové sušárny.....	22
3.2.2 Tenkovrstvé sušárny .....	22
3.3 SOLÁRNÍ SUŠENÍ.....	22
3.3.1 Bez vytápění .....	22
3.3.2 S vytápěním .....	23
3.3.3 Hlavní vlivy na výkonnost solární sušárny.....	24
<b>4 SOLÁRNÍ SUŠENÍ.....</b>	<b>25</b>
4.1 5 000 EO.....	25
4.1.1 Velikost solární sušárny .....	25
4.1.2 Cena solární sušárny pro ČOV o velikosti 5 000 EO .....	26
4.1.3 Pozemek .....	27
4.1.4 Dotace .....	27
4.1.5 Náklady na údržbu.....	28
4.1.6 Provozní náklady .....	28
4.1.7 Úvěr .....	29
4.1.8 Náklady na likvidaci kalu .....	29
4.1.9 Investiční propoččet .....	30
4.1.10 Diskuze .....	31
4.2 50 000 EO.....	32



4.2.1	Cena solární sušárny pro ČOV o velikosti 50 000 EO .....	33
4.2.2	Pozemek .....	33
4.2.3	Dotace .....	33
4.2.4	Náklady na údržbu .....	34
4.2.5	Provozní náklady .....	34
4.2.6	Úvěr .....	34
4.2.7	Investiční propočet .....	35
4.2.8	Diskuze .....	36
4.3	200 000 EO .....	36
4.3.1	Cena solární sušárny pro ČOV o velikosti 200 000 EO .....	37
4.3.2	Pozemek .....	37
4.3.3	Dotace .....	37
4.3.4	Náklady na údržbu .....	38
4.3.5	Provozní náklady .....	38
4.3.6	Úvěr .....	38
4.3.7	Investiční propočet .....	38
4.3.8	Diskuze .....	39
4.4	1 000 000 EO .....	40
4.4.1	Cena solární sušárny pro ČOV o velikosti 1 000 000 EO .....	40
4.4.2	Pozemek .....	41
4.4.3	Dotace .....	41
4.4.4	Náklady na údržbu .....	42
4.4.5	Provozní náklady .....	42
4.4.6	Úvěr .....	42
4.4.7	Investiční propočet .....	42
4.4.8	Diskuze .....	43
4.4.9	KONVEKČNÍ A KONTAKTNÍ SUŠENÍ .....	44
4.5	5 000 EO .....	44
4.5.1	Cena pásové sušárny pro ČOV o velikosti 5 000 EO .....	44
4.5.2	Dotace .....	44
4.5.3	Náklady na opravy .....	44
4.5.4	Provozní náklady .....	44
4.5.5	Úvěr .....	45
4.5.6	Investiční propočet .....	45
4.5.7	Diskuze .....	46
4.6	50 000 EO .....	46
4.6.1	Cena pásové sušárny pro ČOV o velikosti 50 000 EO .....	46
4.6.2	Dotace .....	47
4.6.3	Náklady na opravy .....	47
4.6.4	Provozní náklady .....	47
4.6.5	Úvěr .....	47
4.6.6	Investiční propočet .....	48
4.6.7	Diskuze .....	49
4.7	200 000 EO .....	49
4.7.1	Cena pásové sušárny pro ČOV o velikosti 200 000 EO .....	49
4.7.2	Dotace .....	49
4.7.3	Náklady na opravy .....	49
4.7.4	Provozní náklady .....	49
4.7.5	Úvěr .....	50
4.7.6	Investiční propočet .....	50

4.7.7	Diskuze .....	51
4.8	1 000 000 EO .....	52
4.8.1	Cena pásové sušárny pro ČOV o velikosti 1 000 000 EO .....	52
4.8.2	Dotace .....	52
4.8.3	Náklady na opravy .....	52
4.8.4	Provozní náklady .....	52
4.8.5	Úvěr .....	53
4.8.6	Investiční propočet .....	53
4.8.7	Diskuze .....	54
<b>ZÁVĚR</b>	.....	<b>55</b>
<b>ZDROJE</b>	.....	<b>56</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b>	.....	<b>58</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b>	.....	<b>59</b>
<b>SEZNAM GRAFŮ</b>	.....	<b>61</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH</b>	.....	<b>62</b>

**SEZNAM SYMBOLŮ**

<b>Symbol</b>	<b>Význam</b>	<b>Jednotka</b>
$a$	anuita	[-]
$c_p$	pořizovací cena	[Kč]
$e_o$	počet ekvivalentních obyvatel	[EO]
$l$	úroková sazba	[%]
$m_e$	množství vody k odpaření	[kg/rok]
$m_{in}$	množství sušiny na vstupu do ČOV	[kg/rok]
$m_o$	množství odvodněného kalu (25 % sušiny)	[kg/rok]
$m_{ov}$	množství vody v odvodněném kalu	[kg/rok]
$m_v$	množství vysušeného kalu (85 % sušiny)	[kg/rok]
$m_{vv}$	množství vody ve vysušeném kalu	[kg/rok]
$pl$	výše platby	[Kč/rok]
$r$	délka úvěru	[roky]

## ÚVOD

Cílem této diplomové práce bude popsat procesy a zařízení v čistírně odpadních vod, především v kalové koncovce a vytvořit investiční propočty přidání solární sušárny kalu do kalové koncovky čistírny odpadních vod.

V první kapitole se budeme věnovat popisu kalu, jak vzniká a jaké jsou jeho nejdůležitější vlastnosti. Dále zde bude popsáno, jakým způsobem se kal zpracovává a jaké jsou náklady na likvidaci kalu. Detailněji se tedy budeme zabývat zahušťováním, stabilizací, odvodňováním a hygienizací kalu. U odvodňování si popíšeme princip fungování odstředivky a kalového pole. Dále bude uvedena deskripce jednotlivých možností likvidace kalu. Hlavně zmíníme kompostování, aplikaci na zemědělskou půdu, spalování v teplárnách, elektrárnách a cementárnách, k ostatním způsobům likvidace kalu se zmíníme jen okrajově.

V následující kapitole se budeme zabývat legislativními aspekty sušáren kalu. Budou popsány směrnice, které musíme dodržovat z hlediska vodního zákona. Dále bude rozebrán zákon o odpadech a jeho nově přijatá směrnice. V této kapitole si také řekneme, jaké jsou možnosti dotací a to jak krajských, tak evropských.

Třetí kapitola se bude věnovat principům sušení kalu a jednotlivým druhům sušáren kalu. Probereme si sušení konvekční, u něhož máme možnost využít nízkoteplotní fluidní sušárnu, pásovou sušárnu a rotační bubnovou sušárnu. Dále zmíníme sušení kontaktní, kde se využívá diskové sušárny a tenkovrstvé sušárny kalu. Na závěr této kapitoly si probereme technologii solárního sušení.

V předposlední kapitole bude vyvozena materiálová a energetická bilance solárního sušení kalů. Budeme se věnovat ekonomické výhodnosti instalace solární sušárny na čistírny odpadních vod o velikostech 5 000 EO, 50 000 EO, 200 000 EO a 1 000 000 EO. Prvně se budeme věnovat potřebné velikosti solární sušárny pro dané velikosti čistíren odpadních vod v klimatických podmínkách České republiky. Na základě kombinace nabídky německé firmy zabývající se stavbou solárních sušáren kalu po celé Evropě a nabídky brněnské stavební společnosti určíme investiční náklady na tuto stavbu. Poté posoudíme možnost dotací, dále bude nalezen vhodný pozemek na stavbu sušárny a vypočítáme si provozní náklady solární sušárny. Ze známých současných nákladů likvidaci kalu bude určena výše úspor zavedením solární sušárny kalu do kalové koncovky a po odečtení všech nákladů určíme peněžní tok v případě realizace solární sušárny.

V poslední kapitole bude provedeno ekonomické vyhodnocení zavedení kontaktního nebo konvekčního způsobu sušení. V závěru porovnáme tento způsob sušení s možností solárního sušení v našich klimatických podmínkách.

# 1 ČISTÍRENSKÉ KALY

## 1.1 VZNIK

Pojmem odpadní kal se označují směsi dvou nebo více odpadních látek. Nejméně jedna z těchto látek musí být přítomna v kapalném skupenství a vytvářet souvislou kapalnou fázi a alespoň jedna látka musí být v tuhém skupenství a rozptýlena v souvislé kapalně fázi. Kal vzniká při čištění odpadních vod. Tyto vody jsou zpracovávány v čistírnách odpadních vod (dále je ČOV) tak, že se odstraňují nežádoucí složky a koncentrují se do objemově mnohem menšího proudu tzv. kalu. Produkci kalu bohužel nelze zabránit, pouze vhodnou technologií zmenšit jeho množství, naopak zvyšování produkce způsobují požadavky na vyšší kvalitu vypouštěné vody.[1]

Produkce kalu v roce 2009 činila 168 164 tun sušiny.[2] V tabulce 1 můžeme vidět počet čistíren odpadních vod a jejich celkovou kapacitu v jednotlivých krajích.

Území, kraj	Počet ČOV	Celková kapacita ČOV [m <sup>3</sup> /den]
<b>Česká republika</b>	<b>2 158</b>	<b>3 832 673</b>
Hl. město Praha	25	593 702
Středočeský	415	328 881
Jihočeský	268	266 805
Plzeňský	174	181 425
Karlovarský	91	117 639
Ústecký	179	261 738
Liberecký	79	171 825
Královéhradecký	124	232 308
Pardubický	94	182 822
Vysočina	148	219 042
Jihomoravský	198	324 131
Olomoucký	130	245 689
Zlínský	90	181 814
Moravskoslezský	143	524 852

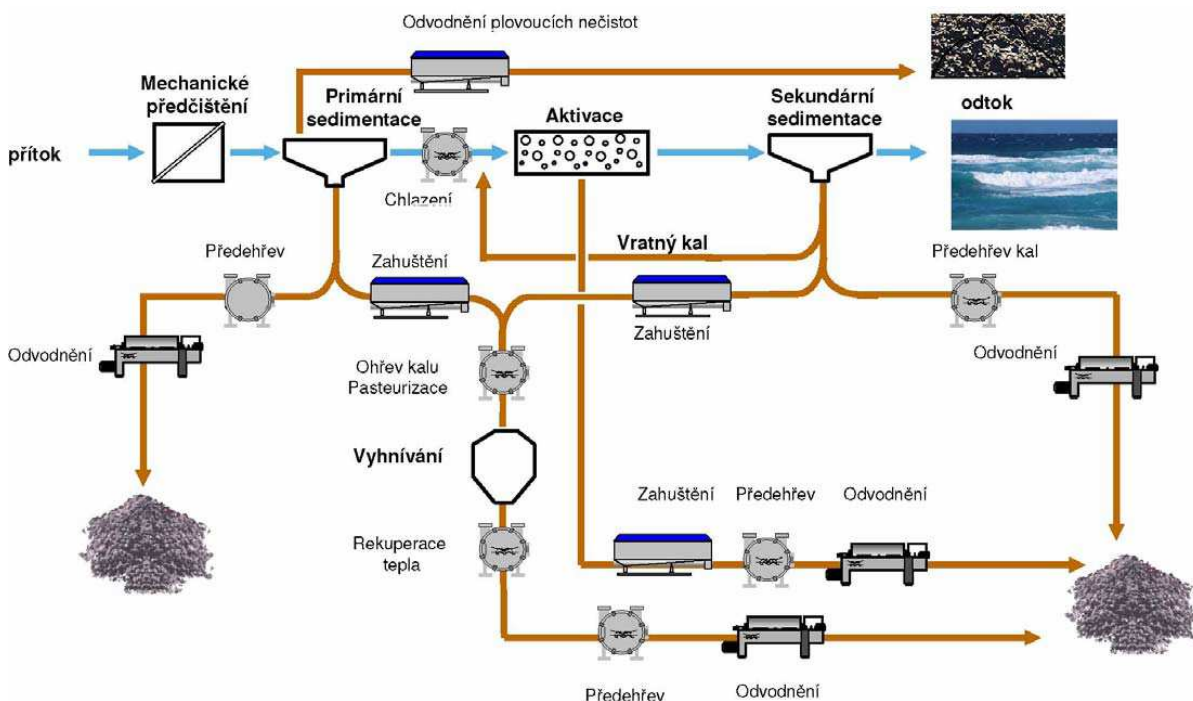
Tabulka 1: Počet čistíren odpadních vod v roce 2009 [2]

## 1.2 VLASTNOSTI

Kaly tvoří asi 1 – 2 % objemu znečištěných vod, je v nich ovšem koncentrováno 50 – 80 % původního znečištění. Obsahují zejména patogenní mikroorganismy, toxické chemické látky a těžké kovy. Složení je ovlivněno místními geografickými, klimatickými a demografickými faktory. Zdrojem patogenů jsou především exkrementy infikovaných lidí a zvířat. Patogeny vyskytující se v odpadních vodách jsou jednak viry (hepatitida A), bakterie (*Salmonella*, *Escherichia coli*), protozoa (prvoci) a parazitičtí červi. Kaly jsou zdrojem organické hmoty, stopových prvků i základních živin (dusík a fosfor). Konzistence je důležitou vlastností kalu, která souvisí s koncentrací tuhých složek v kapalině, nazývanou jako obsah sušiny v kalu. Vodu z kalu lze oddělit sedimentací, tu pevněji vázanou pomocí odstředivek nebo přívodem tepelné energie. Konzistence značně závisí na charakteru kalových částic, proto dva kaly se stejnou sušinou mohou mít odlišnou konzistenci. Organická hmota sušiny má obvykle kapilární tvar povrchu, proto se v ni zdržuje velké množství vody a nesnadně se kal odvodňuje prostou sedimentací. Z městských ČOV mají kaly průměrně 0,5 až 7 % sušiny, která je složena z 60-70 % organických látek a 30-40 % anorganických látek.[5]

## 1.3 ZPRACOVÁNÍ KALŮ

Provoz kalového hospodářství tvoří až 50 % celkových nákladů ČOV[3]. Na obrázku 1 vidíme všechny procesní aplikace v čistírně odpadních vod.



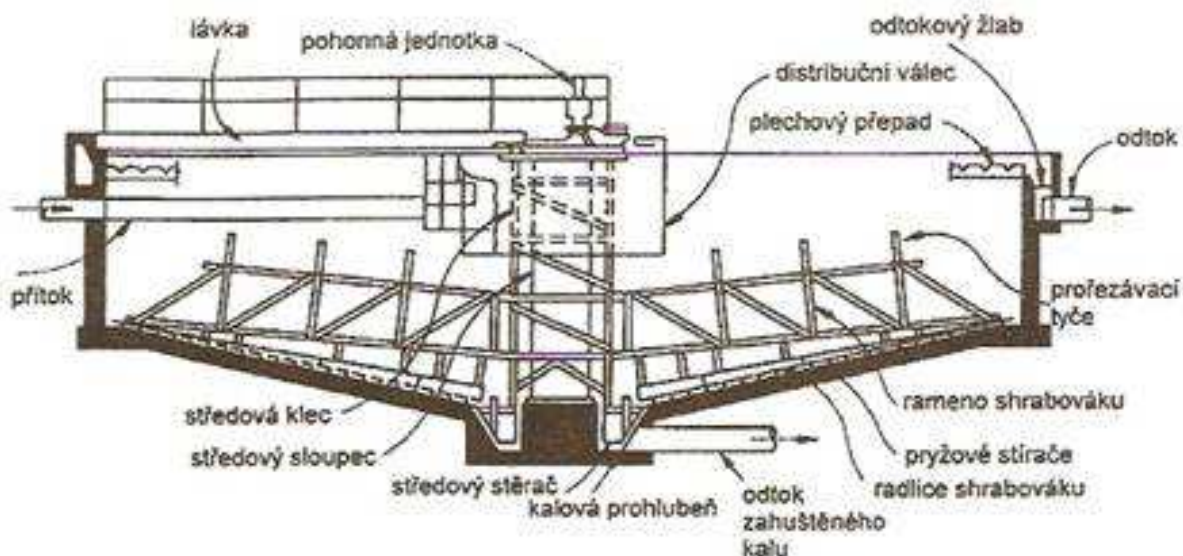
Obrázek 1: Procesy v čistírně odpadních vod Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.

