



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

## OBNOVITELNÁ ENERGIE A ÚSPORY ENERGIE

RENEWABLE ENERGY AND ENERGY SAVINGS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JOSEF VESELSKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MARTIN PAVLAS, Ph.D.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2008/2009

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Josef Veselský

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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 bakalářské práce:

### **Obnovitelná energie a úspory energie**

v anglickém jazyce:

### **Renewable energy and energy savings**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

řešení, schémata

Cíle bakalářské práce:

- studium podkladů a příslušné legislativy o odpadech
- vyhodnocení provozních ukazatelů spalovny komunálních odpadů
- stanovení výhřevnosti zpracovávaného odpadu

Seznam odborné literatury:

Zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech a změně některých dalších zákonů

Bébar L., Puchýř R.: Hodnocení energetického využití odpadů ve spalovně komunálního odpadu TERMIZO, a.s., Liberec, zpráva VUT Brno, Ústav procesního a ekologického inženýrství fakulty strojního inženýrství, 31. března 2005

Internetová stránky Ministerstva životního prostředí, <http://www.env.cz>

<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P6-TA-2008-0282+0+DOC+XML+V0//CS&language=CS#BKMD-22>

[www.euroskop.cz/13/1279/clanek/smernice-o-odpadech/](http://www.euroskop.cz/13/1279/clanek/smernice-o-odpadech/)

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Pavlas, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 20.11.2008

L.S.

---

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá energetickým využitím odpadů. V úvodní části práce je zmíněn současný stav obnovitelných zdrojů v ČR. V hlavní části práce je stav odpadu v ČR, legislativa odpadů ČR, možnosti energetického spalování odpadu ve spalovnách. V závěru práce je vyhodnocena efektivnost výroby energie komunální spalovny odpadů.

## **Klíčová slova**

Obnovitelné zdroje energie, úspora energie, zpracování odpadů, energetické využití odpadů

## **Abstrakt**

This work focouses on waste to energy. In the introductory part a reviw of state-of-the art in waste in CR, legilation of waste in CR, possibilities waste to energy.In waste incineration plant. In conclusion, this work is evaluating the effectiveness of the production of energy waste incineration plant.

## **Keywords**

Renewable energy, energy savings, waste processing ,waste to energy

## **Bibliografická citace práce**

Veselský, J. *Obnovitelná energie a úspory energie*. Brno, 2009.31. Bakalářská práce na Vysokém učení technickém v Brně na fakultě strojního inženýrství na Ústavu procesního a ekologického inženýrství. Vedoucí bakalářské práce ing. Lukáš Urban.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citoval.

V Brně dne: .....

.....  
Josef Veselský

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto vedoucímu bakalářské práce ING. LUKÁŠI URBANOVI za odborné vedení ,množství cenných rad a připomínek .

## Obsah

Obsah .....	1
1. Úvod .....	2
2. Obnovitelné zdroje energie .....	4
2.1 Vývoj výroby elektřiny z OZE v ČR .....	6
3. Energetické využití odpadů .....	8
3.1 Termické zpracování odpadů s využitím energie .....	9
3.2 Spalovny komunálních odpadů .....	9
3.3 Legislativa .....	18
4. Kritéria pro hodnocení efektivity výroby ve spalovnách komunálních odpadů .....	19
4.1 Hodnocení kogeneračních systémů .....	20
4.2 Kritéria pro hodnocení jednotek WTE .....	22
5. Kritéria pro hodnocení efektivity výroby ve spalovnách komunálních odpadů .....	24
6. Závěr .....	28
7. Seznam použitých zdrojů .....	29
8. Seznam použitých zkratk .....	30
9. Seznam použitých symbolů .....	31

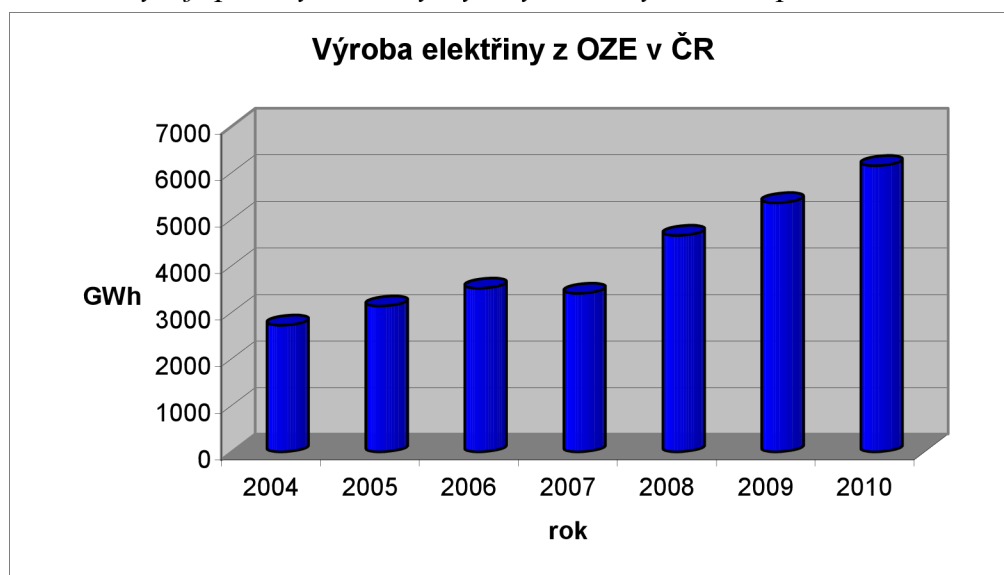
# 1. Úvod

Obnovitelné zdroje v ČR zabezpečují zhruba 4 % spotřebované energie. Z pohledu statistiky je to sice nepatrné množství ku celkové spotřebě naší ČR, ale jakýkoliv způsob výroby energie, který nedevastuje naši krajinu a nepřipravuje naši zemi o cenné přírodní zdroje, je jisté přínosem. Tuto skutečnost si uvědomují i ostatní země a snaží se proto procentuální hodnotu OZE ve svých zemích rok od roku neustále zvyšovat. Evropský parlament se k této skutečnosti vyjádřil směrnicí o podpoře užívání OZE v zemích Evropské unie a tím stanovil procentuální hodnotu OZE členskými zeměmi do roku 2020. Česká republika schválila v roce 2007 zvýšit potenciál obnovitelných zdrojů na hodnotu 8,6% celkové spotřeby primárních energetických zdrojů do roku 2010[12].

V ČR zaznamenal rozvoj OZE za poslední rok 2007 stagnaci. Příčinnou byly zhoršené hydrologické podmínky, které značně ovlivnily rostoucí tendenci v tomto směru. Vývoj OZE v ČR zachycuje tab. 1 a následně obr. 1. Závazky členských států ke směrnici o podpoře užívání OZE uvádí obr. 2. Jedním z hlavních OZE v ČR je energie získaná z biomasy. Její podíl na primárních energetických zdrojích (PEZ) činil pro rok 2007 3,91 %. A tato hodnota se bude určitě do budoucna zvyšovat. Díky energetickému využití odpadů, které za nás řeší dvě věci naráz. Odstraňuje produkovaný odpad, který nemusí končit na skládkách a při této činnosti získáváme navíc energii, kterou následně můžeme opět spotřebovat. Tato práce se bude se bude odpadem a jeho energetickým využitím převážně zabývat [1].

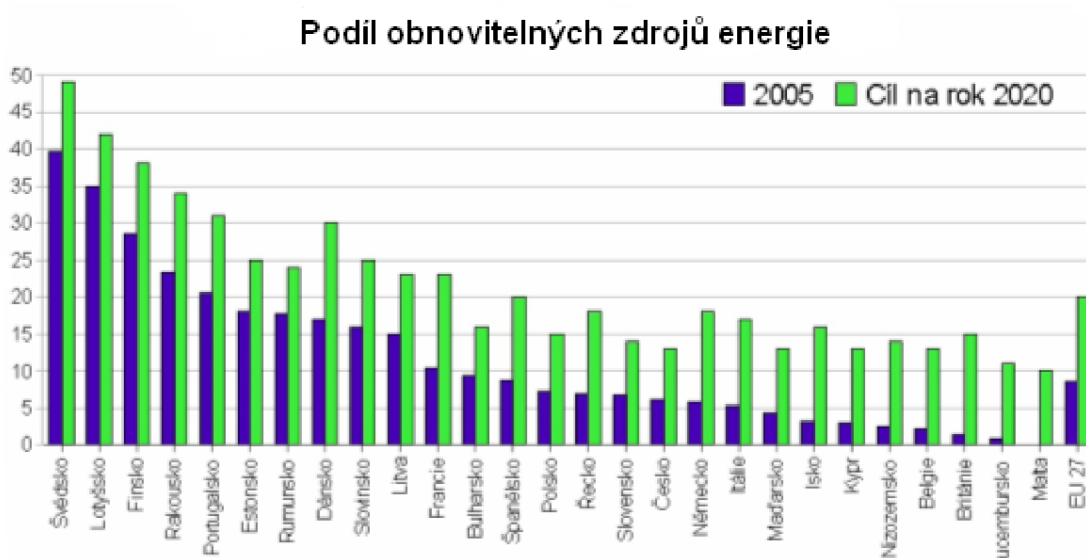
		Statistické údaje				Predikce		
		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Hrubá spotřeba elektřiny	[GWh]	68 614	69 933	71 666	7	74 561	76 053	77 574
Meziroční nárůst	[%]		13	12,3	-3	15	15	15
Hrubá výroba elektřiny z OZE	[GWh]	2772	3133	3519	3412	4656	5352	6154
Podíl OZE	[%]	4,04	4,48	4,91	4,74	6,24	7,04	7,93

**Tab. 1** Vývoj spotřeby elektřiny, výroby elektřiny z OZE a podílu OZE v ČR



**Obr. 1** Podíl jednotlivých zdrojů na celkové výrobě elektřiny z OZE v ČR





*Obr. 2 Závazky členů EU na celkové výrobě elektřiny z OZE do roku 2020 [3]*

## 2.Obnovitelné zdroje energie

### Obnovitelné zdroje energie v ČR

V roce 2007 se energie vyrobená z obnovitelných zdrojů podílela zhruba 4,7 % na pokrytí celkové hrubé spotřeby energie v ČR. Způsoby kterými tato energie byla získávána :

- energie vody
- biomasa
- bioplyn
- větrná energie
- ostatní zdroje

#### *Energie vody*

Energie vody je jedním ze základních obnovitelných zdrojů v ČR, její podíl na celkové vyrobené energii z OZE nepřesahuje více jak 2 %. Princip výroby energie za pomoci vody je založen na přeměně mechanické energie na elektrickou. Voda roztáčí turbínu, která je na společné hřídeli s elektrickým generátorem. Volba turbíny závisí na funkci vodní elektrárny. Nejčastěji se osazují turbíny reakčního typu (Francisova nebo Kaplanova turbína), a to v nepřeberné paletě modifikací.