V čistírně odpadních vod se můžeme setkat s více druhy kalů. Ze surové vody se v usazovacích nádržích odděluje primární kal, má většinou zrnitou strukturu a je tvořen z nerozpuštěných látek, které prošly lapákem písku a česlemi. Dále je zde sekundární (aktivovaný) kal, který vzniká v biologickém stupni čištění a je oddělován v dosazovacích nádržích, má vločkovitou strukturu. Oba tyto druhy kalů se slučují a společně nebo odděleně se zahušťují před dalším zpracováním, tento kal je nazýváme surový kal.[5]

Když odpadní voda přiteče do čistírny, je nejprve mechanicky předčištěna lapákem šterku, písku a tuků. Z mechanického předčištění voda pokračuje do usazovacích nádrží. Usazovací nádrže jsou vybaveny shrabovacím zařízením kalu a zařízením na stírání plovoucích látek. Usazený kal je přemístěn do jímky primárního kalu a pak dále do zahušťovací nádrže. Mechanicky vyčištěná voda je přečerpána do aktivačních nádrží, odtud je vyčištěná voda odváděna do řeky. Dalším procesem je zahušťování kalu, které je popsáno v následující kapitole. Zahuštěný kal míří do vyhnívacích nádrží, kde při jeho ohřevu vzniká rozkladem kalu bioplyn. Takto upravený kal je následně odvodňován na obsah sušiny kolem 25 %. V některých provozech je kal ještě vysoušen a až po té dávkován do kontejnerů k dalšímu využití.[5]

### 1.3.1 Zahušťování kalu

Zahušťováním kalu se dosahuje snížení objemu a nákladů na manipulaci, kal je zahušťován v sedimentačních nebo flotačních nádržích. Použitá metoda je ovlivněna charakterem kalu, u primárního kalu se využívá sedimentace a u sekundárního kalu flotace. Sedimentační nádrže jsou obvykle kruhového tvaru a hluboké 2,5 – 5,5 m a jsou vybaveny shrabovacím zařízením na hladině i u dna a rámovými míchadly. Flotační nádrže bývají buď kruhového, nebo pravoúhlého tvaru. Obsah sušiny v takto zpracovaném kalu je 2,5 až 3 % sušiny.[1]



Obrázek 2: Schéma sedimentační zahušťovací nádrže[1]

### 1.3.2 Stabilizace kalu

Stabilizovaný kal je takový, který nezpůsobuje škody na životním prostředí a nevyvolává obtíže při manipulaci s ním. Termín stabilizace není přesně definován, univerzální kritérium pro posouzení stability kalu neexistuje. Účelem stabilizace kalu je tedy redukce organické hmoty a tím omezení zápachu, destrukce patogenních organismů, zlepšení odvodnitelnosti a snížení množství kalu. Použitelné technologie jsou anaerobní a aerobní stabilizace kalu. Výhodami anaerobní stabilizace oproti aerobní stabilizaci kalu je nízká energetická náročnost. Při anaerobní stabilizaci vzniká bioplyn, jeho energie se pak dále využívá k ohřevu reaktoru a dále pak k vytápění budov čistírny odpadních vod, ohřevu teplé vody a výrobě elektrické energie. Při aerobní stabilizaci se využívá teplo, jenž vzniká při provzdušňování nádrže. Výhodou aerobní stabilizace kalu jsou nižší investiční náklady, nevýhodami jsou vyšší energetická náročnost a nižší účinnost likvidace patogenů.[5]

### 1.3.3 Odvodnění kalu

Odvodňování je další způsob, který snižuje množství kalu a tím i náklady na dopravu, díky odvodnění dochází také ke zlepšení podmínek pro spalování. Nejrozšířenějšími způsoby odvodňování kalu jsou dekantační odstředivka a kaliolis, dále se využívá pásových lisů kalových polí. Nutno podotknout, že odstraňování vody mechanickým způsobem je energeticky řádově výhodnější než odstraňování termické.[5]

Hlavní částí odstředivky je kónický válcový buben a šnek, uložený na ložiskách. Buben i šnek mají stejný smysl otáčení, ale vzájemnou diferencí otáček. Buben tvořící rotor odstředivky je uložen v ložiskách. Buben je umístěn na svařovaném rámu. Pohon je proveden elektromotorem. Suspenze je vháněna v ose bubnu, odstředivou silou se těžší částice usazují na vnitřní straně vnějšího bubnu a jsou odváděny šnekem ke konci kónického kužele, kde vypadávají z odstředivky. Odseparovaná kapalina odtéká směrem k nezúžené části odstředivky, kde je vyvedena ven ze systému. Koncentrace sušiny je až 35 %.[6]

Kalová pole jsou nejstarším způsobem odvodňování kalu, jedná se o mělkou otevřenou nádrž vybavenou drenážním systémem, který se skládá z drenážních trubek zasypaných vrstvou štěrku a vrstvou písku. Do nádrže se vypouští stabilizovaný kal ve vrstvě 30 cm. Kal je odvodňován jednak vsakováním vody do drenážního systému a také výparem. V závislosti na klimatických a povětrnostních podmínkách se dosahuje obsahu sušiny až 65 %, je to však investičně i časově náročný proces.**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

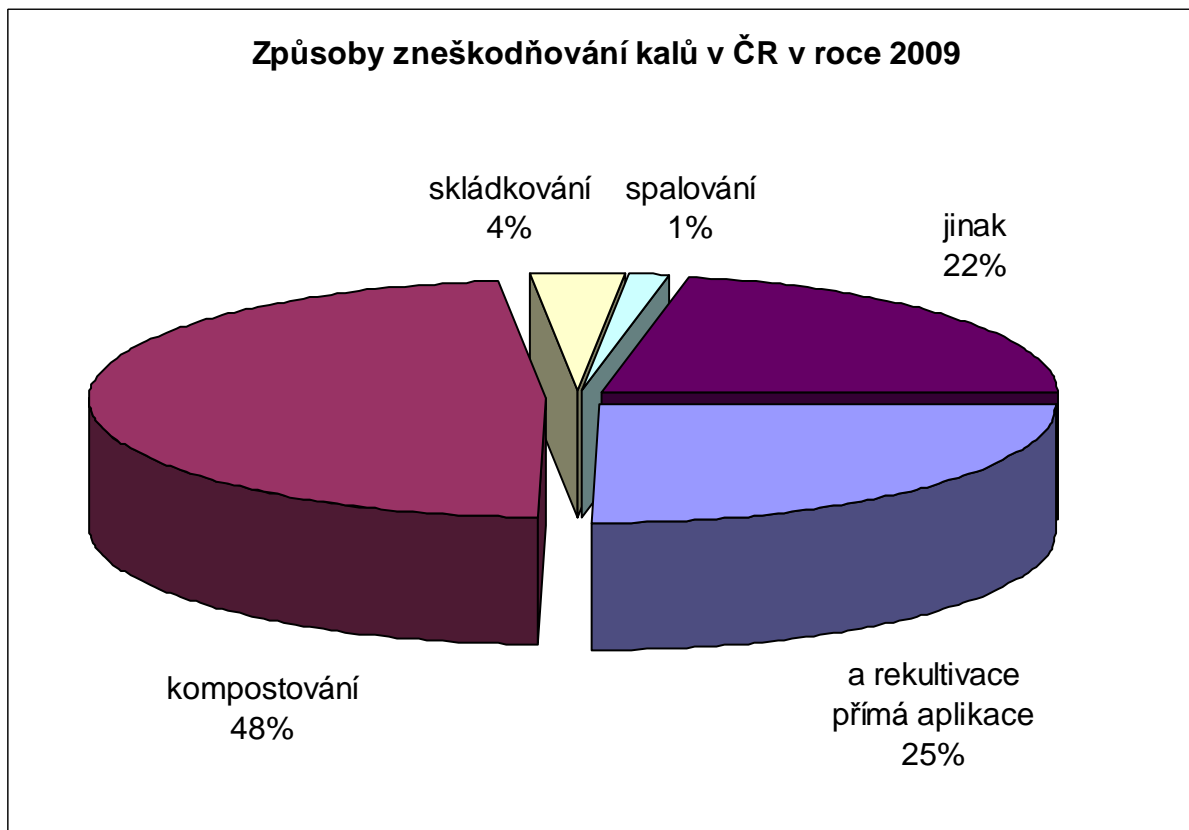
### 1.3.4 Hygienizace kalu

K hygienizaci kalu lze použít všechny metody, při jejichž průběhu jsou usmrcovány mikroorganismy. Hygienizace může být prováděna před stabilizací, v průběhu stabilizace anebo po jejím skončení. Využít můžeme metod chemických, při kterých se přidávají různá chemická činidla jako např. vápno (nejčastější způsob), minerální kyseliny,  $O_3$ ,  $H_2O_2$ . Dále využíváme metod fyzikálních, mezi které patří působení teploty, ultrazvuku, radiace a mechanická destrukce mikroorganismů.[1]



## 1.4 LIKVIDACE KALU

Na grafu 1 můžeme vidět různé způsoby zneškodňování kalů v České republice, největší podíl zaujímá kompostování.



Graf 1: Způsoby zneškodňování kalů v ČR 2009[2]

### 1.4.1 Kompostování

Jedná se o aerobní biologickou stabilizaci materiálu, kde se využívá jeho hnojivých vlastností. Oblíbenost tohoto způsobu likvidace kalu u ČOV způsobují nízké náklady v porovnání se spalováním kalu, ale ani tak se nevyrovná z hlediska ekonomičnosti přímé aplikaci kalu na pole, jelikož musí být odvodněný na 18 – 30 % sušiny a je k tomu nutný přídatný materiál a velké plochy. Takto upravený kal se používá jako hnojivo vodohospodářsky neexponovaných ploch např. městské zeleně a pásů kolem silnic.[7]

### 1.4.2 Aplikace na zemědělskou půdu

Používání kalů na zemědělskou půdu upravuje vyhláška Ministerstva životního prostředí 382/2001 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě. Využívají se kaly aerobně a anaerobně stabilizované a to ve stavu tekutém až mírně zahuštěném nebo odvodněném nebo odvodněném a vysušeném. Většinou je nutná hygienizace. Jedná se o neekonomičtější řešení likvidace kalu. V sušině obsahuje kal 30 až 50 % cenný organických látek, z hnojivých složek je to 2 až 4 % dusíku, 1

až 2 % fosforu a 2 až 10 % vápníku. V případě příznivého biologického a chemického složení je kal použitelný k rekultivaci neplodných, narušených a devastovaných půd a lesních dřevin.[7]

### **1.4.3 Spalování kalů v teplárnách a elektrárnách**

Odvodněný kal z ČOV se také může spalovat společně s uhlím. Množství přidaného odvodněného kalu se pohybuje kolem 1,5 % k černému uhlí, 4 % ke hnědému uhlí, jelikož takto malý přídavek nemá vliv na teplotu hoření. Není nutné instalovat do dalších filtrů spalin, protože stávající jsou dimenzovány tak, že emise vzniklé spalováním kalu bez problému zachytí a odstraní. Na úrovni provozních zkoušek byl spoluspalován kal v elektrárně Mělník, jinak se kal jako palivo v ČR příliš nevyužívá. Naopak v Německu je několik desítek uhelných elektráren spalujících kal.[8],[9]

### **1.4.4 Spalování v cementářenské peci**

Jedná se o ekologickou bezodpadovou metodu likvidace kalu. Dále dochází k úplnému odstranění toxických organických látek v důsledku vysokých teplot (nad 1000 °C), těžké kovy z kalu jsou navázány do cementářského slínku, a nemohou být vyluhovány. Aby byly zachovány dobré vlastnosti cementu, lze přidat pouze 5 % vysušeného kalu, i to nám samozřejmě sníží spotřebu uhlí, ovšem kal musí být vysušen na vysoký podíl sušiny, alespoň 92 %, což jsou spolu s dopravou hlavní náklady při spalování kalu.[8]

### **1.4.5 Ostatní způsoby likvidace**

- termické zpracování
- skládkování (nejméně ekologicky vhodná metoda)
- mokré spalování a spalování v nadkritické oblasti

## **2 LEGISLATIVNÍ ASPEKTY SUŠÁREN KALU**

### **2.1 POVOLENÍ PODLE VODOVODNÍHO ZÁKONA**

Jakostí povrchových i podpovrchových vod na území České republiky se zabývá směrnice Rady 80/68/EHS. Jakostní limity v této směrnici se daří dlouhodobě dodržovat. Problém na našem území je především s obsahem dusíku a fosforu. Působením sloučenin těchto prvků vznikají sinice a řasy, které znečišťují vodu hlavně v letním období. Působí problém zejména při úpravě povrchové vody na vodu pitnou.

Na základě rámcové směrnice (2000/60/ES) je v České republice provozován monitoring vod, jehož účelem je analyzovat příčinu znečištění vod a navrhnout optimální řešení. Tento nástroj je důležitý pro posouzení investice i její zpětnou kontrolu v rámci poskytování dotací prioritní osy OP Životního prostředí.

Česká republika vyhlásila svoje území jako citlivou oblast v souladu se směrnicí 91/271/EHS, z toho důvodu jsou na zneškodňování odpadních vod kladeny vyšší nároky a s tím souvisí i zvýšené náklady na čištění odpadních vod. V souladu s touto směrnicí se hlavně zvyšují výdaje na odstraňování sloučenin dusíku a fosforu.

V přechodném období do 31. 12. 2010 v rámci již zmíněné směrnice Rady 91/271/EHS o čištění odpadních vod měly být vybudovány čistírny odpadních vod ve všech aglomeracích od 2 000 do 10 000 ekvivalentních obyvatel. Dále v aglomeracích nad 10 000 ekvivalentních obyvatel mělo docházet k intenzifikaci čistíren odpadních vod k dosažení vyššího stupně čištění. Opatření s sebou nesou zvýšení produkce kalu a nutnost řešení jeho dalšího zpracování.

### **2.2 POVOLENÍ PRO ZPRACOVÁNÍ ODPADU**

Nová směrnice Evropského parlamentu a Rady ES č. 98/2008 o odpadech propaguje odpad jako doplňkový energetický zdroj, čímž by měla přispět ke snížení jeho množství a omezení rizika úniku skleníkových plynů ze skládek, uvádí se ve výstupu z Rady ministrů životního prostředí [10]. Podle této směrnice by se členské státy i místní samosprávy měly snažit snížit objem nového odpadu. A pokud už byl odpad vyprodukován, musí být recyklován nebo spálen a díky tomu by byla vytvořena elektřina nebo teplo. Ukládání na skládky se považuje za nejméně vhodnou možnost a měla by být použita jen v krajních případech.

Od definice energetického spalování odpadu jako jeho opětovného využití si ministři životního prostředí slibují snížení těžby fosilních paliv a jeho využívání. Tímto opatřením se však může i zničit naše příroda a zamořit ovzduší. Snížení kvality životního prostředí se obávají zejména zdravotnické organizace. V souladu s touto směrnicí byly určeny závazné cíle a to, že do roku 2020 bude 50 % odpadu z domácností a 70 % ze stavebnictví recyklováno.

## **2.3 SUBVENCE KRAJSKÁ**

V souvislosti se stavbou sušárny, jako ekologického projektu můžeme dostat od kraje dotaci dle specifikace programu na podporu projektové přípravy záměru (investiční záměr, dokumentace k územnímu řízení, dokumentace ke stavebnímu řízení apod.) související s ochranou a zlepšováním životního prostředí.

Příjemce dotace může být obec, nevládní neziskové organizace a jiné fyzické a právnické osoby působící na území kraje v oblasti životního prostředí dle zákona 129/2000 Sb. o krajích.

Žádosti o dotaci budou vyhodnoceny komisí pro poskytování finančních prostředků a následně bude žádost předložena Radě kraje nebo Zastupitelstvu kraje ke schválení. Na základě tohoto schválení a smlouvy o poskytnutí účelové dotace z rozpočtu kraje na podporu ekologických projektů budou žadateli o dotaci poskytnuty finanční prostředky. Kraj má samozřejmě právo na průběžné a následné kontroly využití poskytnutých dotací.

## **2.4 SUBVENCE EVROPSKÁ**

Dle směrnice MŽP č. 5/2008 mohou být předkládány žádosti o poskytování finančních prostředků na projekty z Operačního programu Životního prostředí financované ze Státního fondu životního prostředí a státního rozpočtu České republiky. Do státního rozpočtu byly finanční prostředky poskytnuty z Evropského fondu pro regionální rozvoj a Fondu soudružnosti.

V rámci projektu stavby sušárny kalu z čistírny odpadních vod bychom mohli čerpat peníze z Prioritní osy 1, která se zabývá zlepšováním vodohospodářské infrastruktury a snižováním rizika povodní. Konkrétně jsou tyto dotace poskytovány na projekty řešící rekonstrukci oddílné splaškové nebo jednotné kanalizace, tyto projekty jsou přijatelné pouze tehdy, je-li prokazatelně zdůvodněna nezbytnost této rekonstrukce. Projekty řešící rekonstrukci ČOV jsou přijatelné pouze v souvislosti s intenzifikací nebo změnou kapacity ČOV při současném zvýšení účinnosti ČOV, případně se zkvalitněním zpracování kalů.

O poskytnutí dotace rozhoduje ministerstvo, žadatel nesmí být podle této směrnice současně příjemcem podpory z ostatních operačních fondů. Je-li tomu tak musí odstoupit od dalších žádostí.

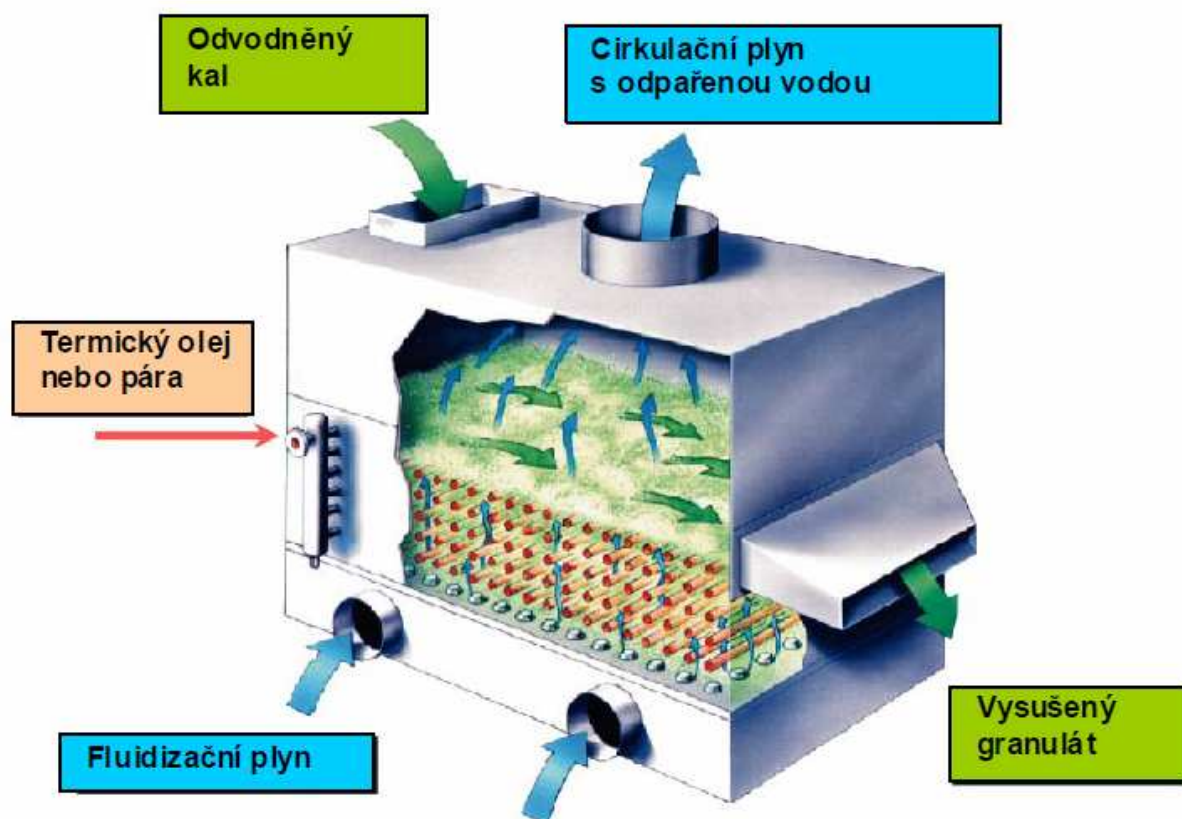
### 3 PRINCIPY SUŠENÍ KALU

#### 3.1 KONVEKČNÍ SUŠENÍ

V konvekční sušárně je kal vysoušen přímo a to horkým plynem. Mezi nejpoužívanější typy přímých sušáren patří nízkoteplotní fluidní, pásová a rotační bubnová sušárna.

##### 3.1.1 Nízkoteplotní fluidní sušárna

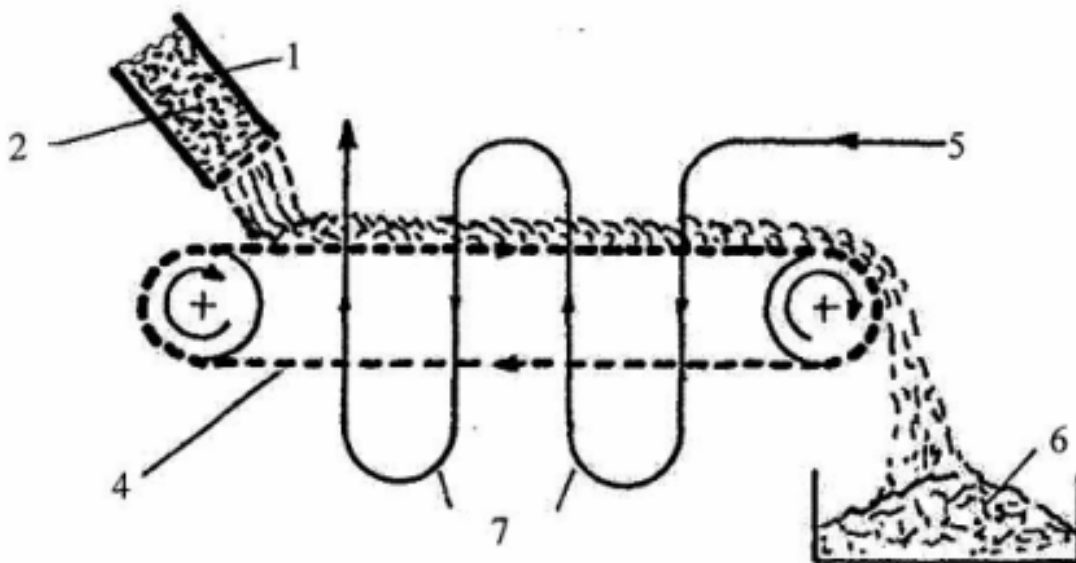
Sušárna pracuje s teplotou 85°C (voda se odpařuje v podtlaku, což brání úniku škodlivin z cirkulačního plynu) a tato teplota je rovněž vzdálená od teploty, která je u sušení nebezpečná pro samovznícení, tj. 130 až 150°C. Tato teplota pak nevyžaduje mnoho chladicí energie pro zchlazení kalu a kondenzaci brýd. Do sušárny je dodáván mechanicky odvodněný kal na sušinu kolem 30 % a pomocí tohoto zařízení je zpracován až na obsah sušiny 92 % ve formě granulí. Energetickou spotřebu je vhodné pokrýt energií vzniklou spalováním bioplynu, který jsme získali při anaerobní stabilizaci kalu.[11]



Obrázek 3: Fluidní sušárna [11]

### 3.1.2 Pásová sušárna

V pásové sušárně je kal posouván pomocí prodyšného pásu, na který působí teplotnosné médium, nejčastěji horký vzduch nebo spaliny, horký vzduch odebírá z kalu vlhkost. Vracení vysušeného kalu zpět na začátek linky se u pásových sušáren nevyžaduje, jelikož se kal při lepivé fázi nepohybuje, jen volně leží na pásu, nehrozí tady spečení. Můžeme využít pásy z kovu, plastu nebo z textilu. Podle přívodu vzduchu se sušárny dělí na ty s přívodem sušícího vzduchu pod pás a nad pás. Můžeme mít i více pásové sušárny, přičemž pásy se umísťují nad sebe.[1]



Obrázek 4: Schéma pásové sušárny [1]

1. Odvodněný kal, 2. Dávkování kalu na pás, 3. Uspořádání proudu plynu,
4. Perforovaný sušící pás, 5. Vysoušecí plyn, 6. Vysušený granulát

### 3.1.3 Rotační bubnová sušárna

V rotační bubnové sušárně můžeme dosáhnout obsahu sušiny nad 90 %. Zde je kal posouván pomocí rotace bubnu a pohybu vnitřku bubnu, nosným elementem tepla je horký plyn, který proudí bubnem ve směru pohybu kalu. Jako prevenci připékání kalu na stěny bubnu v jeho lepivé fázi se doporučuje mísit vkládaný kal s již usušeným kalem.[9]

## 3.2 KONTAKTNÍ SUŠENÍ

V tomto případě je teplotnosným médiem horký olej nebo pára, která je přiváděna ke kalu nepřímou, prostřednictvím kontaktních ploch. Na tomto principu pracují diskové sušárny a solární sušárny s přídavným topením.

### 3.2.1 Diskové sušárny

Disková sušárny jsou málo náročné na prostor, pro přivedení tepla potřebného k sušení kalu se využívá disků, které se točí a tím posouvají a provzdušňují sušený kal. Díky systému lopatek a stěrek se zabraňuje tvorbě nápeků na kontaktních plochách. Zamezení lepivé fáze, ke které dochází při obsahu sušiny mezi 50 a 60 % se doporučuje přidávat již usušený materiál.[9]

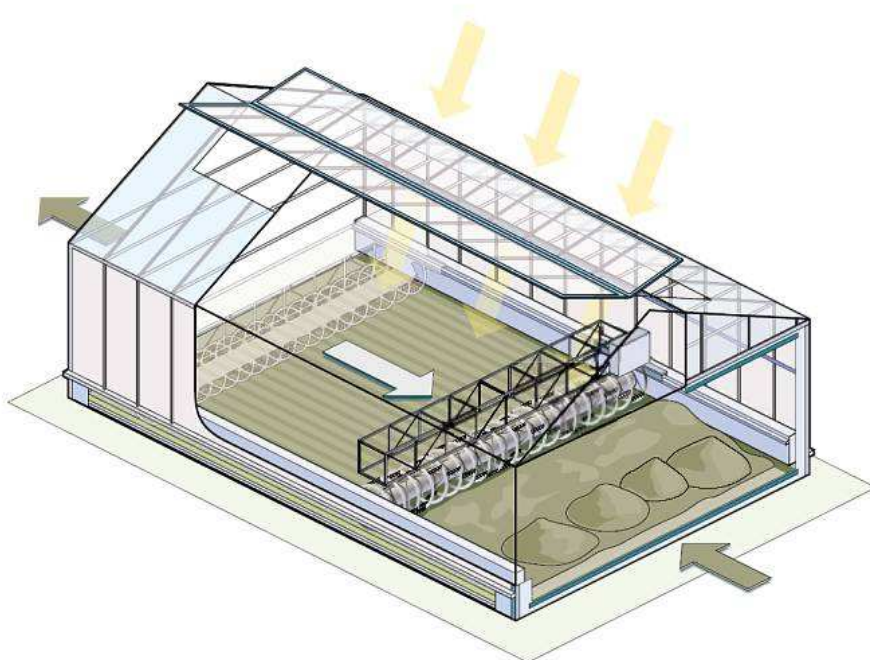
### 3.2.2 Tenkovrstvé sušárny

V tenkovrstvé sušičce kal rotuje ve vyhřívaném válci poháněn lopatkami upevněnými na hřídeli. Odvodněný kal je vkládán do sušičky dávkovacím šnekem při obvodu vyhřívaného válce a lopatky jej na něj v tenké vrstvě roztírají. Když dosáhne kal obsahu sušiny 65 %, vytvořený granulát opouští přístroj.[9]

## 3.3 SOLÁRNÍ SUŠENÍ

### 3.3.1 Bez vytápění

Nespornou výhodou solárního sušení je využití energie ze slunce. Při konvenčním sušení se musí dodat elektrické energie v řádech stovek kilowatthodin na tunu sušeného kalu, kdežto při využití sluneční energie je dodáváno elektrické energie pouze v řádech desítek kilowatthodin na tunu kalu. Nevýhodou je pak, že oproti konvenčním nebo kontaktním sušárnám má veliké nároky na zastavěnou plochu a investiční náklady na stavbu jsou také vysoké.



Obrázek 5: Struktura solární sušárny [12]

Solární sušárna je složena z betonové nebo asfaltové základny, na kterou jsou uloženy betonové prefabrikáty, jenž tvoří boční hranice sušárny a zároveň podklad pro uchycení skleníkové konstrukce. Skleníková konstrukce je pokryta průhlednými plastovými nebo skleněnými pláty. Dále je v hale instalován větrací systém pro řízenou cirkulaci vzduchu, jehož součástí jsou větrací klapky a ventilátory. Součástí vnitřního vybavení je také systém pro převrácení a převoz kalu. Vše je ovládáno automatickým ovládacím systémem.