#### Výhody vodních elektráren:

- neznečišťují ovzduší
- nedevastují krajinu jsou bezodpadové
- nezávisí na dovozu surovin a jsou vysoce bezpečné.

#### Nevýhody vodních elektráren :

- vysoká závislost na klimatických podmínkách[5].

#### *Biomasa*

Biomasa je definována jako hmota organického původu. V souvislosti s energetikou jde nejčastěji o dřevo a dřevní odpad, slámu a jiné zemědělské zbytky včetně exkrementů užitkových zvířat. Rozlišujeme biomasu "suchou" (např. dřevo) a "mokrou". Základní technologie zpracování se dělí na suché procesy (termochemická přeměna) jako je spalování, zplyňování a pyrolýza a procesy mokré (biochemická přeměna), které zahrnují anaerobní vyhnívání (metanové kvašení), lihové kvašení a výrobu biovodíku. Zvláštní podskupinu potom tvoří lisování olejů a jejich následná úprava, což je v podstatě mechanicko-chemická přeměna.

V roce 2007 došlo k meziročnímu zvýšení výroby elektřiny z biomasy z 731 GWh na 968 GWh. Zčásti je to také tím, že přibylí noví výrobci (veřejné teplárny) spoluspalující biomasu s uhlím. V roce 2007 bylo vyrobeno celkem 16 041 TJ tepelné energie, z toho byla většina využita ve vlastním závodě [6].

## *Bioplyn*

Bioplyn vzniká při rozkladu organických látek (hnůj, zelené rostliny, kal z čističek) v uzavřených nádržích bez přístupu kyslíku. Ze zemědělských odpadů se v největší míře energeticky využívá kejda, případně i slamnatý hnůj, sláma, zbytky travin, stonky kukuřice, bramborová nať a další. Tímto způsobem je možné zpracovávat také slámu, piliny a jiný odpad, proces je však pomalejší. Bioplyn zde vyrobený je především používán pro vlastní potřebu provozů (vyhřívání reaktorů, vytápění objektů, ohřev teplé vody).

Velmi dramatický rozvoj zažívá v současné době výstavba bioplynových stanic. V roce 2007 bylo k energetickým účelům využito 150,5 mil. m<sup>3</sup> bioplynu, což je o 20 % více než v loňském roce (122,9 mil. m<sup>3</sup>). Nejvíce se na tomto nárůstu podílela produkce bioplynových stanic, kde objem vyrobeného bioplynu vzrostl na 28 mil. m<sup>3</sup>. Energetický obsah veškerého využitého bioplynu činil v roce 2007 3 188 631 GJ.

### Výhody bioplynu :

- nezávislost na klimatických podmínkách,
- vysoká účinnost,
- nižší spotřeba průmyslových hnojiv,
- snížení zápachu velkochovů.

### Nevýhody bioplynu :

- hlavní nevýhodou je doprava (lokální výroba) [6].

## *Větrná energie*

Princip větrné energie spočívá v působení aerodynamických sil na listy rotoru. Dané působení převádí větrná turbína, umístěná na stožáru. Energie větru je tak přeměněna na rotační energii mechanickou. Ta je poté prostřednictvím generátoru zdrojem elektrické energie. V současné době se větrné elektrárny nacházejí na více než padesáti lokalitách v ČR, jejich nominální výkon se pohybuje od 0,004 až po 2 MWe. Na celkové výrobě elektřiny v ČR se větrné elektrárny podílely pouze 0,4 %, což je přibližně třetina průměrného podílu v zemích EU. V roce 2005 představovala roční výroba 21,3 GWh. V roce 2002 představoval výkon instalovaný ve větrných elektrárnách 6 635 kW, koncem roku 2006 to byl již téměř desetinásobek.

### Nevýhody větrných elektráren:

- slabý a nestabilní výkon,
- hluk,
- zásah do krajiny[4].

## *Ostatní zdroje*

Mezi ostatní zdroje obnovitelné energie, které se u nás používají patří tuhé komunální odpady (BRKO), fotovoltaické systémy, kapalná biopaliva.

## 2.1 Vývoj výroby elektřiny z OZE v ČR

Množství energie vyrobené z obnovitelných zdrojů v naší zemi rok od roku stoupá, což názorněji ukazuje tab. 2 s hodnotami z předešlých let. Poměr OZE ku celkovým energetickým zdrojům v ČR lépe zachycuje tab. 3 PEZ. Tato situace má vzestupnou tendenci díky legislativě EU, která se zavázala zvyšovat procentuální hodnotu OZE a nemalou roli hraje i energetická legislativa ČR. EU vydala směrnici 2001/77/EC, na základě které jsou definovány procentuální podíly výroby elektřiny na hrubé domácí spotřebě elektřiny v každém členském státě. Směrnice zároveň definuje celkový cíl pro Evropské společenství ve výši 22,1 % OZE. Směrnice zavazuje členské státy přijmout opatření a programy podpory, které povedou ke zvyšování výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů. Konkrétní formy opatření jsou na rozhodnutí jednotlivých států, musí však být v souladu s pravidly pro vnitřní trh s elektřinou a úměrné indikativním cílům, aby vedly k jejich splnění v roce 2020 [9].

Roky	2004	2005	2006	2007
Hrubá výroba elektřiny	MWh	MWh	MWh	MWh
Vodní elektrárny	2019400,0	2379910,0	2550700,0	2089600,0
Biomasa	592704,8	560251,9	731066,4	968062,9
Bioplyn	138793,4	160856,9	175837,2	215233,0
Tuhé komunální odpady	10031,0	10612,3	11264,4	11975,1
Větrné elektrárny	9870,8	21441,6	49400,0	125100,0
Fotovoltaické systémy	77,3	390,0	540,0	2127,0
Kapalná bpaliva	0,0	0,0	22,3	9,0

*Tab. 2 Hrubá výroba elektřiny z OZE v ČR*

Roky	2004	2005	2006	2007	2008
	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ
tuhá paliva	876,4	891,4	846,6	851,2	813,1
kapalná paliva	346,4	389,8	380,0	401,2	401,2
plynná paliva	326,4	334,6	354,6	331,0	332,7
prvotní teplo	284,4	268,8	284,1	285,5	289,6
OZE(bez vody)	65,2	67,0	72,6	83,2	82,9
Celkem	1849,6	1914,8	1901,8	1902	1887,7

*Tab. 3 Primární energetické zdroje včetně OZE v ČR*

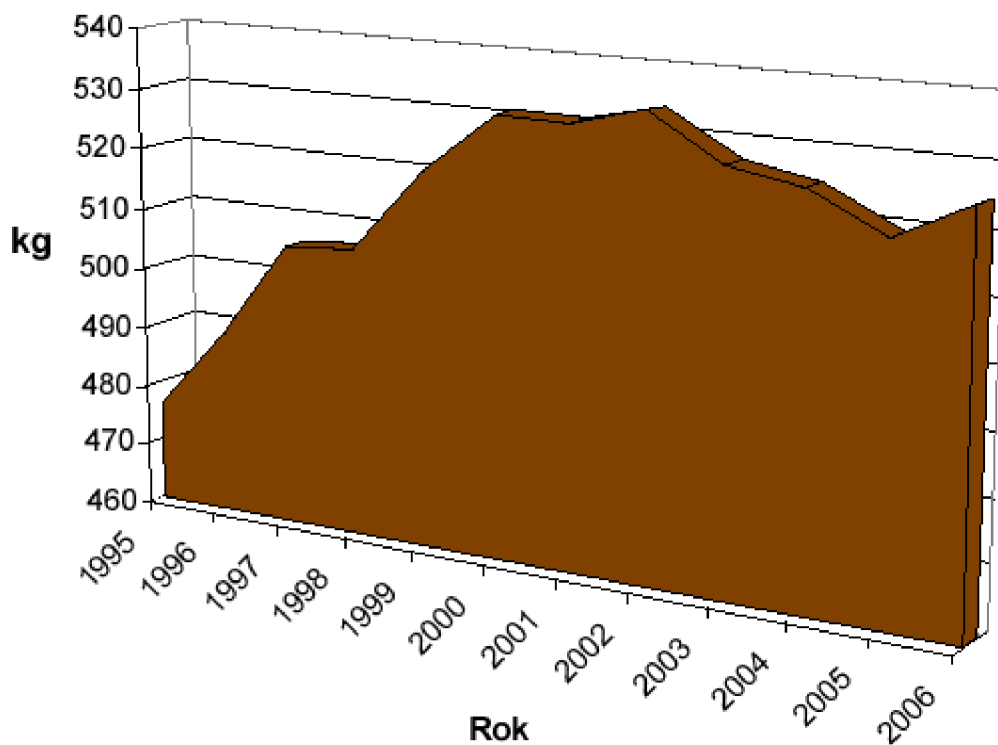
Jedním z kladných kroků, které byly provedeny v ČR v tomto směru, bylo přijetí zákona č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů. Zákon definuje systém podpory formou pevných výkupních cen, případně příplatků k tržním cenám elektřiny. Zároveň garantuje vyšší výnosů z jednotky vyrobené elektřiny po dobu 15 let. Součástí zákona je i podpora elektřiny užitá pro vlastní potřebu. Obsahuje dvě formy podpory. Jednou z nich jsou minimální výkupní ceny (umožňuje veškerou vyrobenou elektřinu prodat provozovateli příslušné distribuční soustavy) a druhou formou jsou zelené bonusy(umožňuje uplatnit elektřinu vyrobenou z obnovitelných zdrojů na jednotném trhu s elektřinou)[7].