Obrázek 6: Vnitřní technologie [12]

### 3.3.2 S vytápěním

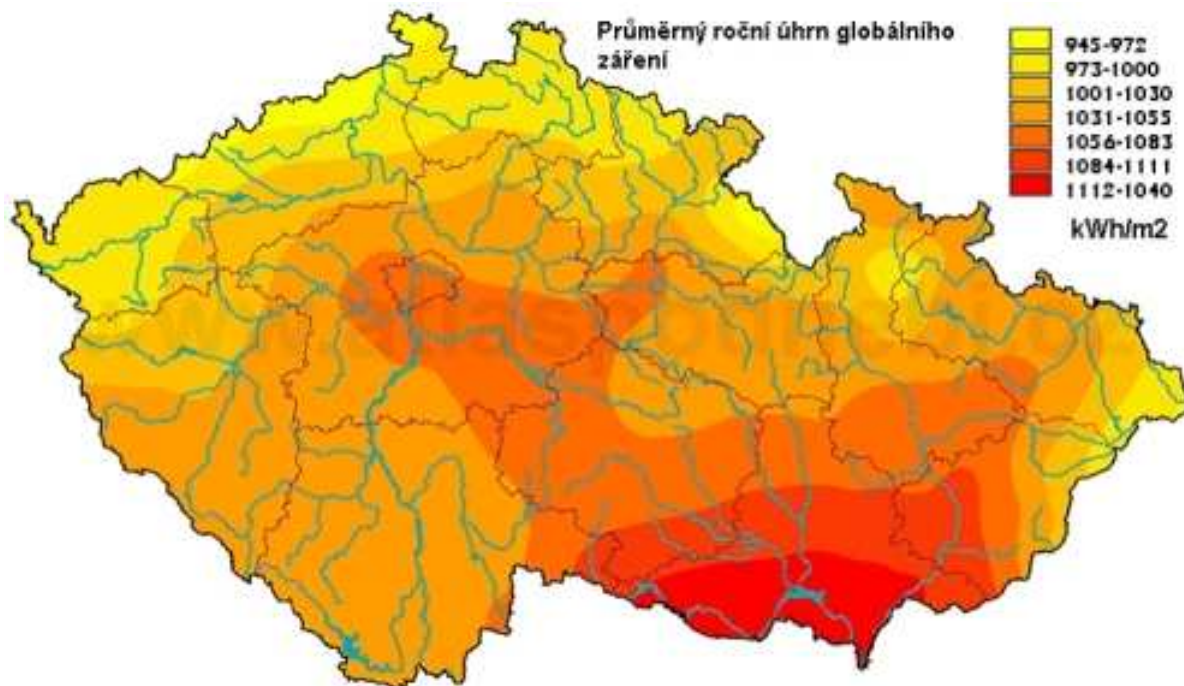
Na podporu výkonu solárního sušení, může být použito více energetických nosičů, například odpadní teplo z energetických zařízení, procesní teplo, bioplyn atd. Toto teplo se může využít prostřednictvím podlahového vytápění, teplovzdušných tepelných výměníků nebo infrazářičů. Použitím přídatných zdrojů energie se redukuje plocha pro vysoušení a docílí se kontinuálního sušení i v měsících s minimálním slunečním zářením. V praxi byly realizovány solární sušárny kalů odpadních vod s ekvivalentem 1 000 až 300 000 ekvivalentních obyvatel.[9]



### 3.3.3 Hlavní vlivy na výkonnost solární sušárny

Největší vliv na hodnotu odparu mají kontrolovatelné proměnné, kterými jsou ventilace a přehrabování kalu a nekontrolovatelné teplota vzduchu, vlhkost vzduchu.[13]

Na obrázku 7 můžeme vidět, že na území české republiky se nachází několik pásem s průměrným ročním úhrnem globálního záření od 945 do 1 140 kWh/m<sup>2</sup>.



Obrázek 7: Průměrný roční úhrn globálního záření [kWh/m<sup>2</sup>][14]

V tabulce 2 jsou zobrazeny průměrné teploty vzduchu v České republice v letech 2001 – 2010.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Průměr
2001	-1,6	0,3	3,5	6,9	14,4	14,1	18	18,3	11,2	11,3	1,6	-3,5	7,9
2002	-1,3	3,4	4,1	7,6	15,5	17,5	18,7	18,6	11,9	6,9	4,7	-2,8	8,8
2003	-2,4	-4,3	3,6	7,2	15,2	19,6	18,5	20,2	13,3	5	4,7	-0,5	8,4
2004	-3,9	0,4	2,4	8,7	11,2	15,2	17	18	12,7	9,1	3,2	-0,8	7,8
2005	-0,4	-3,7	1	8,9	13	16,1	18	15,8	14,1	9	2	-1,3	7,7
2006	-0,6	-3	0,1	8,1	12,7	16,9	21,4	15,1	15,5	10,1	5,6	2,3	8,2
2007	3,2	2,8	5,1	10,3	14,4	18,1	18,3	17,7	11,3	7,2	1,4	-0,9	9,1
2008	1,3	2,3	3	7,8	13,6	17,4	17,9	17,5	12	8,3	4,6	0,7	8,9
2009	-4	-1	3,2	12	13,3	14,9	18,1	18,4	14,7	7,2	5,5	-1	8,4
2010	-5	-1,8	2,7	8,1	11,5	16,6	20	17	11,3	6,1	5	-4,9	7,2

Tabulka 2: Průměrné teploty v jednotlivých měsících 2001 – 2010[15]

## 4 SOLÁRNÍ SUŠENÍ

Dle zadání diplomové práce bude provedeno ekonomické vyhodnocení instalace solární sušárny na ČOV o velikosti 5 000 EO, 50 000 EO, 200 000 EO a 1 000 000 EO.

Konstrukce solární sušárny bude použita dle nabídky firmy IST Anlagenbau. Vnitřní šířka skleníku je 11,3 m a je lemována betonovými zídkami o výšce 0,85 m, které složí jako základ pod konstrukci skleníku a dále k ukotvení pojezdů pro přehrabovací zařízení.[16]

Ve výpočtech bude za odvodněný kal považován kal s obsahem sušiny 25 % a za vysušený s obsahem sušiny 85 %.

### 4.1 5 000 EO

#### 4.1.1 Velikost solární sušárny

Velikost solární sušárny bude určena na základě dat ze zadání diplomové práce a dat zjištěných literární rešerší. Je zadáno, že průměrná produkce kalu je 0,04 kg sušiny za den na jednoho ekvivalentního obyvatele.

Množství sušiny na vstupu do ČOV:

$$m_{in} = eo \cdot 0,04 \quad (1)$$

Hmotnost kalu odvodněného na 25 % sušiny:

$$m_o = \frac{m_{in}}{25} \cdot 100 \quad (2)$$

Hmotnost vody v odvodněném kalu:

$$m_{ov} = m_o \cdot 0,75 \quad (3)$$

Hmotnost kalu vysušeného na 85 % sušiny:

$$m_v = \frac{100}{85} \cdot m_{in} \quad (4)$$

Hmotnost vody ve vysušeném kalu:

$$m_{vv} = m_v - m_{in} \quad (5)$$

Hmotnost vody k odpaření:

$$m_e = m_{ov} - m_{vv} \quad (6)$$

Výsledky výpočtu bilance pro ČOV o velikosti 5 000 EO jsou zobrazeny v tabulce 3.

Velikost ČOV	eo	5 000	[EO]
Hm. sušiny na vstupu do ČOV	m <sub>in</sub>	73 000	[kg/rok]
Hmotnost odvodněného kalu	m <sub>o</sub>	292 000	[kg/rok]
Hm. vody v odvodněném kalu	m <sub>ov</sub>	219 000	[kg/rok]
Hm. vysušeného kalu	m <sub>v</sub>	86 000	[kg/rok]
Hm. vody ve vysušeném kalu	m <sub>vv</sub>	13 000	[kg/rok]
Hmotnost vody k odpaření	m <sub>e</sub>	206 000	[kg/rok]
Hmotnost vody k odpaření	m <sub>ed</sub>	565	[kg/den]

**Tabulka 3: Hmotnostní bilance 5000 EO**

Pro území střední Evropy platí průměrná hodnota odparu 700 – 900 kg vody za rok na jednom metru čtverečním.[16] Pro náš výpočet byla zvolena hodnota 700 kg<sub>vody</sub> / m<sup>2</sup> za rok.

Výpočet aktivní plochy sušení:

$$S_s = \frac{m_e}{700} \quad (7)$$

Aktivní plocha solární sušárny a její zvolené rozměry jsou zobrazeny v tabulce 4.

Aktivní plocha sušení	S <sub>s</sub>	294	[m <sup>2</sup> ]
Volené rozměry			
Šířka		12	[m]
Délka		33	[m]
Počet hal		1	[ks]

**Tabulka 4: Návrh solární sušárny pro ČOV 5 000 EO**

#### 4.1.2 Cena solární sušárny pro ČOV o velikosti 5 000 EO

Cena solární sušárny o šířce 12 m a délce 33 m bude stanovena na základě cenové nabídky od německé firmy IST Anlagenbau GmbH, která dodá kompletní elektroinstalaci, mechanické zařízení a ventilátory a cenové nabídky brněnské stavební společnosti Komfort a.s., kde byla zadána poptávka na stavbu betonové

plochy a skleníku. Výpočet ceny součtem vybraných položek cenový nabídek můžeme vidět v tabulce 5.

Beton a štěrkový podsyp	Komfort	1 160 427	[Kč]
Skleník s větráním	Komfort	713 387	[Kč]
Elektroinstalace	IST	367 621	[Kč]
Mechanické zařízení	IST	2 217 846	[Kč]
Ventilátory	IST	97 687	[Kč]
Cena bez DPH		4 556 967	[Kč]
<b>Cena včetně DPH</b>		<b>5 468 360</b>	<b>[Kč]</b>

Tabulka 5: Cena solární sušárny pro 5 000 EO

#### 4.1.3 Pozemek

Při ekonomickém propočtu budeme brát v úvahu dvě varianty. První, že budeme moci ke stavbě solární sušárny využít pozemek, který vlastní čistírna odpadních vod a nebudeme tedy uvažovat nákup pozemku. Druhá varianta je, že ke stavbě solární sušárny bude třeba koupit pozemek potřebný pro plochu solární sušárny, obslužnou komunikaci v šířce 4 metry a manipulační prostory.

Tržní hodnota zemědělské půdy se v roce 2010 pohybovala v rozmezí 7 až 15 Kč/m<sup>2</sup>. [17] Volíme 11 Kč/m<sup>2</sup>. Za normálních okolností by se musel ještě brát v úvahu poplatek za vynětí ze zemědělského půdního fondu, ale dle zákona č. 334/1992 Sb. O ochraně zemědělského půdního fondu se odvozy nepředepisují, jde-li o odnětí půdy pro výstavbu objektů a zařízení potřebných pro čištění odpadních vod. [18]

Plocha potřebná pro sušárnu	384	[m <sup>2</sup> ]
Komunikace	128	[m <sup>2</sup> ]
Manipulační prostory	192	[m <sup>2</sup> ]
Celková plocha	704	[m <sup>2</sup> ]
Cena pozemku	7 744	[Kč]

Tabulka 6: Pozemek pro ČOV o velikosti 5 000 EO

#### 4.1.4 Dotace

##### Finanční příspěvek krajský

Jak už bylo zmíněno v kapitole o krajských subvencích, kraj podporuje projekty kanalizací a čistíren odpadních vod. Dotace může být poskytnuta na zpracování projektové dokumentace k záměru, který bude v souladu s Programem rozvoje vodovodů a kanalizací kraje. Předmětem dotace je tedy projektová dokumentace pro

výstavbu, nových nebo rekonstrukci stávajících kanalizačních systémů pro veřejnou potřebu a výstavbu, dostavbu, rekonstrukci nebo intenzifikaci čistírny odpadních vod.

**Výše dotace: do 50% ceny projektové dokumentace, max. 200 tis.Kč**

Výsledkem bude projednaná projektová dokumentace a pravomocné územní nebo stavební povolení případně veřejnoprávní smlouva či územní souhlas (pokud ho akce dle stavebního zákona vyžaduje).

### **Finanční příspěvek evropský**

Na stavbu nebo rekonstrukci čistírny odpadních vod, kanalizaci nebo úpravu vod poskytuje dotace Operační program Životního prostředí. Na tyto účely jsou připraveny prostředky ve výši téměř 2 miliardy eur. Cílem podpory je zlepšit stav povrchových a podzemních vod, zlepšit jakost a dodávky pitné vody pro obyvatelstvo, snížit obsah nebezpečných látek ve vodách a snížit riziko povodní.

#### **Výše podpory**

- **Dotace z Fondu soudržnosti do výše 85 % z celkových způsobilých veřejných výdajů projektu.**
- **Dotace ze Státního fondu životního prostředí ČR do výše 5 % z celkových způsobilých veřejných výdajů projektu.**

	Sušárna	Sušárna + pozemek	
Cena	5 468 360	5 476 104	[Kč]
Cena při 50% dotaci	2 734 180	2 738 052	[Kč]
Cena při 90% dotaci	546 836	547 610	[Kč]

Tabulka 7: Vliv dotací na cenu sušárny pro ČOV o velikosti 5 000 EO

#### **4.1.5 Náklady na údržbu**

Náklady na případné opravy solární sušárny budeme uvažovat 0,2 % z pořizovací ceny solární sušárny. Pro ČOV velikosti 5 000 EO je to tedy 10 937 Kč.

#### **4.1.6 Provozní náklady**

Jedinými náklady na provoz solární sušárny jsou náklady na elektrickou energii potřebnou na pohon přehrabováku a ventilátorů. Spotřeba elektrické energie na odpaření tuny vody z kalu je 41 kWh, viz příloha 1 s cenou nabídkou firmy IST Anlagenbau GmbH.

Při výpočtu budeme vycházet z průměrné ceny 4,54 Kč/kWh pro rok 2011.[19]

Spotřeba el. energie na odpaření tuny vody z kalu	41	[kWh]
Celkové množství odpařené vody z kalu	206	[t/rok]
Cena za kWh elektrické energie	4,54	[Kč]
<b>Celkové náklady na elektřinu</b>	<b>38 345</b>	<b>[Kč/rok]</b>

Tabulka 8: Náklady na elektřinu ČOV o velikosti 5 000 EO

#### 4.1.7 Úvěr

Délka trvání úvěru byla zvolena na 15 let a úroková sazba 5 % za rok. Byl zvolen úvěr s konstantní platbou, která se určí dle vypočtené anuity, vynásobením pořizovací ceny viz vztah (9). Detaily splácení úvěru je můžeme vidět v příloze 2.

$$a = \frac{\frac{i}{100} \cdot \left(1 + \frac{i}{100}\right)^r}{\left(1 + \frac{i}{100}\right)^r - 1} \cdot m_{in} \quad (8)$$

$$pl = a \cdot c_p \quad (9)$$

Anuita	a	0,096342	
Platba úvěr 100 %	pl	526 834	[Kč/rok]
Platba při 50% dotaci		263 417	[Kč/rok]
Platba při 90% dotaci		52 683	[Kč/rok]

Tabulka 9: Velikost roční splátky při různých druzích financování. 5 000 EO

#### 4.1.8 Náklady na likvidaci kalu

V tabulce 8 vidíme náklady na různé druhy likvidace kalu z čistíren odpadních vod.

Náklady na kompostování odvodněného kalu	1 000	[Kč/t]
Náklady na spalování odvodněného kalu	3 800	[Kč/t]
Náklady na spalování vysušeného kalu	3000	[Kč/t]

Tabulka 10: Náklady na různé způsoby likvidace kalu Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.

#### 4.1.9 Investiční propočet

V tabulce 11 je sestaven investiční propočet situace, kdy ČOV odvodněný kal kompostuje a jaký by byl tok peněz v případě vysušení kalu a jeho spalování.

Množství odvodněného kalu	292	[t/rok]
Náklady na kompostování t odvodněného kalu	1 000	[Kč]
<b>Náklady na kompostování odvodněného kalu</b>	<b>292 000</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Množství vysušeného kalu	86	[t/rok]
Náklady na spalování t vysušeného kalu	3000	[Kč]
<b>Náklady na spalování vysušeného kalu</b>	<b>258 000</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Úspory zavedením sušení	+ 34 000	[Kč/rok]
Náklady na elektřinu	- 38 345	[Kč/rok]
Náklady na údržbu	- 10 937	[Kč/rok]
Úvěr	- 526 834	[Kč/rok]
<b>Výsledek</b>	<b>- 542 116</b>	<b>[Kč/rok]</b>

Tabulka 11: Kompostování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 5 000 EO

Tok peněz v případě zavedení solární sušárny kalu na ČOV, kde se odvodněný kal spaloval a nyní se bude spalovat vysušený je zobrazeno v tabulce 12.

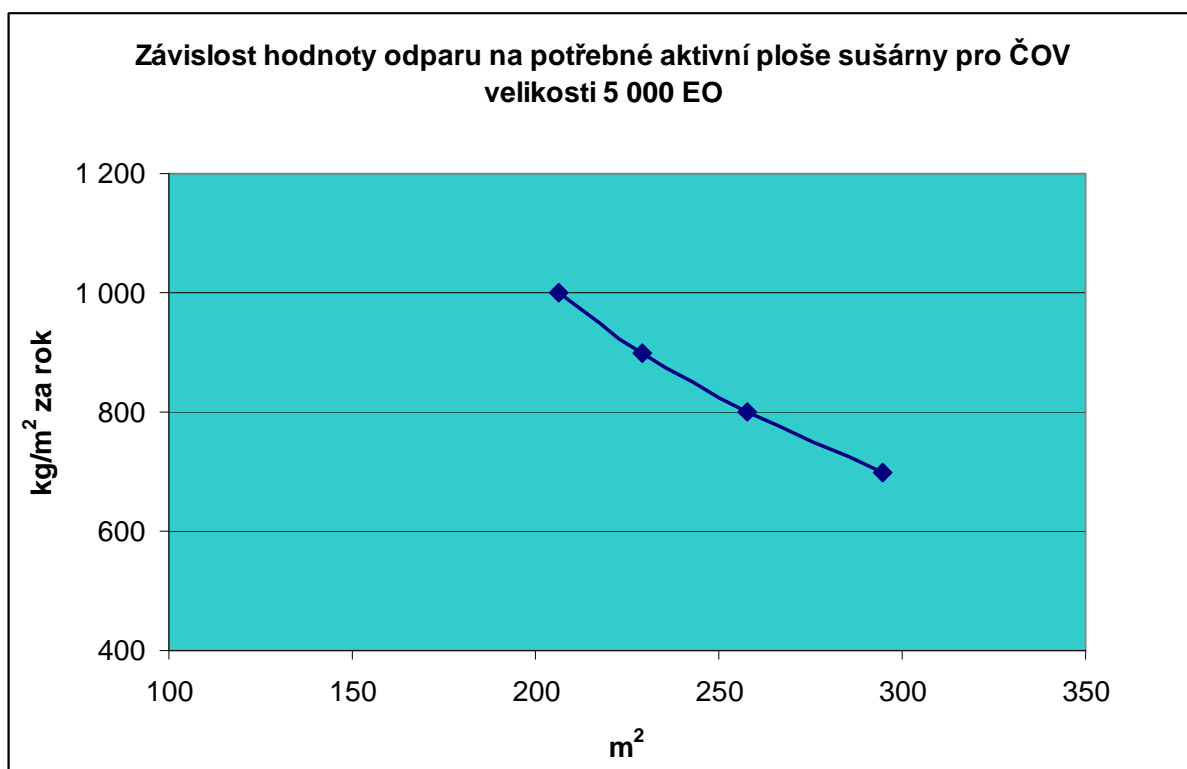
Množství odvodněného kalu	292	[t/rok]
Náklady na spalování t odvodněného kalu	3800	[Kč]
<b>Náklady na spalování odvodněného kalu</b>	<b>1 109 600</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Množství vysušeného kalu	86	[t/rok]
Náklady na spalování t vysušeného kalu	3000	[Kč]
<b>Náklady na spalování vysušeného kalu</b>	<b>258 000</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Úspory zavedením sušení	+ 851 600	[Kč/rok]
Náklady na elektřinu	- 38 345	[Kč/rok]
Náklady na údržbu	- 10 937	[Kč/rok]
Úvěr	- 526 834	[Kč/rok]
<b>Výsledek</b>	<b>+ 275 484</b>	<b>[Kč/rok]</b>

Tabulka 12: Spalování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 5 000 EO

#### 4.1.10 Diskuze

Z ekonomického propočtu je patrné, že instalace solární sušárny je investičně zajímavé pouze pokud nemáme možnost odvodněný kal kompostovat. Rentabilita investice může být podpořena dotací na nákup solární sušárny z evropských fondů. Kdy se hodnota splátky může dostat až na desetinu původní výše. Výsledky ekonomické bilance jsou velmi závislé na vyjednaných cenových hladinách za likvidaci kalu, které se mohou dle situace měnit.

V souvislosti obrázkem 7 bych doporučil využívání solárních sušáren především ČOV na jižní Moravě, kde můžeme očekávat nejvyšší hodnotu odparu. Na grafu 2 je vidět, jak rostoucí hodnotou odparu klesají nároky na velikost sušárny a tím se snižují, jak investiční, tak i provozní náklady.



Graf 2: Závislost hodnoty odparu na potřebné velikosti sušárny 5 000 EO



## 4.2 50 000 EO

Výsledky výpočtu bilance pro ČOV o velikosti 50 000 EO jsou zobrazeny v tabulce 13.

Velikost ČOV	$e_o$	50 000	[EO]
Hm. sušiny na vstupu do ČOV	$m_{in}$	730 000	[kg/rok]
Hmotnost odvodněného kalu	$m_o$	2 920 000	[kg/rok]
Hm. vody v odvodněném kalu	$m_{ov}$	2 190 000	[kg/rok]
Hm. vysušeného kalu	$m_v$	860 000	[kg/rok]
Hm. vody ve vysušeném kalu	$m_{vv}$	130 000	[kg/rok]
Hmotnost vody k odpaření	$m_e$	2 060 000	[kg/rok]
Hmotnost vody k odpaření	$m_{ed}$	5 650	[kg/den]

**Tabulka 13: Hmotnostní bilance 50 000 EO**

Aktivní plocha solární sušárny vypočtená na základě vztahu (7) a její zvolené rozměry jsou zobrazeny v tabulce 14.

Aktivní plocha sušení	$S_s$	2 940	[m <sup>2</sup> ]
Volené rozměry			
Šířka		12	[m]
Délka		136	[m]
Počet hal		2	[ks]

**Tabulka 14: Návrh solární sušárny pro ČOV 50 000 EO**

### 4.2.1 Cena solární sušárny pro ČOV o velikosti 50 000 EO

Investiční náklady na 2 skleníky o rozměrech 12 m x 136 m můžeme vidět v tabulce 15.

Beton a štěrkový podsyp	Komfort	9 863 627	[Kč]
Skleník s větráním	Komfort	6 063 787	[Kč]
Elektroinstalace	IST	3 124 776	[Kč]
Mechanické zařízení	IST	6 515 691	[Kč]
Ventilátory	IST	781 500	[Kč]
Cena bez DPH		26 349 381	[Kč]
<b>Cena včetně DPH</b>		<b>31 619 257</b>	<b>[Kč]</b>

Tabulka 15: Cena solární sušárny pro 50 000 EO

### 4.2.2 Pozemek

Pozemek potřebný pro solární sušárnu, obslužnou komunikaci v šířce 4 metry a manipulační prostory.

Plocha potřebná pro sušárnu	3 264	[m <sup>2</sup> ]
Komunikace	544	[m <sup>2</sup> ]
Manipulační prostory	336	[m <sup>2</sup> ]
Celková plocha	4 144	[m <sup>2</sup> ]
Cena pozemku	45 584	[Kč]

Tabulka 16: Pozemek pro ČOV o velikosti 50 000 EO

### 4.2.3 Dotace

V tabulce 17 je zobrazen vliv dotací na pořizovací cenu solární sušárny pro ČOV velikosti 5000 EO.

	Sušárna	Sušárna + pozemek	
Cena	31 619 257	31 664 841	[Kč]
Cena při 50% dotaci	15 809 628	15 832 420	[Kč]
Cena při 90% dotaci	3 161 926	3 166 484	[Kč]

Tabulka 17: Vliv dotací na cenu ČOV o velikosti 50 000 EO

#### 4.2.4 Náklady na údržbu

Náklady na případné opravy solární sušárny budeme uvažovat 0,2 % z pořizovací ceny solární sušárny. Pro ČOV velikosti 50 000 EO je to tedy 63 239 Kč.

#### 4.2.5 Provozní náklady

Provoz solární sušárny vyžaduje elektrickou energii potřebnou na pohon přehrabováku a ventilátorů. Spotřeba elektrické energie na odpaření tuny vody z kalu je 41 kWh, viz příloha 1 s cenou nabídkou firmy IST Anlagenbau GmbH.

Spotřeba el. energie na odpaření tuny vody z kalu	41	[kWh]
Celkové množství odpařené vody z kalu	2 060	[t/rok]
Cena za kWh elektrické energie	4,54	[Kč]
<b>Celkové náklady na elektřinu</b>	<b>383 448</b>	<b>[Kč/rok]</b>

Tabulka 18: Náklady na elektřinu ČOV o velikosti 50 000 EO

#### 4.2.6 Úvěr

Roční splátka úvěru byla pro ČOV o velikost 50 000 EO vypočtena použitím vztahů (9) a (10) a je zobrazena v tabulce 19.

Anuita	a	0,096342	
Platba úvěr 100 %	pl	3 046 272	[Kč/rok]
Platba při 50% dotaci		1 523 136	[Kč/rok]
Platba při 90% dotaci		304 627	[Kč/rok]

Tabulka 19: Roční velikost splátky při různých druzích financování 50 000 EO

#### 4.2.7 Investiční propočet

V tabulce 20 můžeme vidět tok peněz v případě instalace solární sušárny kalu a změny metody likvidace kalu z kompostování na spalování.

Množství odvodněného kalu	2 920	[t/rok]
Náklady na kompostování t odvodněného kalu	1 000	[Kč]
<b>Náklady na kompostování odvodněného kalu</b>	<b>2920000</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Množství vysušeného kalu	859	[t/rok]
Náklady na spalování t vysušeného kalu	3000	[Kč]
<b>Náklady na spalování vysušeného kalu</b>	<b>2 577 000</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Úspory zavedením sušení	343 000	[Kč/rok]
Náklady na elektřinu	-84 508	[Kč/rok]
Náklady na údržbu	-63 239	[Kč/rok]
Úvěr	-3 046 272	[Kč/rok]
<b>Výsledek</b>	<b>-2 851 018</b>	<b>[Kč/rok]</b>

Tabulka 20: Kompostování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 50 000 EO

Posouzení přechodu od spalování odvodněného kalu ke spalování vysušeného kalu vlivem instalace solární sušárny můžeme vidět v tabulce 21.

Množství odvodněného kalu	2 920	[t/rok]
Náklady na spalování t odvodněného kalu	3 800	[Kč]
<b>Náklady na spalování odvodněného kalu</b>	<b>11096000</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Množství vysušeného kalu	859	[t/rok]
Náklady na spalování t vysušeného kalu	3000	[Kč]
<b>Náklady na spalování vysušeného kalu</b>	<b>2 577 000</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Úspory zavedením sušení	8 519 000	[Kč/rok]
Náklady na elektřinu	-84 508	[Kč/rok]
Náklady na údržbu	-63 239	[Kč/rok]
Úvěr	-3 046 272	[Kč/rok]
<b>Výsledek</b>	<b>5 324 982</b>	<b>[Kč/rok]</b>

Tabulka 21: Spalování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 50 000 EO

### 4.2.8 Diskuze

I v případě instalace solární sušárny na čistírnu odpadních vod o velikosti 5 000 EO se potvrdilo, má-li možnost ČOV vzniklý odvodněný kal kompostovat, je to výhodnější než ho sušit a následně spalovat. Při porovnání možnosti spalování odvodněného kalu nebo vysušeného kalu je patrně, že zavedení solární sušárny by bylo ekonomicky výhodné. Výsledek může být ovlivněn vyjednanými cenami za likvidaci kalu a dalšími vlivy zmíněnými v předchozí kapitole.

### 4.3 200 000 EO

Výsledky výpočtu bilance pro ČOV o velikosti 200 000 EO jsou zobrazeny v tabulce 22.

Velikost ČOV	$e_o$	200 000	[EO]
Hm. sušiny na vstupu do ČOV	$m_{in}$	2 920 000	[kg/rok]
Hmotnost odvodněného kalu	$m_o$	11 680 000	[kg/rok]
Hm. vody v odvodněném kalu	$m_{ov}$	8 760 000	[kg/rok]
Hm. vysušeného kalu	$m_v$	3 435 000	[kg/rok]
Hm. vody ve vysušeném kalu	$m_{vv}$	515 000	[kg/rok]
Hmotnost vody k odpaření	$m_e$	8 245 000	[kg/rok]
Hmotnost vody k odpaření	$m_{ed}$	22 588	[kg/den]

Tabulka 22: Hmotnostní bilance 200 000 EO

Plocha solární sušárny a její zvolené rozměry jsou zobrazeny v tabulce 23.

Vypočtená aktivní plocha sušení	$S_s$	11 778	[m <sup>2</sup> ]
Volené rozměry			
Šířka		12	[m]
Délka		136	[m]
Počet hal		8	[ks]

Tabulka 23: Návrh solární sušárny pro ČOV 200 000 EO

### 4.3.1 Cena solární sušárny pro ČOV o velikosti 200 000 EO

Investiční náklady 8 skleníků o šířce 12 m a délce 136 m vidíme v tabulce 24.

Beton a štěrkový podsyp	Komfort	34 812 800	[Kč]
Skleník s větráním	Komfort	21 401 600	[Kč]
Elektroinstalace	IST	11 028 622	[Kč]
Mechanické zařízení	IST	24 782 764	[Kč]
Ventilátory	IST	2 735 254	[Kč]
Cena bez DPH		94 761 040	[Kč]
<b>Cena včetně DPH</b>		<b>113 713 248</b>	<b>[Kč]</b>

Tabulka 24: Cena solární sušárny pro 200 000 EO

### 4.3.2 Pozemek

Výpočet potřebné velikosti pozemku pro stavbu solární sušárny kalu.

Plocha potřebná pro sušárnu	11 520	[m <sup>2</sup> ]
Komunikace	480	[m <sup>2</sup> ]
Manipulační prostory	1 200	[m <sup>2</sup> ]
Celková plocha	13 200	[m <sup>2</sup> ]
Cena pozemku	145 200	[Kč]

Tabulka 25: Pozemek pro ČOV o velikosti 200 000 EO

### 4.3.3 Dotace

V tabulce 26 můžeme vidět posouzení vlivu dotace na stavbu solární sušárny pro ČOV o velikosti 200 000 EO.

	Sušárna	Sušárna + pozemek	
Cena	113 713 248	113 858 448	[Kč]
Cena při 50% dotaci	56 856 624	56 929 224	[Kč]
Cena při 90% dotaci	11 371 325	11 385 845	[Kč]

Tabulka 26: Vliv dotací na cenu ČOV o velikosti 200 000 EO

#### 4.3.4 Náklady na údržbu

Náklady na případné opravy solární sušárny budeme uvažovat 0,2 % z pořizovací ceny solární sušárny. Pro ČOV velikosti 200 000 EO je to tedy 252 954 Kč.

#### 4.3.5 Provozní náklady

Výpočet spotřeby elektrické energie sušárny je zobrazen v tabulce 27.

Spotřeba el. energie na odpaření tuny vody z kalu	41	[kWh]
Celkové množství odpařené vody z kalu	8 245	[t/rok]
Cena za kWh elektrické energie	4,54	[Kč]
<b>Celkové náklady na elektřinu</b>	<b>1 534 724</b>	<b>[Kč/rok]</b>

Tabulka 27: Náklady na elektřinu ČOV o velikosti 200 000 EO

#### 4.3.6 Úvěr

Použitím vztahů (9) a (10) je vypočtena velikost roční splátky solární sušárny.

Anuita	a	0,096342	
Platba úvěr 100 %	pl	12 185 086	[Kč/rok]
Platba při 50% dotaci		6 092 543	[Kč/rok]
Platba při 90% dotaci		1 218 509	[Kč/rok]

Tabulka 28: Velikost roční splátky při různých druzích financování 200 000 EO

#### 4.3.7 Investiční propočet

Propočet možnosti kompostování odvodněného a spalování vysušeného kalu.