Dalším zvýhodněním OZE je i tzv. Akční plán pro biomasu. Mezi jeho hlavní cíle je napomout přiblížit se stanoveným 8,6 % OZE do roku 2010, pomoci nastartovat investice do čistého způsobu získávání energie spolu se snižováním energetické

náročnosti, zvýšení nabídky energetické biomasy na domácím trhu, uplatnit princip udržitelného rozvoje a dále prosazovat hlediska životního prostředí s ohledem na cílené pěstování biomasy, zohlednění environmentálních limitů získávání biomasy. Východiskem tohoto plánu byl Akční plán pro biomasu EU, který počítá se zdvojnásobením výroby energie z biomasy do roku 2010. Dalšími východisky byly Strategie Evropské unie pro biopaliva, Pracovní plán pro obnovitelné zdroje energie[10].

### 3. Energetické využití odpadů

Odpadem se rozumí jakákoliv látka nebo předmět, kterých se držitel zbavuje, má v úmyslu zbavit nebo se od někoho požaduje, aby se jich zbavil. Odpad produkovaný lidmi se nazývá tuhý komunální odpad a odpad vytvořen průmyslovými podniky se nazývá průmyslový a nebezpečný odpad. Množství odpadu vyprodukovaného na jednoho obyvatele se v průběhu let stále zvyšuje. Vzestupnou tendenci zobrazuje obr. 3.



**Obr. 3** Měrná produkce komunálního odpadu na jednoho obyvatele v Evropské unii

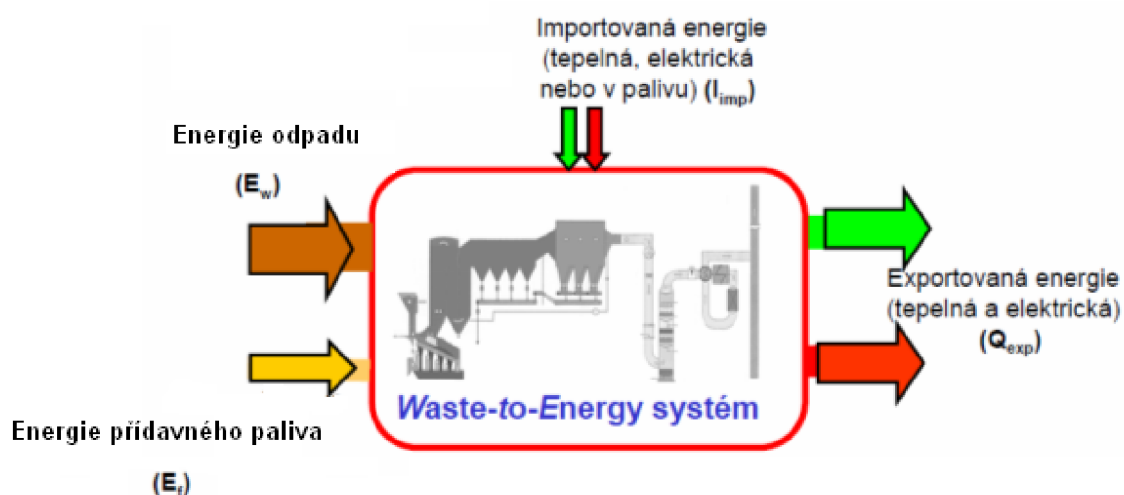
V České republice bylo za rok 2007 vyprodukováno celkem 25,1 mil. tun komunálního odpadu, tato hodnota se výrazně neliší od roku 2006. Produkce nebezpečných odpadů byla v roce 2007 asi 5,2 % z celkového množství odpadů. Podle statistiky byla zjištěna suma 293 kg komunálního odpadu na každého obyvatele České republiky pro rok 2007. Odstraňování produkovaných odpadů v ČR je z 80 % zajištěno skladováním v úrovni nebo pod úrovní terénu. V přepočtu na jednoho obyvatele bylo 263 kg komunálního odpadu uskladněno. Ve spalovnách s využitím i bez využití energie skončilo 30 kg komunálního odpadu na jednoho obyvatele. Z daných hodnot je zřejmé, že v brzké době nastane reforma odpadové politiky. V potaz se bere postup MBÚ (proces mechanicko-biologické úpravy) a WTE (zpracování s využitím energie) [1].

### 3.1 Termické zpracování odpadů s využitím energie

Metoda se řadí mezi obnovitelné zdroje energie. Odpad pomocí této metody přestává být problém a stává se zdrojem energie (elektrické i tepelné) místo uskladňování. Proces termického zpracování je na obr. 4.

Výhody:

- rychlost zpracování,
- možnost zpracování nebezpečných odpadů,
- možnost kontrolovat čistotu plyných produktů spalováním tuhých reziduí a využití tepla uvolněné oxidačním procesem[1].



*Obr. 4 Proces termického zpracování*

### 3.2 Spalovny komunálních odpadů

Spalovny procházely v průběhu let různými druhy změn, podle toho je dělíme do 5 generací. První generace spaloven se zabývala hygienizací odpadů a vznikla na přelomu 19. a 20. století. V druhé fázi byla zaznamenána snaha využít uvolněné teplo při spalování. Třetí fáze zabývající se odstraněním tuhých částic se začala rozvíjet v roce 1970. Čtvrtá a pátá generace spaloven se zaměřuje hlavně na snížení emisí škodlivých látek. V dnešní době se stále více zvyšují nároky na odstranění SO<sub>2</sub>, HCl, HF, CO, popílku, těžkých kovů atd. Spalovny můžeme rozdělit do tří kategorií. Jedná se o tzv. pyrolýzu, zplyňování a spalování.

## *Pyrolýza*

Jedná se o odplynování odpadů za nepřítomnosti kyslíku. Během procesu vzniká pyrolýzní plyn a tuhý koks. Výhřevnost pyrolýzního plynu je běžně mezi 5 až 15 MJ/m<sup>3</sup> pro komunální odpady a mezi 15 až 30 MJ/m<sup>3</sup>. V širším smyslu je „pyrolýza“ všeobecný pojem zahrnující řadu různých kombinací technologií, které vcelku sestávají z následujících technologických stupňů :

- proces odplynění (tvorba plynu z těkavých částic odpadů při teplotách mezi 400 - 600 °C)
- pyrolýza (tepelný rozklad organických molekul odpadu mezi 500 a 800 °C za vzniku plynné a tuhé frakce)
- zplynování (konverze uhlíkatého podílu zbylého v pyrolýzním koksu při 800 až 1000 °C s použitím zplynovacích látek na procesní plyn)
- spalování (spalování plynu a pyrolýzního koksu, závisí na kombinaci technologií ve spalovací komoře).

### Výhody :

- objem plynu plynů při čištění je malý

### Nevýhody :

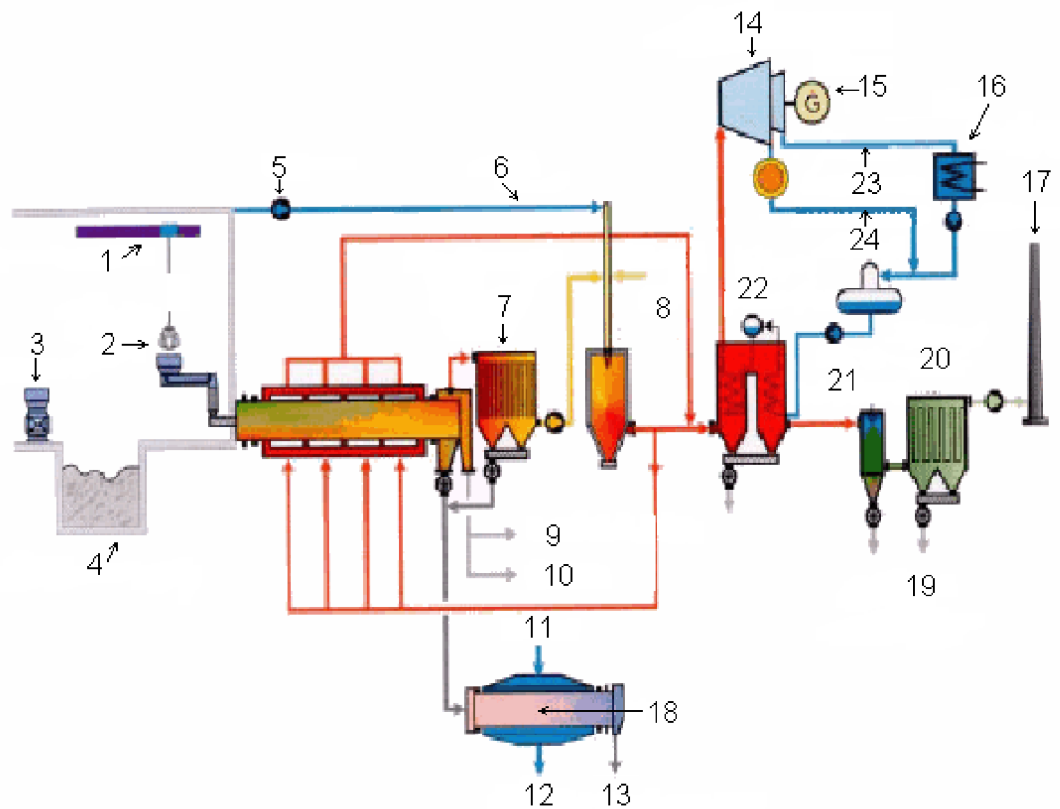
- metoda je znatelně nákladnější než spalování

Pyrolýzní zařízení k úpravě komunálních odpadů je provozováno v Německu a další zařízení bylo spuštěno do provozu na konci r. 2003 ve Francii.

Zařízení pro pyrolýzu se skládá ze čtyř pracovních postupů :

- První část postupu se zabývá přípravou a mletím, což zlepšuje a normalizuje kvalitu odpadu určeného ke zpracování.
- V druhé části se je zařazeno sušení, které zlepšuje kvalitu surového procesního plynu s nižší výhřevností.
- V třetí části se akumuluje tuhý uhlíkatý zbytek s obsahem minerálů a organických podílů.
- Poslední část je určena k druhotnému zpracování pyrolýzního plynu a pyrolýzního koksu kondenzací plynu vedoucí k extrakci energeticky využitelných olejových směsí [11].





**Obr. 5** Struktura zařízení k pyrolýze komunálního odpadu[11]

*Legenda :*

1. Jeřábový systém	9. Přírodní plyn	17. Komín
2. Podavač odpadu	10. Kovy	18. Nepřímé chlazení
3. Nůžky	11. Voda	19. Produkt reakce
4. Drcený odpad	12. Voda	20. Textilní filtr
5. Ventilátor	13. Pyrolýzní koks	21. Sprchovací pračka
6. Vzduch	14. Parní turbína	22. Plynový generátor
7. Filtrace horkých plynů	15. Generátor	23. Pára
8. Přírodní plyn	16. Kondenzace	24. Voda

## *Zplyňování*

Zplyňování je částečné spalování organických látek za vzniku plynů, které lze použít jako surovinu (pomocí reformních procesů) nebo jako palivo. Existuje nebo se vyvíjí několik různých zplyňovacích procesů, které jsou v zásadě vhodné k úpravě komunálních odpadů, určitých nebezpečných odpadů a sušených čistírenských kalů. Důležité je, aby velikost, konzistence vstupujícího odpadu vyhovovala určitým předem definovaným limitům. To často znamená např. specifickou předběžnou úpravu komunálních odpadů.

Pro zplyňovací proces platí tyto speciální charakteristiky :

- Vysoké provozní tlaky (u některých procesů).
- Akumulace tuhých zbytků ve formě strusky (při vysokých teplotách zplyňování strusky).
- Malé a kompaktní agregáty (obzvláště při tlakovém zplyňování).
- Materiálové a energetické zužitkování syntézního plynu.
- Menší toky odpadních vod z čištění syntézního plynu.

### Výhody :

- minimální emise do ovzduší

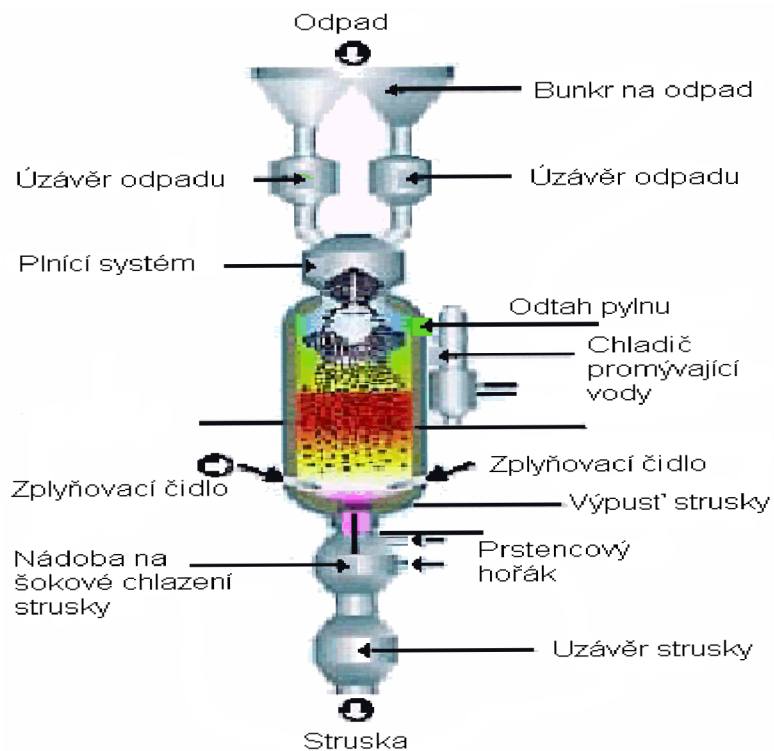
### Nevýhody :

- na zařízení na zplyňování a následnou výrobou elektřiny z uvolněného syntézního plynu jako celek neexistuje referenční jednotka a zařízení není provozně odzkoušené.

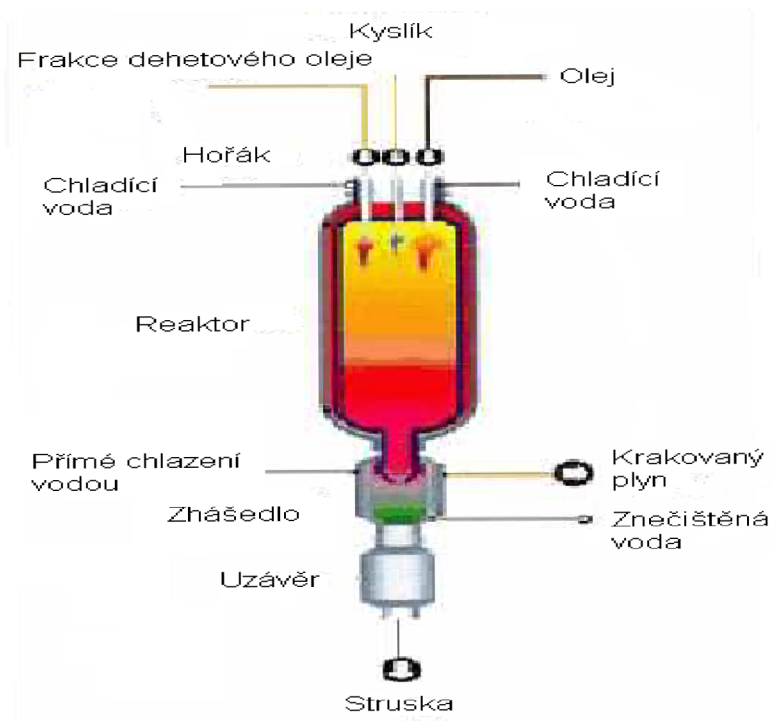
V Německu je v současné době v provozu (SVZ, Centrum pro využití druhotných surovin) ve Schwarze Pumpe používán ke zplyňování tekutých nebezpečných odpadů tzv. zplyňovač s proudem unášených částic. Tekuté odpady vstupují do reaktoru přes systém hořáků jsou při teplotách 1600-1800 °C transformovány na syntézní plyn. Od r. 1995 bylo v tomto zařízení odstraněno asi 31 000 t odpadních olejů [11].

Druhy zplyňovacích reaktorů :

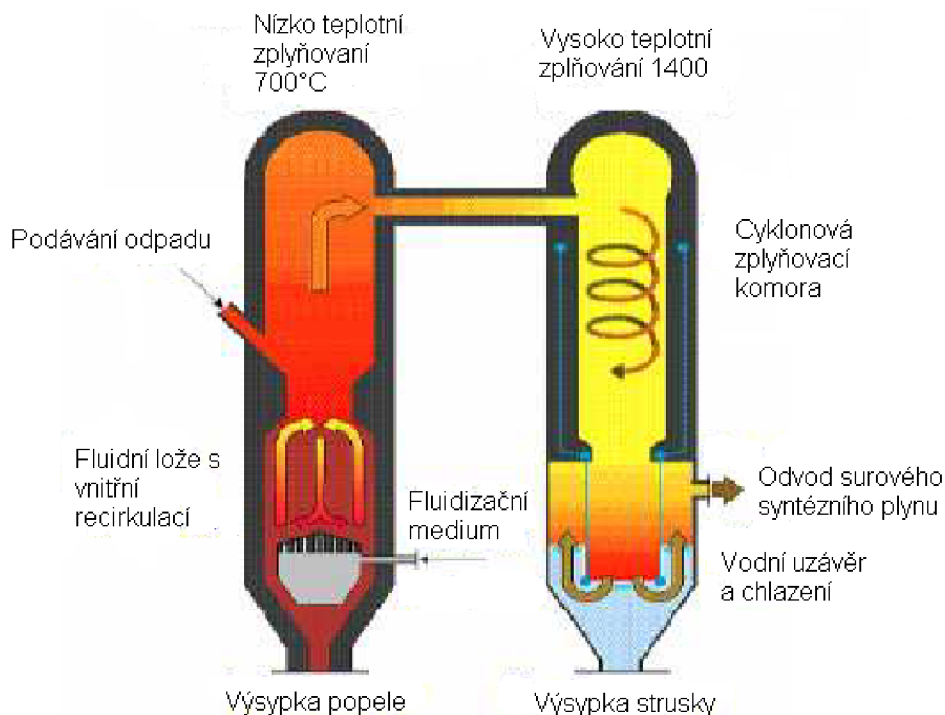
- zplyňovač s fluidním ložem,
- průtokový zplyňovač,
- cyklónový zplyňovač,
- zplyňovač s pevným ložem.