Množství odvodněného kalu	11 680	[t/rok]
Náklady na kompostování t odvodněného kalu	1 000	[Kč]
<b>Náklady na kompostování odvodněného kalu</b>	<b>11680000</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Množství vysušeného kalu	3 435	[t/rok]
Náklady na spalování t vysušeného kalu	3000	[Kč]
<b>Náklady na spalování vysušeného kalu</b>	<b>10 305 000</b>	<b>[Kč/rok]</b>

Úspory zavedením sušení	1 375 000	[Kč/rok]
Náklady na elektřinu	-338 033	[Kč/rok]
Náklady na údržbu	-252 954	[Kč/rok]
Úvěr	-12 185 086	[Kč/rok]
<b>Výsledek</b>	<b>-11 401 073</b>	<b>[Kč/rok]</b>

Tabulka 29: Kompostování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 200 000 EO

Tok peněz v případě zavedení solární sušárny kalu na ČOV, kde se odvodněný kal spaloval a nyní se bude spalovat vysušený je zobrazeno v tabulce 30.

Množství odvodněného kalu	11 680	[t/rok]
Náklady na spalování t odvodněného kalu	3 800	[Kč]
<b>Náklady na spalování odvodněného kalu</b>	<b>44384000</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Množství vysušeného kalu	3 435	[t/rok]
Náklady na spalování t vysušeného kalu	3000	[Kč]
<b>Náklady na spalování vysušeného kalu</b>	<b>10 305 000</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Úspory zavedením sušení	34 079 000	[Kč/rok]
Náklady na elektřinu	-338 033	[Kč/rok]
Náklady na údržbu	-252 954	[Kč/rok]
Úvěr	-12 185 086	[Kč/rok]
<b>Výsledek</b>	<b>21 302 927</b>	<b>[Kč/rok]</b>

Tabulka 30: Spalování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 200 000 EO

#### 4.3.8 Diskuze

Z ekonomického rozboru patrné, že instalace sušárny se v případě ČOV o kapacitě 200 000 EO vyplatí tehdy, máme-li kal spalovat. V případě, že je možné kompostovat odvodněný kal, není instalace sušárny ekonomicky rentabilní.



#### 4.4 1 000 000 EO

Výsledky výpočtu bilance pro ČOV o velikosti 1 000 000 EO jsou zobrazeny v tabulce 31.

Velikost ČOV	eo	1 000 000	[EO]
Hm. sušiny na vstupu do ČOV	$m_{in}$	14 600 000	[kg/rok]
Hmotnost odvodněného kalu	$m_o$	58 400 000	[kg/rok]
Hm. vody v odvodněném kalu	$m_{ov}$	43 800 000	[kg/rok]
Hm. vysušeného kalu	$m_v$	17 176 000	[kg/rok]
Hm. vody ve vysušeném kalu	$m_{vv}$	2 576 000	[kg/rok]
Hmotnost vody k odpaření	$m_e$	41 224 000	[kg/rok]
Hmotnost vody k odpaření	$m_{ed}$	112 941	[kg/den]

Tabulka 31: Hmotnostní bilance 1 000 000 EO

Pro území střední Evropy platí průměrná hodnota odparu 700 – 900 kg vody za rok na jednom metru čtverečním.[16] Pro náš výpočet byla zvolena hodnota 700  $\text{kg}_{\text{vody}} / \text{m}^2$  za rok.

Plocha solární sušárny a její zvolené rozměry jsou zobrazeny v tabulce 32.

Plocha solární sušárny	$S_s$	58 891	[ $\text{m}^2$ ]
Volené rozměry			
Šířka		12	[m]
Délka		120	[m]
Počet hal		40	[ks]
Zvolená plocha k sušení		57 600	[ $\text{m}^2$ ]

Tabulka 32: Návrh solární sušárny pro ČOV 1 000 000 EO

##### 4.4.1 Cena solární sušárny pro ČOV o velikosti 1 000 000 EO

Investiční náklady na 40 skleníků a potřebného vybavení o šířce 12 m a délce 136 m bude stanovena na základě cenové nabídky od německé firmy IST Anlagenbau GmbH, která dodá kompletní elektroinstalaci, mechanické zařízení a ventilátory a cenové nabídky brněnské stavební společnosti Komfort a.s., kde byla zadána poptávka na stavbu betonové plochy a skleníku. Výpočet ceny součtem vybraných položek cenových nabídek můžeme vidět v tabulce 33.

Beton a štěrkový podsyp	Komfort	174 064 000	[Kč]
Skleník s větráním	Komfort	107 008 000	[Kč]
Elektroinstalace	IST	55 143 110	[Kč]
Mechanické zařízení	IST	123 913 820	[Kč]
Ventilátory	IST	13 676 270	[Kč]
Cena bez DPH		473 805 200	[Kč]
<b>Cena včetně DPH</b>		<b>568 566 240</b>	<b>[Kč]</b>

Tabulka 33: Cena solární sušárny pro 1 000 000 EO

#### 4.4.2 Pozemek

Pozemek potřebný pro plochu a solární sušárny, obslužnou komunikaci v šířce 4 metry a manipulační prostory je stanoven v tabulce 34.

Plocha potřebná pro sušárnu	57 600	[m <sup>2</sup> ]
Komunikace	960	[m <sup>2</sup> ]
Manipulační prostory	5 860	[m <sup>2</sup> ]
Celková plocha	64 416	[m <sup>2</sup> ]
Cena pozemku	708 576	[Kč]

Tabulka 34: Pozemek pro ČOV o velikosti 1 000 000 EO

#### 4.4.3 Dotace

Možnost získání dotací je zvažena v tabulce 35.

	Sušárna	Sušárna + pozemek	
Cena	568 566 240	569 274 816	[Kč]
Cena při 50% dotaci	284 283 120	284 637 408	[Kč]
Cena při 90% dotaci	56 856 624	56 927 482	[Kč]

Tabulka 35: Vliv dotací na cenu ČOV o velikosti 1 000 000 EO

#### 4.4.4 Náklady na údržbu

Náklady na případné opravy solární sušárny budeme uvažovat 0,2 % z pořizovací ceny solární sušárny. Pro ČOV velikosti 1 000 000 EO je to tedy 1 264 770 Kč.

#### 4.4.5 Provozní náklady

Jedinými náklady na provoz solární sušárny jsou náklady na elektrickou energii potřebnou na pohon přehrabováku a ventilátorů. Spotřeba elektrické energie na odpaření tuny vody z kalu je 41 kWh, viz příloha 1 s cenou nabídkou firmy IST Anlagenbau GmbH.

Při výpočtu budeme vycházet z průměrné ceny 4,54 Kč/kWh pro rok 2011.[19]

Spotřeba el. energie na odpaření tuny vody z kalu	41	[kWh]
Celkové množství odpařené vody z kalu	41 224	[t/rok]
Cena za kWh elektrické energie	4,54	[Kč]
<b>Celkové náklady na elektřinu</b>	<b>7 673 435</b>	<b>[Kč/rok]</b>

Tabulka 36: Náklady na elektřinu ČOV o velikosti 1 000 000 EO

#### 4.4.6 Úvěr

Roční splátka úvěru byla pro ČOV o velikost 1 000 000 EO vypočtena použitím vztahů (9) a (10) a je zobrazena v tabulce 37.

Anuita	a	0,096342	
Platba úvěr 100 %	pl	60 925 430	[Kč/rok]
Platba při 50% dotaci		30 462 715	[Kč/rok]
Platba při 90% dotaci		6 092 543	[Kč/rok]

Tabulka 37: Roční velikost splátky při různých druzích financování 1 000 000 EO

#### 4.4.7 Investiční propočet

V tabulce 38 můžeme vidět tok peněz v případě instalace solární sušárny kalu a změny metody likvidace kalu z kompostování na spalování.

Množství odvodněného kalu	58 400	[t/rok]
Náklady na kompostování t odvodněného kalu	1 000	[Kč]
<b>Náklady na kompostování odvodněného kalu</b>	<b>58400000</b>	<b>[Kč/rok]</b>

Množství vysušeného kalu	17 176	[t/rok]
Náklady na spalování t vysušeného kalu	3000	[Kč]
<b>Náklady na spalování vysušeného kalu</b>	<b>51 528 000</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Úspory zavedením sušení	6 872 000	[Kč/rok]
Náklady na elektřinu	-1 690 165	[Kč/rok]
Náklady na údržbu	-1 264 770	[Kč/rok]
Úvěr	-60 925 430	[Kč/rok]
<b>Výsledek</b>	<b>-57 008 365</b>	<b>[Kč/rok]</b>

Tabulka 38: Kompostování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 1 000 000 EO

Spalování odvodněného kalu x spalování vysušeného kalu

Množství odvodněného kalu	58 400	[t/rok]
Náklady na spalování t odvodněného kalu	3 800	[Kč]
<b>Náklady na spalování odvodněného kalu</b>	<b>221920000</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Množství vysušeného kalu	17 176	[t/rok]
Náklady na spalování t vysušeného kalu	3000	[Kč]
<b>Náklady na spalování vysušeného kalu</b>	<b>51 528 000</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Úspory zavedením sušení	170 392 000	[Kč/rok]
Náklady na elektřinu	-1 690 165	[Kč/rok]
Náklady na údržbu	-1 264 770	[Kč/rok]
Úvěr	-60 925 430	[Kč/rok]
<b>Výsledek</b>	<b>106 511 635</b>	<b>[Kč/rok]</b>

Tabulka 39: Spalování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 1 000 000 EO

#### 4.4.8 Diskuze

I v případě solární sušárny pro čistírnu odpadních vod o kapacitě 1 000 000 EO se potvrdil trend, že je ekonomicky rentabilní pouze v případě, když odvodněný kal spalujeme a nemáme možnost kompostování.

#### 4.4.9 KONVEKČNÍ A KONTAKTNÍ SUŠENÍ

Rozsah této kapitoly je negativně ovlivněn ochotou firem poskytovat informace o cenách a parametrech vyráběných zařízení. Obeslal jsem více firem po celém světě, ale odpovědi se mi dostalo pouze od jedné. A to od výrobce pásových sušáren, bilance bude tedy provedena pouze pro tento druh sušárny.

Pásová sušárna od firmy Watropur, která využívá k sušení proudu vzduchu. Do sušárny je možné dodávat kal od 20 % obsahu sušiny. Na odpaření jednoho kilogramu vody spotřebuje sušárna 0,333 kWh. Výsledný obsah sušiny v kalu je až 90 %.[8]

Ve výpočtu se počítá s umístěním sušáren do stávajících budov a využití současných zaměstnanců čistírny odpadních vod.

### 4.5 5 000 EO

#### 4.5.1 Cena pásové sušárny pro ČOV o velikosti 5 000 EO

Investiční náklady na pásovou sušárnu kalu potřebného výkonu pro ČOV o kapacitě 5 000 EO je podle ceníku firmy Watropur v přepočtu dle kurzovního lístku (13. 3. 2011) České národní banky 1 415 129 Kč včetně DPH.

#### 4.5.2 Dotace

V tabulce 40 je znázorněn vliv dotací na pořizovací cenu pásové sušárny.

Cena	1 415 129	[Kč]
Cena při 50% dotaci	707 564	[Kč]
Cena při 90% dotaci	141 513	[Kč]

Tabulka 40: Vliv dotací na cenu pásové sušárny 5 000 EO

#### 4.5.3 Náklady na opravy

Náklady na případné opravy pásové sušárny budeme uvažovat 1,5 % z pořizovací ceny sušárny. Pro ČOV velikosti 5 000 EO je to tedy 21 227 Kč.

#### 4.5.4 Provozní náklady

Pro odpaření jednoho kilogramu vody z kalu je třeba dodat 0,333 kWh elektrické energie.

Při výpočtu budeme vycházet z průměrné ceny 4,54 Kč/kWh pro rok 2011.[19]

Spotřeba el. energie na odpaření kg vody z kalu	0,333	[kWh]
Celkové množství odpařené vody z kalu	206	[t/rok]
Cena za kWh elektrické energie	4,54	[Kč]
<b>Celkové náklady na elektřinu</b>	<b>311 613</b>	<b>[Kč/rok]</b>

Tabulka 41: Náklady na elektřinu ČOV o velikosti 5 000 EO

#### 4.5.5 Úvěr

Délka trvání úvěru byla zvolena na 15 let a úroková sazba 5 % za rok. Byl zvolen úvěr s konstantní platbou, která se určí dle vypočtené anuity, vynásobením pořizovací ceny viz vztah (9).

Anuita	a	0,096342	
Platba úvěr 100 %	pl	136 337	[Kč/rok]
Platba při 50% dotaci		68 168	[Kč/rok]
Platba při 90% dotaci		13 634	[Kč/rok]

Tabulka 42: Velikost roční splátky pásové sušárny 5 000 EO

#### 4.5.6 Investiční propočet

V tabulce 43 je zobrazen propočet zavedení sušárny do kalové koncovky ČOV o kapacitě 5 000 EO.

Množství odvodněného kalu	292	[t/rok]
Náklady na kompostování t odvodněného kalu	1 000	[Kč]
<b>Náklady na kompostování odvodněného kalu</b>	<b>292 000</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Množství vysušeného kalu	86	[t/rok]
Náklady na spalování t vysušeného kalu	3000	[Kč]
<b>Náklady na spalování vysušeného kalu</b>	<b>258 000</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Úspory zavedením sušení	+ 34 000	[Kč/rok]
<b>Celkové náklady na elektřinu</b>	<b>-311 613</b>	<b>[Kč/rok]</b>
<b>Náklady na opravy</b>	<b>-21 227</b>	<b>[Kč/rok]</b>
<b>Úvěr</b>	<b>-136 337</b>	<b>[Kč/rok]</b>
<b>Výsledek</b>	<b>-435 176</b>	<b>[Kč/rok]</b>

Tabulka 43: Kompostování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 5 000 EO

Ekonomická bilance možnosti spalování odvodněného kalu a spalování vysušeného kalu v pásové sušárně pro ČOV kapacity 5 000 EO.

Množství odvodněného kalu	292	[t/rok]
Náklady na spalování t odvodněného kalu	3800	[Kč]
<b>Náklady na spalování odvodněného kalu</b>	<b>1 109 600</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Množství vysušeného kalu	86	[t/rok]
Náklady na spalování t vysušeného kalu	3000	[Kč]
<b>Náklady na spalování vysušeného kalu</b>	<b>258 000</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Úspory zavedením sušení	+ 851 600	[Kč/rok]
Celkové náklady na elektřinu	-311 613	[Kč/rok]
Náklady na opravy	-21 227	[Kč/rok]
Úvěr	-136 337	[Kč/rok]
<b>Výsledek</b>	<b>382 424</b>	<b>[Kč/rok]</b>

Tabulka 44: Spalování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 5 000 EO

#### 4.5.7 Diskuze

Pásová sušárna pro ČOV o kapacitě 5 000 EO stojí 1 415 129 Kč včetně DPH a je zde možnost dosažení na dotace ve výši 90 %. Při podnikatelském úvěru na 15 let roční splátka ve výši 136 337 Kč. Provozní náklady tvoří částku 332 840 Kč. Úspory přechodem od kompostování odvodněného kalu k spalování vysušeného kalu tvoří částku 34 000 Kč za rok, při provozních nákladech na pásovou sušárnu je ekonomická bilance záporná. Při přechodu od spalování odvodněného kalu ke spalování vysušeného kalu je ekonomická bilance kladná. Bilance lze velmi ovlivnit vyjednanými cenovými hladinami za likvidaci kalu.