*Obr. 6 Zplyňovač se struskovou vanou [11]*



*Obr. 7 Průtokový zplyňovač [11]*



**Obr. 8** Zplyňovač s fluidním ložem s vysokoteplotním tavením strusky [11]

### Spalování

Jedná se o zpracování a úpravu odpadů tak, aby se snížil jejich objem a nebezpečnost. Tato metoda se dělí podle druhu spaloven :

- roštová spalovna odpadu,
- rotační spalovna odpadu ,
- fluidní spalovna odpadu.

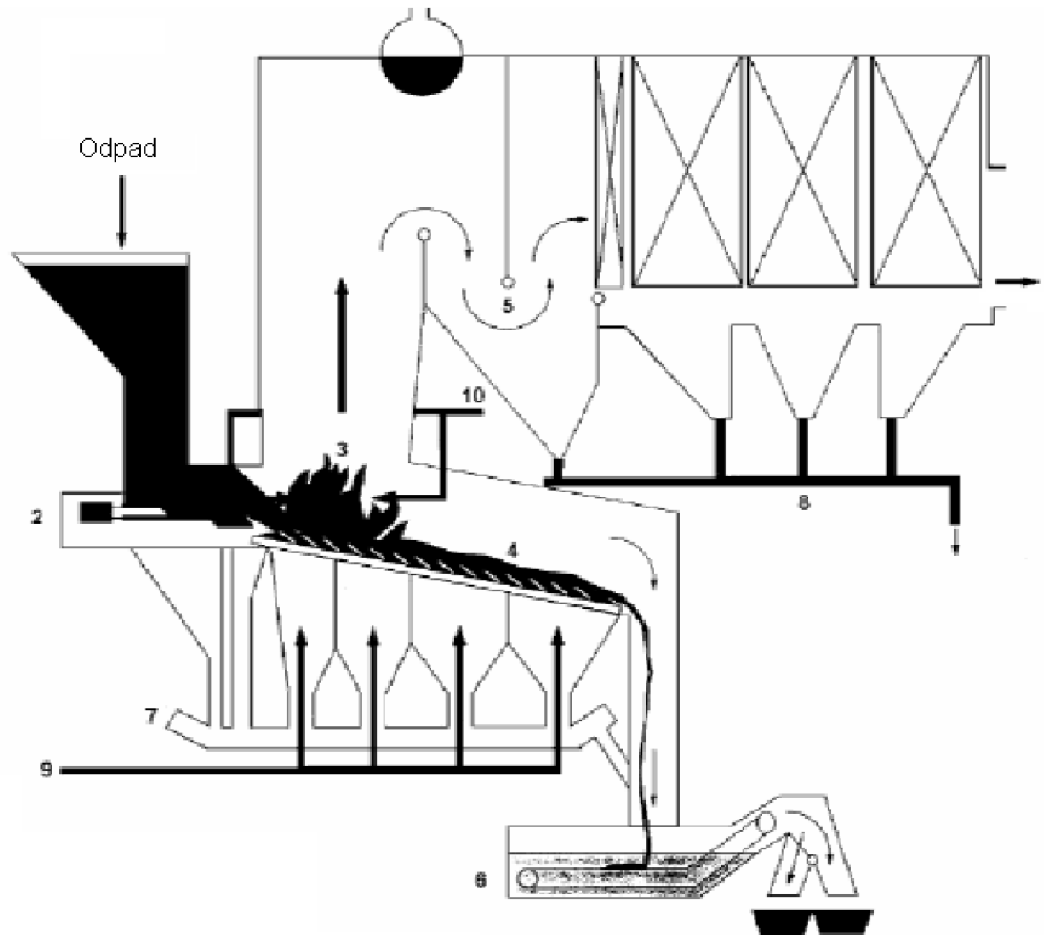
#### Roštová spalovna odpadu

Roštové spalovny jsou velmi rozšířeny pro spalování směsného komunálního odpadu. V Evropě se v asi 90 % spaloven používají k odstranění TKO. Ostatní odpady běžně upravované v roštových spalovnách, často spolu s TKO, obsahují :

- živnostenské a průmyslové odpady neklasifikované jako nebezpečné,
- čistírenské kaly a některé klinické odpady.

Roštové spalovny obvykle obsahují následující součásti :

- podávací zařízení,
- spalovací rošt,
- výsypka lóžového popele,
- systém přívodu spalovacího vzduchu,
- spalovací komora,
- pomocné hořáky.



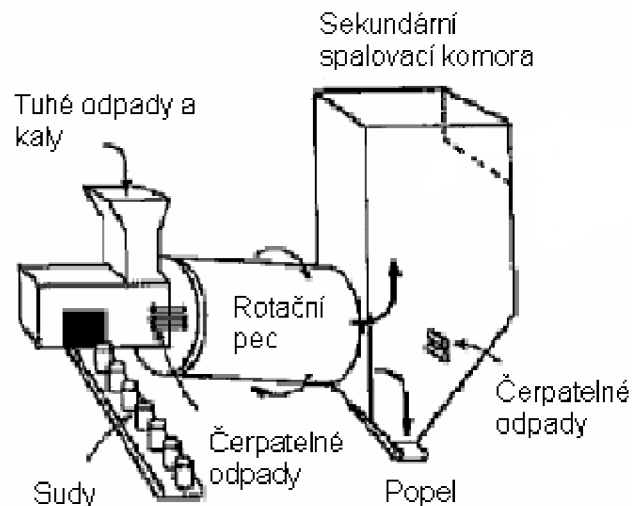
**Obr. 9** Roštová spalovna [11]

*Legenda :*

- |  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. Násypka podávacího zařízení           | 9. Primární vzduch    |
| 2. Podávací zařízení                     | 10. Sekundární vzduch |
| 3. Zóna spalování                        |                       |
| 4. Hlavní zóna spalování                 |                       |
| 5. Separátor pro veľkoobjemové materiály |                       |
| 6. Výsypka lôžového popele               |                       |
| 7. Propady                               |                       |
| 8. Výsypka popele z kotle                |                       |

### *Rotační spalovna odpadů*

Rotační pece jsou velmi masivní a lze v nich spalovat téměř všechny odpady bez ohledu na druh či složení. Rotační pece mají velmi široké uplatnění především při spalování nebezpečných odpadů. Technologie je také všeobecně používána pro spalování klinických odpadů (většina nebezpečných klinických odpadů se spaluje v rotačních pecích spaloven při vysokých teplotách, ale v menší míře pak komunální odpady). Provozní teploty dosahované v rotačních pecích při spalování odpadů se pohybují v rozmezí od 500 °C (např. zplyňování) do 1450 °C (např. vysokoteplotní tavení popelé). Někdy se vyskytují vyšší teploty, ale obvykle nikoliv v aplikacích odpadových. Při běžném oxidačním spalování jsou obvykle teploty vyšší než 850 °C. Teploty v rozpětí 900-1 200 °C jsou běžné pro spalování nebezpečných odpadů. Všeobecně platí v závislosti na vstupujícím odpadu, že čím vyšší je provozní teplota, tím větší je riziko poškození žáruvzdorného obložení pece vlivem usazenin a teploty. Některé pece mají tepelně izolační vrstvy (vzduchové nebo vodní), které pomáhají prodlužovat životnost vyzdívků a tím dobu mezi odstávkami za účelem údržby.



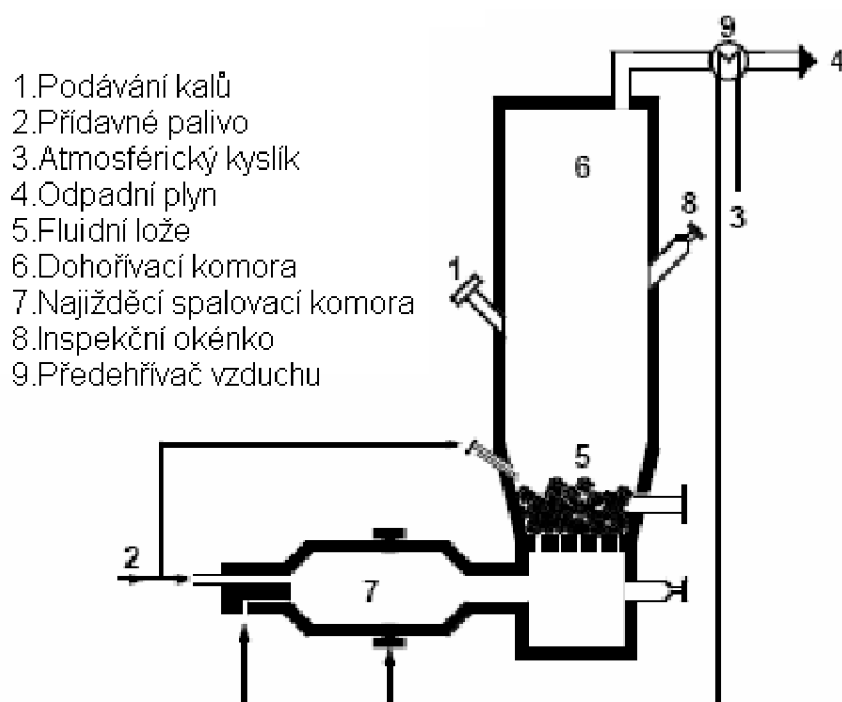
**Obr. 10** Schéma spalovacího systému rotační pece [11]

Rotační pec je tvořena válcovou nádobou nakloněnou podél vodorovné osy. Nádoba je obvykle umístěna na válečcích, které umožňují, aby se pec otáčela nebo oscillovala podél této osy (vratný pohyb). Odpad prochází pecí působením gravitace při rotaci. Přímé vstřikování se uplatňuje především u kapalných, plynných nebo kašovitých (čerpatelných) odpadů – obzvláště pokud existují bezpečnostní rizika a pokud vyžadují zvláštní péči, aby se zamezilo ohrožení obsluhy. Doba zdržení tuhého materiálu v peci je určena úhlem nádoby a rychlostí rotace. Doba zdržení mezi 30 až 90 minutami běžně postačuje k dosažení dobrého vyhoření odpadu. V rotačních pecích lze spalovat tuhé, kapalně, plynné odpady a kaly. Tuhé materiály jsou obvykle podávány přes násypku, která se neotáčí, kapalně odpady lze do pece vstřikovat přes trysky hořáku, čerpatelné odpady a kaly mohou být vstřikovány do pece přes vodou chlazenou trubici. Aby se zvýšilo odbourávání toxických sloučenin, zařazuje se obvykle dohořivací komora. Přídavné spalování s použitím kapalných odpadů nebo přídavného paliva[11].