### 4.6 50 000 EO

#### 4.6.1 Cena pásové sušárny pro ČOV o velikosti 50 000 EO

Náklady na pásovou sušárnu kalu potřebnou pro ČOV o kapacitě 50 000 EO dle ceníku firmy Watropur jsou v přepočtu dle kurzovního lístku (13. 3. 2011) České národní banky 4 528 890 Kč včetně DPH.

#### 4.6.2 Dotace

Posouzení vlivu dotací na pořízení pásové sušárny vidíme v tabulce 45.

Cena	4 528 890	[Kč]
Cena při 50% dotaci	2 264 445	[Kč]
Cena při 90% dotaci	452 889	[Kč]

Tabulka 45: Vliv dotací na cenu ČOV o velikosti 50 000 EO

#### 4.6.3 Náklady na opravy

Náklady na případné opravy pásové sušárny budeme uvažovat 1,5 % z pořizovací ceny sušárny. Pro ČOV velikosti 50 000 EO je to tedy 67 933 Kč.

#### 4.6.4 Provozní náklady

Pro odpaření jednoho kilogramu vody z kalu je třeba dodat 0,333 kWh elektrické energie.

Při výpočtu budeme vycházet z průměrné ceny 4,54 Kč/kWh pro rok 2011.[19]

Spotřeba el. energie na odpaření kg vody z kalu	0,333	[kWh]
Celkové množství odpařené vody z kalu	2 061	[t/rok]
Cena za kWh elektrické energie	4,54	[Kč]
<b>Celkové náklady na elektřinu</b>	<b>3 116 128</b>	<b>[Kč/rok]</b>

Tabulka 46: Náklady na elektřinu ČOV o velikosti 50 000 EO

#### 4.6.5 Úvěr

Délka trvání úvěru byla zvolena na 15 let a úroková sazba 5 % za rok. Byl zvolen úvěr s konstantní platbou, která se určí dle vypočtené anuity, vynásobením pořizovací ceny viz vztah (9).

Anuita	a	0,096342	
Platba úvěr 100 %	pl	436 324	[Kč/rok]
Platba při 50% dotaci		218 162	[Kč/rok]
Platba při 90% dotaci		43 632	[Kč/rok]

Tabulka 47: Roční velikost splátky při různých druzích financování 50 000 EO



#### 4.6.6 Investiční propočet

V tabulce 48 je zobrazen propočet zavedení sušárny do kalové koncovky ČOV o kapacitě 50 000 EO.

Množství odvodněného kalu	2 920	[t/rok]
Náklady na kompostování t odvodněného kalu	1 000	[Kč]
<b>Náklady na kompostování odvodněného kalu</b>	<b>2920000</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Množství vysušeného kalu	859	[t/rok]
Náklady na spalování t vysušeného kalu	3000	[Kč]
<b>Náklady na spalování vysušeného kalu</b>	<b>2 577 000</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Úspory zavedením sušení	343 000	[Kč/rok]
Celkové náklady na elektřinu	-3 116 128	[Kč/rok]
Náklady na opravy	-67 933	[Kč/rok]
Úvěr	-436 324	[Kč/rok]
<b>Výsledek</b>	<b>-3 277 385</b>	<b>[Kč/rok]</b>

Tabulka 48: Kompostování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 50 000 EO

Ekonomická bilance možnosti spalování odvodněného kalu a spalování vysušeného kalu v pásové sušárně pro ČOV kapacity 50 000 EO

Množství odvodněného kalu	2 920	[t/rok]
Náklady na spalování t odvodněného kalu	3 800	[Kč]
<b>Náklady na kompostování odvodněného kalu</b>	<b>11096000</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Množství vysušeného kalu	859	[t/rok]
Náklady na spalování t vysušeného kalu	3000	[Kč]
<b>Náklady na spalování vysušeného kalu</b>	<b>2 577 000</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Úspory zavedením sušení	8 519 000	[Kč/rok]
Celkové náklady na elektřinu	-3 116 128	[Kč/rok]
Náklady na opravy	-67 933	[Kč/rok]
Úvěr	-436 324	[Kč/rok]
<b>Výsledek</b>	<b>4 898 615</b>	<b>[Kč/rok]</b>

Tabulka 49: Spalování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 50 000 EO

#### 4.6.7 Diskuze

Investiční náklady na pásovou sušárnu pro ČOV o kapacitě 50 000 EO jsou 4 528 890 Kč včetně DPH. Dotace je možná až do výše 90 % z pořizovací ceny. Provozní náklady jsou celkem 3 184 061 Kč. Při podnikatelském úvěru na 15 let roční splátku ve výši 436 324 Kč. Úspory přechodem od kompostování odvodněného kalu k spalování vysušeného kalu tvoří částku 343 000 Kč za rok, při provozních nákladech na pásovou sušárnu je ekonomická bilance záporná. Při přechodu od spalování odvodněného kalu ke spalování vysušeného kalu je ekonomická bilance kladná. Bilance lze velmi ovlivnit vyjednanými cenovými hladinami za likvidaci kalu, dále pak zvolenou délkou splácení podnikatelského úvěru.

### 4.7 200 000 EO

#### 4.7.1 Cena pásové sušárny pro ČOV o velikosti 200 000 EO

Náklady na pásovou sušárnu kalu dle ceníku firmy Watropur jsou v přepočtu dle kurzovního lístku (13. 3. 2011) České národní banky 19 167 633 Kč včetně DPH.

#### 4.7.2 Dotace

Cena	19 167 633	[Kč]
Cena při 50% dotaci	9 583 817	[Kč]
Cena při 90% dotaci	1 916 763	[Kč]

Tabulka 50: Vliv dotací na cenu ČOV o velikosti 200 000 EO

#### 4.7.3 Náklady na opravy

Náklady na případné opravy pásové sušárny budeme uvažovat 1,5 % z pořizovací ceny sušárny. Pro ČOV velikosti 200 000 EO je to tedy 21 227 Kč.

#### 4.7.4 Provozní náklady

Pro odpaření jednoho kilogramu vody z kalu je třeba dodat 0,333 kWh elektrické energie.

Při výpočtu budeme vycházet z průměrné ceny 4,54 Kč/kWh pro rok 2011.[19]

Spotřeba el. energie na odpaření kg vody z kalu	0,333	[kWh]
Celkové množství odpařené vody z kalu	8 245	[t/rok]
Cena za kWh elektrické energie	4,54	[Kč]
<b>Celkové náklady na elektřinu</b>	<b>12 464 511</b>	<b>[Kč/rok]</b>

Tabulka 51: Náklady na elektřinu ČOV o velikosti 200 000 EO

#### 4.7.5 Úvěr

Délka trvání úvěru byla zvolena na 15 let a úroková sazba 5 % za rok. Byl zvolen úvěr s konstantní platbou, která se určí dle vypočtené anuity, vynásobením pořizovací ceny viz vztah (9).

Anuita	a	0,096342	
Platba úvěr 100 %	pl	1 846 654	[Kč/rok]
Platba při 50% dotaci		923 327	[Kč/rok]
Platba při 90% dotaci		184 665	[Kč/rok]

Tabulka 52: Roční velikost splátky při různých druzích financování 200 000 EO

#### 4.7.6 Investiční propočet

V tabulce 53 je zobrazen propočet zavedení sušárny do kalové koncovky ČOV o kapacitě 200 000 EO.

Množství odvodněného kalu	11 680	[t/rok]
Náklady na kompostování t odvodněného kalu	1 000	[Kč]
<b>Náklady na kompostování odvodněného kalu</b>	<b>11680000</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Množství vysušeného kalu	3 435	[t/rok]
Náklady na spalování t vysušeného kalu	3000	[Kč]
<b>Náklady na spalování vysušeného kalu</b>	<b>10 305 000</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Úspory zavedením sušení	1 375 000	[Kč/rok]
Celkové náklady na elektřinu	-338 033	[Kč/rok]
Náklady na opravy	-252 954	[Kč/rok]
Úvěr	-12 185 086	[Kč/rok]
<b>Výsledek</b>	<b>-11 401 073</b>	<b>[Kč/rok]</b>

Tabulka 53: Propočet kompost. odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 200 000 EO

Ekonomická bilance možnosti spalování odvodněného kalu a spalování vysušeného kalu v pásové sušárně pro ČOV kapacity 200 000 EO

Množství odvodněného kalu	292	[t/rok]
Náklady na spalování t odvodněného kalu	3800	[Kč]
<b>Náklady na kompostování odvodněného kalu</b>	<b>1 109 600</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Množství vysušeného kalu	86	[t/rok]
Náklady na spalování t vysušeného kalu	3000	[Kč]
<b>Náklady na spalování vysušeného kalu</b>	<b>258 000</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Úspory zavedením sušení	+ 851 600	[Kč/rok]
Celkové náklady na elektřinu	-12 464 511	[Kč/rok]
Náklady na opravy	-287 514	[Kč/rok]
Úvěr	-1 846 654	[Kč/rok]
<b>Výsledek</b>	<b>19 480 321</b>	<b>[Kč/rok]</b>

Tabulka 54: Propočet spalování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 200 000 EO

#### 4.7.7 Diskuze

Investiční náklady na pásovou sušárnu pro ČOV o kapacitě 200 000 EO jsou 4 528 890 Kč včetně DPH. Dotace je možná až do výše 90 % z pořizovací ceny. Provozní náklady jsou celkem 12 752 025 Kč. %. Podnikatelský úvěr na 15 let s roční splátkou ve výši 1 846 654 Kč při 5% úroku. Úspory přechodem od kompostování odvodněného kalu k spalování vysušeného kalu tvoří částku 1 375 000 Kč za rok, při provozních nákladech na pásovou sušárnu je ekonomická bilance záporná. Při přechodu od spalování odvodněného kalu ke spalování vysušeného kalu je ekonomická bilance kladná. Bilance lze velmi ovlivnit vyjednanými cenovými hladinami za likvidaci kalu, dále pak zvolenou délkou splácení podnikatelského úvěru.

## 4.8 1 000 000 EO

### 4.8.1 Cena pásové sušárny pro ČOV o velikosti 1 000 000 EO

Náklady na pásovou sušárnu kalu pro čisticí odpadních vod o kapacitě 1 000 000 EO dle ceníku firmy Watropur jsou v přepočtu dle kurzovního lístku (13. 3. 2011) České národní banky 95 838 165 Kč včetně DPH.

### 4.8.2 Dotace

V tabulce 55 je zobrazen vliv dotací na investiční náklady pásové sušárny.

Cena	95 838 165	[Kč]
Cena při 50% dotaci	47 919 083	[Kč]
Cena při 90% dotaci	9 583 817	[Kč]

Tabulka 55: Vliv dotací na cenu pásové sušárny 1 000 000 EO

### 4.8.3 Náklady na opravy

Náklady na případné opravy pásové sušárny budeme uvažovat 1,5 % z pořizovací ceny sušárny. Pro ČOV velikosti 1 000 000 EO je to tedy 1 437 572 Kč.

### 4.8.4 Provozní náklady

Pro odpaření jednoho kilogramu vody z kalu je třeba dodat 0,333 kWh elektrické energie.

Při výpočtu budeme vycházet z průměrné ceny 4,54 Kč/kWh pro rok 2011.[19]

Spotřeba el. energie na odpaření kg vody z kalu	0,333	[kWh]
Celkové množství odpařené vody z kalu	41 224	[t/rok]
Cena za kWh elektrické energie	4,54	[Kč]
<b>Celkové náklady na elektřinu</b>	<b>62 322 566</b>	<b>[Kč/rok]</b>

Tabulka 56: Náklady na elektřinu ČOV o velikosti 1 000 000 EO

#### 4.8.5 Úvěr

Délka trvání úvěru byla zvolena na 15 let a úroková sazba 5 % za rok. Byl zvolen úvěr s konstantní platbou, která se určí dle vypočtené anuity, vynásobením pořizovací ceny viz vztah (9).

Anuita	a	0,096342	
Platba úvěr 100 %	pl	9 233 268	[Kč/rok]
Platba při 50% dotaci		4 616 634	[Kč/rok]
Platba při 90% dotaci		923 327	[Kč/rok]

Tabulka 57: Velikost roční splátky při různých druzích financování 1 000 000 EO

#### 4.8.6 Investiční propočet

V tabulce 58 je zobrazen propočet zavedení sušárny do kalové koncovky ČOV o kapacitě 1 000 000 EO.

Množství odvodněného kalu	58 400	[t/rok]
Náklady na kompostování t odvodněného kalu	1 000	[Kč]
<b>Náklady na kompostování odvodněného kalu</b>	<b>58400000</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Množství vysušeného kalu	17 176	[t/rok]
Náklady na spalování t vysušeného kalu	3000	[Kč]
<b>Náklady na spalování vysušeného kalu</b>	<b>51 528 000</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Úspory zavedením sušení	6 872 000	[Kč/rok]
Celkové náklady na elektřinu	-62 322 556	[Kč/rok]
Náklady na opravy	-1 437 572	[Kč/rok]
Úvěr	-9 233 268	[Kč/rok]
<b>Výsledek</b>	<b>-66 121 397</b>	<b>[Kč/rok]</b>

Tabulka 58: Kompostování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 1 000 000 EO

Ekonomická bilance možnosti spalování odvodněného kalu a spalování vysušeného kalu v pásové sušárně pro ČOV kapacity 200 000 EO

Množství odvodněného kalu	58 400	[t/rok]
Náklady na spalování t odvodněného kalu	3 800	[Kč]
<b>Náklady na kompostování odvodněného kalu</b>	<b>22192000</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Množství vysušeného kalu	17 176	[t/rok]
Náklady na spalování t vysušeného kalu	3000	[Kč]
<b>Náklady na spalování vysušeného kalu</b>	<b>51 528 000</b>	<b>[Kč/rok]</b>
Úspory zavedením sušení	170 392 000	[Kč/rok]
Celkové náklady na elektřinu	-62 322 556	[Kč/rok]
Náklady na opravy	-1 437 572	[Kč/rok]
Úvěr	-9 233 268	[Kč/rok]
<b>Výsledek</b>	<b>97 398 603</b>	<b>[Kč/rok]</b>

Tabulka 59: Spalování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 1 000 000 EO

#### 4.8.7 Diskuze

Investiční náklady na pásovou sušárnu pro ČOV o kapacitě 1 000 000 EO jsou 95 838 165 Kč včetně DPH. Dotace je možná až do výše 90 % z pořizovací ceny. Provozní náklady jsou celkem 63 760 128 Kč. %. Podnikatelský úvěr je na 15 let s roční splátkou ve výši 9 233 268 Kč při 5% úroku. Úspory přechodem od kompostování odvodněného kalu k spalování vysušeného kalu tvoří částku 6 872 000 Kč za rok, při provozních nákladech na pásovou sušárnu je ekonomická bilance záporná. Při přechodu od spalování odvodněného kalu ke spalování vysušeného kalu je ekonomická bilance kladná. Bilance lze velmi ovlivnit vyjednanými cenovými hladinami za likvidaci kalu, dále pak zvolenou délkou splácení podnikatelského úvěru.

## ZÁVĚR

Cíl této diplomové práce, tedy vytvořit ekonomického vyhodnocení instalace solární sušárny do kalové koncovky čistírny odpadních vod bylo dosaženo.

Ekonomická bilance solární sušárny byla provedena na základě cenové nabídky od německého dodavatele solárních sušáren IST Anlagenbau GmbH, která dodá kompletní elektroinstalaci, mechanické zařízení a ventilátory a cenové nabídky brněnské stavební společnosti Komfort a.s., kde byla zadána poptávka na stavbu betonové plochy a skleníku.