### *Fluidní spalovna odpadů*

Spalovny s fluidním ložem jsou široce používány ke spalování rozptýlených odpadů, např. paliva z odpadů a čistírenských kalů. Používají se již celé desítky let, především ke spalování homogenních paliv. Patří k nim uhlí, surový lignit, čistírenské kaly a biomasa (např. dřevo). Spalovna s fluidním ložem je izolovaná spalovací komora ve tvaru vertikálního válce. Ve spodní sekci je na roštu a rozdělovací desce vzduchem fluidizované lože z inertního materiálu (např. písek nebo popel). Odpad ke spalování je nepřetržitě přiváděn z vrchu nebo ze strany na fluidní pískové lože. Předehřátý vzduch je veden do spalovací komory otvory v roštu a vytváří fluidní lože spolu s pískem obsaženým ve spalovací komoře. Odpad je čerpán do reaktoru pomocí čerpadel, hvězdicového podavače nebo šnekového dopravníku. Ve fluidním loži probíhá sušení, odplynění, vznícení a hoření.

Vzhledem k dobrému promíchávání částic v reaktoru, mají systémy spalování s fluidním ložem obecně rovnoměrné rozložení teplot a kyslíku, což zajišťuje stabilitu provozu. Spalování heterogenních odpadů ve fluidním loži vyžaduje v procesu přípravný stupeň, aby se velikost odpadů přizpůsobila specifikacím. U některých odpadů toho lze dosáhnout kombinací odděleného sběru nebo předběžnou úpravou, např. šrédrováním. Některé druhy fluidních loží (např. otáčivé fluidní lože) mohou přijímat odpady obsahující částice větších rozměrů než ostatní. V těchto případech je potřebné jen hrubé snížení velikosti odpadů. Předběžné zpracování se běžně skládá z třídění a drcení velkých inertních částic a šrédrování. Lze také požadovat odstranění železných a neželezných materiálů. Velikost částice odpadu musí být malá, často s maximálním průměrem 50 mm [11].



**Obr. 11** Pevné resp. Probublávané fluidní lože [11]

### 3.3 Legislativa

Odvětví spalování odpadů je po řadu let předmětem rozsáhlých legislativních požadavků na regionální, národní a evropské úrovni. V plánu odpadového hospodářství ČR bylo stanoveno snížit hmotnostní podíl odpadů ukládaných na skládky o 20 % do roku 2010 ve srovnání s rokem 2000. Díky tomu množství odpadů na skládkách rok od roku neustále klesá. Jedním z dalších zákonů, který kladně přispěl k naší odpadové politice, byl zákon č. 185/2001 Sb. O odpadech, kde se např. vyskytuje rozšíření počtu druhů odpadů, které se nesmějí ukládat na skládky. Jejich přehled dnes uvádí příloha č. 8 vyhlášky MŽP č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady. Odpady lze spalovat pouze jsou-li splněny podmínky stanovené právními předpisy o ovzduší a o hospodaření energií. Za energetické využití je brán odpad tehdy, jestliže nepotřebuje ke spalování podpůrné palivo a vznikající teplo se použije pro vlastní potřebu nebo pro potřebu cizích osob.

Zákon č. 477/2001 Sb., o obalech a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, který ukládá zvyšovat podíl recyklace a celkového využití vzniklého obalového odpadu a následně tak omezuje jeho skládkování.

Další z řady zákonů je zákon č. 86/2002 Sb., který rozdělil spalovny podle druhu spalovaného materiálu do tří kategorií. Jedná se o spalovny nebezpečných odpadů, spalovny komunálních odpadů a spalovny jiných než nebezpečných a komunálních odpadů.

Nářízení vlády č. 197/2003, kde byly stanoveny body (nepodporovat výstavbu skládek ze státních rozpočtů, dodržovat zákaz ukládat na skládky BRKO) které, by měli pomoci odpadové politice ČR.

Usnesení Evropského parlamentu z roku 2003, kde se hovořilo o energetické využití odpadu příspěvkem pro šetření přírodních zdrojů. Jedním z dalších bodů bylo od roku 2010 zakázat skládkování předem neupraveného odpadu s obsahem biologicky rozložitelných složek, nebo od roku 2015 zakázat skládkování papíru, lepenky, skla, textilu, dřeva, plastů, kovů, pryže, korku, porcelánu, betonu, cihel a dlaždic [13].



## 4. Kritéria pro hodnocení efektivity výroby ve spalovnách komunálních odpadů

Při hodnocení efektivity výroby ve spalovnách je nutné si uvědomit veškeré energetické vstupy a energetické výstupy a během výpočtu je brát v potaz.

### Energetické vstupy

V situacích, kdy jsou poskytovány ekonomické pobídky na podporu produkce elektrické energie ze spaloven odpadů (např. jako zdroj obnovitelné energie) se mohou vyskytnout cenové rozdíly mezi importovanou a exportovanou elektrickou energií. Spalovny mohou potom zvolit (z ekonomických důvodů) export veškeré vyrobené elektřiny a import ze sítě toho podílu elektřiny, který je potřebný k chodu samotného spalovacího procesu. V tomto případě bude mít spalovna často odlišné toky elektřiny pro vstup a výstup.

### Vstupy páry, tepla a horké vody

V procesu může být použita pára (teplo nebo horká voda). Zdroj může být externí nebo cirkulační.

### Vstupy paliva

Jsou požadována pro několik účelů. Např. konvenční paliva jsou spotřebována

k následujícím účelům :

- Zvýšení teplot ve spalovací komoře na požadovanou úroveň předtím, než se naplní odpadem.
- Předehřátí spalovacího vzduchu.
- Ohřátí spalin k úpravě ve specifických přístrojích, jako jsou přístroje pro selektivní katalytickou redukci nebo tkaninové filtry.

### Energetické výstupy

#### Elektřina

V samotném spalovacím procesu lze použít některý z výstupů produkce elektřiny.

#### Paliva

Palivo (syntézní plyn) je vyrobeno v zařízeních ke zplyňování resp. pyrolýze a může být exportováno nebo spalováno na místě (obvyklé) nebo bez využití energie.

#### Pára

Teplo uvolněné při spalování odpadu je často využito k prospěšným účelům, např. k produkci páry nebo horké vody pro průmyslové uživatele i domácnosti, k externí produkci elektřiny či dokonce jako hnací síla chladicích systémů. Zařízení ke kombinované produkci tepla a elektřiny (CHP) poskytují teplo i elektřinu. Pára resp. horká voda, které se nepoužijí ve spalovně, mohou být vyvozeny. [11]

## 4.1 Hodnocení kogeneračních systémů

Pojem kogenerace (CHP-Combined heat and power) se zabývá výrobou dvou různých forem energie. Obvyklé se mluví o výrobě elektřiny a tepla v jednom jediném procesu. Energie, která se uvolní spalováním paliva, se následně užívá k výrobě elektrické energie a dále k výrobě tepla. Při této kombinaci výroby tepelné a elektrické energie lze dosáhnout účinnosti až 90 %. Při srovnání s výrobou samostatné energie v běžných elektrárnách se dosahuje více jak dvojnásobné účinnosti procesem kogenerace. Naopak při výrobě tepla spalováním fosilních paliv dosahujeme stejné účinnosti jako u kogenerace, ale na druhou stranu se ztrácí energie paliva, tj. schopnost vykonat pomocí uvolněného tepla práci.

Výhody kogenerace:

- přispívá k úspoře primárních paliv,
- vysoká účinnost,
- přispívá k zajištění bezpečnosti dodávky energie,
- snižuje závislost EU na externí dodávce energie[1].

Při hodnocení kogeneračního systému se často užívá celková termická účinnost, kterou popisuje vztah (1), který představuje součet kogenerační výroby elektřiny a tepla:

$$\eta_{tot}^{CHP} = \frac{Q_{exp.el} + Q_{exp.th}}{PE^{CHP}} = \frac{Q_{exp.el}}{PE^{CHP}} + \frac{Q_{exp.th}}{PE^{CHP}} = \eta_{el}^{CHP} + \eta_{th}^{CHP}, \quad (1)$$

kde  $Q_{exp.el}$  vyrobená elektrická energie, ( MWh )

$Q_{exp.th}$  vyrobené teplo, teplo dodané do procesu, ( MWh )

$PE^{CHP}$  energie obsažená v palivu, ( MWh )

$\eta_{el}^{CHP}$  účinnost kogenerační výroby elektřiny, ( - )

$\eta_{th}^{CHP}$  účinnost kogenerační výroby tepla, ( - ) [1].

Podle jiných kritérií, dosahují vysoké účinnosti i systémy, které produkují vysoké množství tepelné energie a jen nepatrné množství elektrické energie, která je brána jako hodnotnější druh energie. V takovém to případě se celková termická účinnost nahrazuje čistou termickou účinností, která je popsána vztahem (2).

$$\eta_{tot.net}^{CHP} = \frac{Q_{exp.el}}{PE^{CHP} - Q_{exp.th}} \quad (2)$$

Tento vztah doplňuje výpočet účinnosti o tzv. teplotní modul, který je popsán vztahem (3). Teplotní modul má zásadní význam při návrhu kogeneračních systémů. Pro některé typy (plynový motor, protitlaká turbína) je teplotní modul závislý pouze na navrhovaných parametrech a je tedy dále neměnný. U jiných zařízení lze měnit za provozu a přizpůsobit jeho změnou dané zařízení aktuálním energetickým požadavkům. [1]

$$\sigma = \frac{Q_{\text{exp.el}}}{Q_{\text{exp.th}}} \quad (3)$$

V tab. 4 je přehled používaných teplotních modulů.

Typ kogeneračního zařízení	Teplotní modul	Celková termická účinnost (%)
Parní turbína protitlaková	0.15 – 0.25	60 - 80
Kondenzační turbína s regulovaným odběrem páry	0.3 - 0.45	
Plynová turbína	0.2 – 0.8	65 - 87
Kogenerační jednotka na bázi motoru s vnitřním spalováním	0.7 – 1.2	70 - 90
Paroplynová teplárna	0.6 – 2.0	65 - 90

*Tab. 4 Přehled parametrů kogeneračních zařízení[1]*

## 4.2 Kriteria pro hodnocení jednotek WTE

Při hodnocení energetických vstupů a výstupů ve spalovnách odpadů byly několika různými organizacemi vytvořeny systémy, pro výpočet účinnosti komunálních spaloven odpadů, které jsou uvedeny v tab.5

	Název kritéria	Symbolický zápis	Waste to energy system
Sdružení provozovatelů komunálních spaloven	Plant efficiency factor	$Pl_{ef} = \frac{Q_{prod} - (E_f + I_{imp})}{E_f + I_{imp} + I_{circ}}$	$Pl_{ef} > 1$
	Energy utilization rate	$\eta = \frac{Q_{prod} - (E_f + I_{imp})}{fb(E_w + E_f)}$	$\eta > 0.5$
Referenční dokument o nejlepších technikách spalování odpadů (BREF)	Plant efficiency	$Pl_{ef} = \frac{Q_{exp} - (E_f - I_{imp})}{E_f + I_{imp} + I_{circ}}$	-
Návrh novely směrnice o dopadech	Energy efficiency	$\eta_e = \frac{Q_{prod} - (E_f + I_{imp})}{fb(E_w + E_f)}$	$\eta_e > 0.65 ; \eta_e > 0.6$

**Tab. 5** Porovnání kritérií pro hodnocení spaloven

kde  $Q_{prod}$  celková výše vyrobené energie (tepelné, elektrické), [MWh]  
 $Q_{exp}$  celkové množství exportované energie (tepelné, elektrické), [MWh]  
 $I_{imp}$  importovaná energie nepodílející se na výrobě tepla), [MWh]  
 $E_f$  importovaná energie do spalovacího procesu), [MWh]  
 $I_{circ}$  energie cirkulovaná, která je nutná pro proces), [MWh]  
 $E_w$  energie uvolněná spalováním odpadu), [MWh]  
 $f_b$  koeficient zohledňující tepelné ztráty spalovacího procesu), [MWh] [1].

Kriterium Plant efficiency factor definuje poměr mezi produkovanou energií získanou spalováním odpadu a spotřebovanou energií, která je vynaložena pro vlastní proces. Pokud je  $Pl_{ef}$  větší jak 1 znamená to, že daná spalovna vyrobí více energie, jak spotřebuje. Spalovna tedy pracuje jako energetický zdroj.

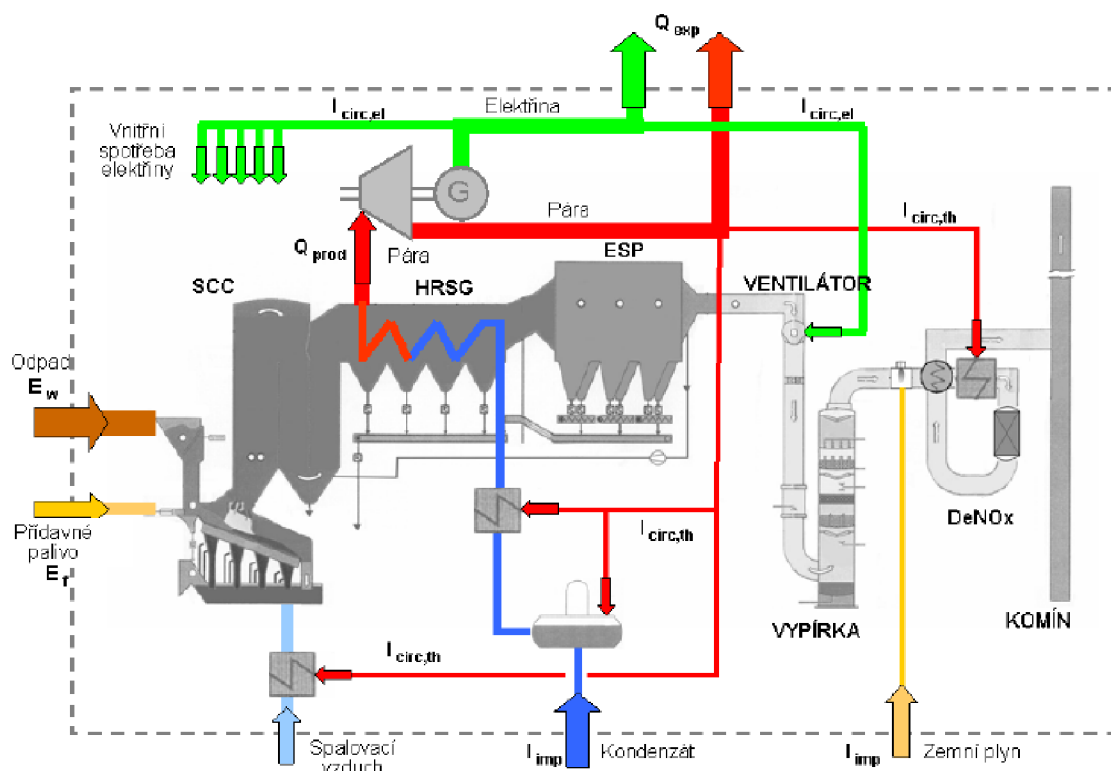
Kriterium Energy utilization rate definuje, jaká část z celkové uvolněné energie ve spalovací komoře je využita. Definice kritérií v dalších dvou zdrojích se liší pouze v tom, že se dosazuje energie exportovaná na místo energie produkované. Všechny tato kritéria jsou bezrozměrná.

Díky návrhu směrnice o odpadech bylo vytvořeno kritérium Energy efficienci. To zahrnuje spalovny, které jsou vyhrazeny pro zpracování pevného komunálního odpadu, pokud se jejich energetická účinnost rovná nebo převyšuje hodnotu :

- 0,60 v případě zařízení, která jsou v provozu a mají povolení v souladu s platnými právními předpisy Společenství před 1. lednem 2009
- 0,65 v případě zařízení, která mají povolení po 31. prosinci 2008[1]

## 5. Kritéria pro hodnocení efektivity výroby ve spalovnách komunálních odpadů

Zařízení na energetické využití odpadů je společností TERMIZO a.s. provozováno od roku 1999. Kapacita zařízení je v podstatě od počátku uvedení do provozu naplněna na 95 – 100 %. Denní kapacita spalovny činí zhruba 300 t a výkon uvolněný spalováním paliva je přibližně 33 MW. Spalovna jako celek byla konstruována pro spalování odpadu s výhřevností 6,5 až 12 MJ/kg se jmenovitým hodinovým výkonem 12 t/h. Odpad je spalován ve spalovací komoře při teplotách 850 - 1000 °C. Přehřátá pára vyrobená v kotli má tlak 4,1 Mpa a teplotu 400 °C. Vyrobená pára je navedena do protitlaké turbíny, v níž expanzí na tlak 1 MPa a teplotou 250 – 270 °C je vyráběna elektrická energie, která slouží pro export či vlastní provoz. Pára upravená zástříkem kondenzátu na teplotu 230 °C je dodávána do externí parní sítě, část páry se spotřebovává ve vlastní technologii pro ohřev napájecí vody a nástřiku do kotle, ohřev části spalovacího vzduchu a další technologické účely. Hlavní energetické toky ve spalovně odpadů se nachází na obr. 12. Vstupní údaje, na základě kterých byl proveden výpočet efektivity výroby v komunální spalovně odpadů se nacházejí v tab. 6. Měrné entalpie byly vyhledány pomocí parních tabule, kde byli zadány hodnoty tlaku a teploty[1].