Ve srovnání případu, kdy bychom instalovali solární sušárnu na kalovou koncovku čistírny odpadních vod, která doposud likvidovala odvodněný kal kompostováním a po instalaci by vysušený kal spalovala je dle ekonomických propočtů bez ohledu na velikost čistírny odpadních vod patrné, že v tomto případě není instalace solární sušárny ekonomicky výhodná.

V případě instalace solární sušárny na čistírnu odpadních vod, která používá k likvidaci odvodněného kalu spalování a po zavedení sušárny by v tom pokračovala s vysušeným kalem, je bez ohledu na velikost čistírny odpadních vod tato investice výhodná.

Možnost ovlivnění rentability instalace solární sušárny na čistírnu odpadních vod je prostřednictvím dotací z Operačního programu Životního prostředí. Velký vliv na rentabilitu projektu mají také vyjednané cenové hladiny za likvidaci kalu z čistíren odpadních vod.

Dále bylo v diplomové práci vytvořeno ekonomické vyhodnocení instalace pásové sušárny na kalovou koncovku čistírny odpadních vod. Tento výpočet byl proveden na základě cenové nabídky výrobce pásových sušáren.

Pořizovací náklady na pásovou sušárnu jsou nižší než náklady na pořízení solární sušárny, ale její provozní náklady jsou mnohonásobně vyšší.

Závěrem lze říct, že z ekologického hlediska jde o velmi zajímavý projekt, ale z ekonomického hlediska velmi záleží na cenových hladinách za likvidaci kalu.



## ZDROJE

- [1] LYČKOVÁ, B. a kolektiv. *Zpracování kalu* [online]. Multimediální učební text. [cit. 2011-05-02] Technická univerzita Ostrava. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Bara/index.html>
- [2] Český statistický úřad [online]. [cit. 2011-04-14]. Dostupné z: [www.csu.cz](http://www.csu.cz)
- [3] *Kalové hospodářství čistíren odpadních vod* [online]. Praha: VŠCHT Praha. Zveřejněno dne: 2. 10. 2007. Dostupné z: [http://web.vscht.cz/starad/COV\\_Skripta\\_Kal\\_hosp.doc](http://web.vscht.cz/starad/COV_Skripta_Kal_hosp.doc)
- [4] Voda – elektronicky odborný časopis [online]. Ročník 2, č. 3. Vydáno Praha: 2006. [cit. 2011-05-08]. Dostupné z: [www.e-voda.cz/uploads/assets/casopisy/voda-2006-09.pdf](http://www.e-voda.cz/uploads/assets/casopisy/voda-2006-09.pdf)
- [5] PYTL, V. a kol. *Příručka provozovatele čistírny odpadních vod*. Příbram: PB Tisk, 2004. 209 s. ISBN 80-239-2528-8
- [6] Katalog firmy Hubert [online]. [cit. 2011-05-08]. Dostupné z: <http://www.huberics.cz/>
- [7] HUBÁLEK, L a kol. *Kompostování kalů z ČOV* [online]. Vydáno: 13. 11. 2007. [cit. 2011-05-13] Dostupné z: [http://soveko.com/web/print\\_1/art\\_22105/lay\\_3/kompostovani-kalu-z-cov-a-vyuziti-kompostu-pro-bioremediace.aspx](http://soveko.com/web/print_1/art_22105/lay_3/kompostovani-kalu-z-cov-a-vyuziti-kompostu-pro-bioremediace.aspx)
- [8] KUTIL, J. *Spoluspalování čistírenských kalů v elektrárně a cementárně*. Odpadové fórum, 2004. č. 5. s. 19 – 21. ISSN 1212-7779
- [9] HYŽÍK, J. *Kalové hospodářství Libereckého kraje* [online]. [cit. 2011-05-08]. Dostupné z: [www.kraj-lbc.cz/public/ozivpr/realizacni\\_program\\_kh\\_lk\\_6af0ffdfc9.pdf](http://www.kraj-lbc.cz/public/ozivpr/realizacni_program_kh_lk_6af0ffdfc9.pdf)
- [10] *Unie dala zelenou spalování odpadů v elektrárnách* [online]. Vydáno: 22. 10. 2008. [cit. 2009-05-13]. Dostupné z: <http://www.euractiv.cz/energetika/clanek/unie-dala-zelenou-spalovani-odpadu-v-elektrarnach>
- [11] Voda – elektronicky odborný časopis [online]. Ročník 3, č. 2. Vydáno v Mšeci: 2006. [cit. 2009-05-16]. Dostupné z: <http://www.e-voda.cz/uploads/assets/casopisy/voda-2007-10.pdf>
- [12] Stránky firmy IST Anlagenbau [online]. [cit. 2011-05-17]. Dostupné z: <http://www.ist-anlagenbau.de/>

- [13] SEIGNER, I a kol. *Prediction of Evaporation Rate in a Solar Dryer for Sewage Sludge*.
- [14] Stránky firmy SolarHit [online]. [cit. 2011-05-18]. Dostupné z: <http://www.solarhit.cz/index.asp?menu=775>
- [15] Stránky Českého hydrometeorologického ústavu [online]. [cit. 2011-05-17]. Dostupné z <http://www.chmu.cz/>
- [16] LUBOSCHIK, U. *Solar dryin of sewage sludge*. 2003
- [17] Stránky o zemědělských nemovitostech [online]. [cit. 2011-05-17]. Dostupné z <http://www.farmy.cz/cena-pudy/>
- [18] zákon č. 334/1992 Sb. O ochraně zemědělského půdního fondu
- [19] Stránky zabývající se cenami energií [online]. [cit. 2011-05-17]. Dostupné z <http://www.cenyenergie.cz/jak-se-vyviji-prumerna-cena-elektriny.aspx>
- [20] Katalog firmy Watropur [online]. [cit. 2011-04-12]. Dostupné z: [http://www.watropur.com/en/belt\\_sludge\\_dryer/](http://www.watropur.com/en/belt_sludge_dryer/)

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Procesy v čistírně odpadních vod [4].....	13
Obrázek 2: Schéma sedimentační zahušťovací nádrže[1] .....	14
Obrázek 3: Fluidní sušárna [11] .....	20
Obrázek 4: Schéma pásové sušárny [1] .....	21
Obrázek 5: Struktura solární sušárny [12] .....	22
Obrázek 6:Vnitřní technologie [12].....	23
Obrázek 7:Průměrný roční úhrn globálního záření [kWh/m <sup>2</sup> ][14] .....	24

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Počet čistíren odpadních vod v roce 2009 [2].....	12
Tabulka 2: Průměrné teploty v jednotlivých měsících 2001 – 2010[15].....	24
Tabulka 3: Hmotnostní bilance 5000 EO.....	26
Tabulka 4: Návrh solární sušárny pro ČOV 5 000 EO.....	26
Tabulka 5: Cena solární sušárny pro 5 000 EO.....	27
Tabulka 6: Pozemek pro ČOV o velikosti 5 000 EO.....	27
Tabulka 7: Vliv dotací na cenu sušárny pro ČOV o velikosti 5 000 EO.....	28
Tabulka 8: Náklady na elektřinu ČOV o velikosti 5 000 EO.....	29
Tabulka 9: Velikost roční splátky při různých druzích financování. 5 000 EO.....	29
Tabulka 10: Náklady na různé způsoby likvidace kalu[19].....	29
Tabulka 11: Kompostování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 5 000 EO.....	30
Tabulka 12: Spalování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 5 000 EO.....	30
Tabulka 13: Hmotnostní bilance 50 000 EO.....	32
Tabulka 14: Návrh solární sušárny pro ČOV 50 000 EO.....	32
Tabulka 15: Cena solární sušárny pro 50 000 EO.....	33
Tabulka 16: Pozemek pro ČOV o velikosti 50 000 EO.....	33
Tabulka 17: Vliv dotací na cenu ČOV o velikosti 50 000 EO.....	33
Tabulka 18: Náklady na elektřinu ČOV o velikosti 50 000 EO.....	34
Tabulka 19: Roční velikost splátky při různých druzích financování 5 000 EO.....	34
Tabulka 20: Kompostování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 50 000 EO.....	35
Tabulka 21: Spalování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 50 000 EO.....	35
Tabulka 22: Hmotnostní bilance 200 000 EO.....	36
Tabulka 23: Návrh solární sušárny pro ČOV 200 000 EO.....	36
Tabulka 24: Cena solární sušárny pro 200 000 EO.....	37
Tabulka 25: Pozemek pro ČOV o velikosti 200 000 EO.....	37
Tabulka 26: Vliv dotací na cenu ČOV o velikosti 200 000 EO.....	37
Tabulka 27: Náklady na elektřinu ČOV o velikosti 200 000 EO.....	38
Tabulka 28: Velikost roční splátky při různých druzích financování 200 000 EO.....	38
Tabulka 29: Kompostování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 200 000 EO.....	39
Tabulka 30: Spalování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 200 000 EO.....	39
Tabulka 31: Hmotnostní bilance 1 000 000 EO.....	40

Tabulka 32: Návrh solární sušárny pro ČOV 1 000 000 EO .....	40
Tabulka 33: Cena solární sušárny pro 1 000 000 EO.....	41
Tabulka 34: Pozemek pro ČOV o velikosti 1 000 000 EO .....	41
Tabulka 35: Vliv dotací na cenu ČOV o velikosti 1 000 000 EO.....	41
Tabulka 36: Náklady na elektřinu ČOV o velikosti 1 000 000 EO.....	42
Tabulka 37: Roční velikost splátky při různých druzích financování 1 000 000 EO...	42
Tabulka 38: Kompostování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 1 000 000 EO .....	43
Tabulka 39: Spalování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 1 000 000 EO.....	43
Tabulka 40: Vliv dotací na cenu pásové sušárny 5 000 EO .....	44
Tabulka 41: Náklady na elektřinu ČOV o velikosti 5 000 EO.....	45
Tabulka 42: Velikost roční splátky pásové sušárny 5 000 EO.....	45
Tabulka 43: Kompostování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 5 000 EO.....	45
Tabulka 44: Spalování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 5 000 EO.....	46
Tabulka 45: Vliv dotací na cenu ČOV o velikosti 50 000 EO.....	47
Tabulka 46: Náklady na elektřinu ČOV o velikosti 50 000 EO.....	47
Tabulka 47: Roční velikost splátky při různých druzích financování 50 000 EO.....	47
Tabulka 48: Kompostování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 50 000 EO.....	48
Tabulka 49: Spalování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 50 000 EO.....	48
Tabulka 50: Vliv dotací na cenu ČOV o velikosti 200 000 EO.....	49
Tabulka 51: Náklady na elektřinu ČOV o velikosti 200 000 EO.....	49
Tabulka 52: Roční velikost splátky při různých druzích financování 200 000 EO.....	50
Tabulka 53: Propočet kompost. odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 200 000 EO.	50
Tabulka 54: Propočet spalování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 200 000 EO	51
Tabulka 55: Vliv dotací na cenu pásové sušárny 1 000 000 EO .....	52
Tabulka 56: Náklady na elektřinu ČOV o velikosti 1 000 000 EO.....	52
Tabulka 57: Velikost roční splátky při různých druzích financování 1 000 000 EO....	53
Tabulka 58: Kompostování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 1 000 000 EO.....	53
Tabulka 59: Spalování odvod. kalu vs. spalování vysuš. kalu 1 000 000 EO.....	54

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Způsoby zneškodňování kalů v ČR 2009[2] .....	16
Graf 2: Závislost hodnoty odparu na potřebné velikosti sušárny 5 000 EO .....	31

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Cenová nabídka firmy IST Anlagenbau GmbH .....	63
Příloha 2: Splátkový kalendář solární sušárny pro ČOV 5 000 EO.....	64

## Příloha 1: Cenová nabídka firmy IST Anlagenbau GmbH

Solare Klärschlamm-trocknung  
mit dem Wendewolf  
Rein solare Trocknung



Datum: 20.03.2009

Richtkostenangebot-Nr.: I-09-20

Auftraggeber: Brno University of Technology

Standort: Pilsen/Tschechien

	Menge	Einheit	Gesamtpreis in EURO	
<b>Trocknungshallenfläche</b>	2.880	m <sup>2</sup>		
<b>Ausgangssituation:</b>				
Schlammmenge, nach Entwässerung, Feuchtmasse:	2.342	t/a		
Trockensubstanzgehalt nach Entwässerung:	21	%TS		
Trockenmasse:	482	t/a		
<b>vorgeschlagene/mögliche Größe:</b>				
Trocknungshallenbreite:	12	m		
Gewählte Länge:	120	m		
Gewählte Stehwandhöhe:	3,5	m		
Aktive Fläche pro Trocknungshalle:	1.288	m <sup>2</sup>		
Anzahl der Trocknungshallen:	2	Stck.		
<b>Zu erwartendes Ergebnis:</b>				
Verdunstende Wassermenge, solar:	1.774	t/a		
Verdunstende Wassermenge, Zusatzheizung:	0	t/a		
Verdunstende Wassermenge, gesamt:	1.774	t/a		
Restmenge getrockneter Schlamm:	568	t/a		
Mittlerer erreichter Trockensubstanzgehalt:	85	%TS		
<b><u>Kostenzusammenstellung :</u></b>				
<i>Leistungen, bauseitig nach Planungsvorgaben durch IST</i>				
<i>Erarbeiten bezogen auf Grünfläche, Kiesunterbau 60 cm, keine Spezialtiefundung Bodentragfähigkeit &gt; 250 kN/m<sup>2</sup></i>	3.120	m <sup>2</sup>	280.800 €	
<i>Bituminierte Zufahrt incl. Unterbau Annahme: Weg 4,5 m breit längs der Halle, vorne und hinten 6 m Ladeplatz</i>	828	m <sup>2</sup>	74.520 €	
<i>Zwischensumme Tiefbau geschätzt</i>			355.400 €	
<b>Betonfertigteile</b>	480	m	191.400 €	
<i>Standard Folienhaus mit Belüftung</i>	2	Stck.	259.300 €	<b>Option</b>
<i>Elektroinstallation</i>	2	Stck.	111.800 €	<b>Option</b>
<b>Lieferumfang IST</b>				
Planung der Elektrotechnik	2	Stck.		1.500 €
Maschinelle Ausrüstung	2	Stck.		254.600 €
Ventilatoren	28	Stck.		28.100 €
<b>Richtkostenangebot Lieferumfang IST netto</b>				<b>284.200 €</b>
<b>Richtkostenangebot mit Optionen</b>			<b>655.300 €</b>	
<b>Richtkosten Gesamtprojekt netto</b>			<b>1.202.100 €</b>	



## Příloha 2: Splátkový kalendář solární sušárny pro ČOV 5 000 EO [Kč]

Období	Počáteční stav	Úrok	Platba	Úmor	Konečný stav
1	5 468 360	273 418	526 834	253 416	5 214 944
2	5 214 944	260 747	526 834	266 087	4 948 856
3	4 948 856	247 443	526 834	279 391	4 669 465
4	4 669 465	233 473	526 834	293 361	4 376 104
5	4 376 104	218 805	526 834	308 029	4 068 075
6	4 068 075	203 404	526 834	323 431	3 744 644
7	3 744 644	187 232	526 834	339 602	3 405 042
8	3 405 042	170 252	526 834	356 582	3 048 460
9	3 048 460	152 423	526 834	374 411	2 674 049
10	2 674 049	133 702	526 834	393 132	2 280 917
11	2 280 917	114 046	526 834	412 788	1 868 128
12	1 868 128	93 406	526 834	433 428	1 434 700
13	1 434 700	71 735	526 834	455 099	979 601
14	979 601	48 980	526 834	477 854	501 747
15	501 747	25 087	526 834	501 747	0