Obr. 12

Parametr	Jednotka	Číslo	Informace
Množství zpracovaného odpadu	t/r	88956	Pro rok 2004
Množství vyrobené páry	t/r	269760	Pro rok 2004
Teplota spalin za kotlem	°C	250	230 – 270 °C
Měrná entalpie vyrobené páry	GJ/t	3.214	400°C , 4,1 MPa
Měrná entalpie napájecí vody	GJ/t	0.257	125 °C

**Tab. 6** Parametry spalovny Termizo, a.s pro rok 2004

$$LHV = 1,133 \cdot \frac{m_{st,w}}{m_w} \cdot i_{st\ hp\ net} + 0,008 \cdot T_b - 0,801$$

$$= 1,133 \cdot \frac{269760}{88956} \cdot (3,214 - 0,5277) + 0,008 \cdot 250 - 0,801 \Rightarrow LHV = 10,4\ GJ/t$$

kde	$LHV$	– výhřevnost odpadu , [Gj/t]
	$M_{st,w}$	– množství vyrobené páry z odpadu bez podílu páry vyrobené z importované energie $E_f$ , [t/r]
	$m_w$	– množství zpracovaného odpadu, [t/r]
	$T_b$	– teplota spalin na výstupu z kotle, [°C]
	$i_{st\ hp\ net}$	– rozdíl entalpie páry na výstupu z kotle a napájecí vody na vstupu do kotle. [GJ/t]

Z výpočtu tedy vyplývá, že průměrná výhřevnost odpadů činí 10,4 GJ/t. Pro výpočet celkové vyrobené energie ve formě tepla, když známe celkovou produkci páry 269 760 t/r vynásobíme ji měrnou entalpií 3,2140 GJ/t. Tímto způsobem se dostaneme na hodnotu 867 008 GJ/r. Hodnoty, které jsme dopočítali z výroční zprávy komunální spalovny odpadů pro rok 2004 jsou uvedeny v tab. 7.

Parametry	Jednotky	Ukazatele pro rok 2004	Informace
Energie dodaná odpadem $E_w$	GJ/t	10,492	Energie uvolněná spalováním odpadu
Celková výše vyrobené energie $Q_{prod}$	GJ/t	9,754	Celková výroba energie ve formě páry
Celkové výše exportované energie $Q_{exp}$	GJ/t	7.825	Celkové množství exportované energie
Importovaná energie ve formě paliva $I_{imp}$	GJ/t	0,0124	Nepodílí se na výrobě el. energie
Energie cirkulující (elektrická i tepelná) $I_{circ}$	GJ/t	3,859	Cirkulovaná energie ,která je nutná pro proces
Importovaná energie ve formě paliva $E_f$	GJ/t	0,045	Zemní plyn
Ukazatel účinnosti výroby energie $Pl_{ef}$	-	2.514	Plant efficiency factor
Ukazatel účinnosti využití energie $\eta$	%	96.33	Energy utilization rate
Ukazatel účinnosti výroby energie $Pl_{ef}$	-	1.983	Plant efficiency
Ukazatel účinnosti využití energie $\eta_e$	%	96.33	Energy efficiency

**Tab. 7** Měrné provozní ukazatele spalovny TERMIZO a vyhodnocení účinnosti výroby a využití energie za rok 2004.

Výpočet ukazatele účinnosti podle kriteria Plant efficiency pro rok 2004

$$Pl_{ef} = \frac{Q_{prod} - (E_f + I_{imp})}{E_f + I_{imp} + I_{circ}} = \frac{9.90392 - (0.045 + 0.0124)}{0.045 + 0.0124 + 3.859} = 2.514$$

Výpočet ukazatele účinnosti podle kriteria Energy utilization rate pro rok 2004

$$\eta = \frac{Q_{prod} - (E_f + I_{imp})}{f_b(E_w + E_f)} = \frac{9.90392 - (0.045 + 0.0124)}{0.97(10.492 + 0.045)} = 0.9633$$

Výpočet ukazatele účinnosti podle kriteria Plant efficiency pro rok 2004

$$Pl_{ef} = \frac{Q_{exp} - (E_f + I_{imp})}{E_f + I_{imp} + I_{circ}} = \frac{7.825 - (0.045 + 0.0124)}{0.045 + 0.0124 + 3.859} = 1.984$$



Výpočet ukazatele účinnosti podle kriteria Energy efficiency pro rok 2004

$$\eta_e = \frac{Q_{prod} - (E_f + I_{imp})}{f_b(E_w + E_f)} = \frac{9.90392 - (0.045 + 0.0124)}{0.97(10.492 + 0.045)} = 0.9633$$

Vypočtené hodnoty všech parametrů splňují dané požadavky na efektivnost výroby a využití energie a to se značným přesahem, jedná se tedy o energetické využití odpadu.

## **6.Závěr**

Jedním z prvotních cílů této práce bylo vysvětlit principy získávání energie z obnovitelných zdrojů. Informovat o stavu OZE v ČR a legislativě, kterou v tomto směru bude ČR do budoucna prosazovat. Práce byla po vysvětlení úvodního tématu zacílena do metodiky získávání energie pomocí spalování odpadů. Byly zde popsány odlišné druhy metod získávání energie z odpadů s následnými principy hodnocení efektivnosti výroby v těchto spalovnách. Praktickým výstupem z této práce bylo vyhodnocení efektivnosti výroby spalovny komunálních odpadů (Termizo,a.s), na základě ročních údajů (2004). Daná spalovna na základě provedených výpočtů splňuje požadavky na efektivnost výroby a využití energie.

## 7. Seznam použitých zdrojů

- [1] MARTIN, Pavlas. *SYSTÉM PRO VÝPOČET TECHNOLOGICKÝCH PARAMETRŮ PROCESŮ VČETNĚ ENERGETICKÝCH ASPEKTŮ*. [s.l.], 2008. 109 s. VUT FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ. Vedoucí diplomové práce PROF. ING. Petr Stehlík, CSc.
- [2] Odbor05200. *Mpo: Zpráva o plnění indikativního cíle výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů* [online]. 2009 [cit. 2009-05-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.mpo.cz/dokument25358.html>>.
- [3] ARCHALOUS, Martin. *Nazeleno* [online]. 2008 [cit. 2008-09-22]. Dostupný z WWW: <[www.nazeleno.cz/Files/FckGallery/cez.zip/03.jpg](http://www.nazeleno.cz/Files/FckGallery/cez.zip/03.jpg)>.
- [4] *Alternativní zdroje energi* [online]. 2005 [cit. 2005-04-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.alternativni-zdroje.cz/vetrne-elektrarny.htm>>.
- [5] *Alternativní zdroje energi* [online]. 2005 [cit. 2006-07-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.alternativni-zdroje.cz/vodni-geotermalni-energie.htm>>.
- [6] *oveko : Obnovitelné zdroje energie v České republice* [online]. 2008 [cit. 2008-11-11]. Dostupný z WWW: <[http://www.oveko.cz/web/art\\_22202/obnovitelne-zdroje-energie-v-ceske-republice.aspx](http://www.oveko.cz/web/art_22202/obnovitelne-zdroje-energie-v-ceske-republice.aspx)>.
- [7] FERESH, Jaroslav, HORATIUS, David. *Cenia : Možnosti využití obnovitelných zdrojů energie v České republice* [online]. 2006 [cit. 2006-08-17]. Dostupný z WWW: <[http://www.cenia.cz/web/www/cenia-akt-tema.nsf/\\$pid/MZPMSFOFVRTC](http://www.cenia.cz/web/www/cenia-akt-tema.nsf/$pid/MZPMSFOFVRTC)>.
- [9] Odbor 05300. *Mpo : Primární energetické zdroje* [online]. 2009 [cit. 2009-03-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.mpo.cz/dokument57026.html>>.
- [10] KYNCLOVÁ, Hana. *Mpo : Akční plán pro biomasu* [online]. 2005 [cit. 2005-12-29]. Dostupný z WWW: <<http://www.mpo.cz/zprava1078.html>>.
- [11] *BREF : Referenční dokument o nejlepších dostupných technologiích spalování odpadů* [online]. 2005 [cit. 2005-07-02]. Dostupný z WWW: <<http://eippcb.jrc.es/>>.
- [12] KNÁPEK, Jaroslav, VAŠÍČEK, Jiří, HAVLÍČKOVÁ, Kamila. *Obnovitelné zdroje energie. Lesnická práce* [online]. 2003, roč. 82, č. 5 [cit. 2003-04-25]. Dostupný z WWW: <<http://lesprace.silvarium.cz/content/view/549/59/>>.
- [13] *Ministerstvo životního prostředí ČR : Odpadové hospodářství* [online]. 2005 [cit. 2005-09-08]. Dostupný z WWW: <[http://www.env.cz/cz/odpadove\\_hospodarstvi](http://www.env.cz/cz/odpadove_hospodarstvi)>.

## 8. Seznam použitých zkratk

<b>zkratka</b>	<b>význam</b>
OZE	obnovitelné zdroje energie
PEZ	primární energetický zdroj
BRKO	biologický rozložitelný komunální odpad
MŽP	Ministerstvo životního prostředí ČR
CHP	společná výroba tepla a elektřiny
WTE	termické zpracování s využitím energie
MBU	procesy mechanicko-biologické úpravy

## 9. Seznam použitých symbolů

<b>zkratka</b>	<b>význam</b>	<b>jednotka</b>
$Q_{exp,el}$	vyrobená elektrická energie	[MWeI]
$Q_{exp,th}$	vyrobené teplo, teplo dodané do procesu	[MWhth]
$PE^{CHP}$	primární energie spotřebovaná v kogeneračním zařízení	[MWh]
$\eta_{el}^{CHP}$	účinnost kogenerační výroby elektřiny	[-]
$\eta_{th}^{CHP}$	účinnost kogenerační výroby tepla	[-]
$\sigma$	teplárenský modul power-to-heat ratio	[-]
$Q_{prod}$	celková výše vyrobené energie (tepelné i elektrické)	[MWh]
$Q_{exp}$	celkové množství exportované energie (tepelné i elektrické)	[MWh]
$I_{imp}$	importovaná energie nepodílející se na výrobě tepla	[MWh]
$E_f$	importovaná energie do spalovacího procesu	[MWh]
$I_{circ}$	energie cirkulovaná (elektrická i tepelná), která je nutná pro proces	[MWh]
$E_w$	energie uvolněná spalováním odpadu	[MWh]
$f_b$	koeficient zohledňující tepelné ztráty spalovacího procesu	[-]
$Pl_{ef}$	Plant efficiency factor	[-]
$Pl_{ef}$	Plant efficiency	[-]
$\eta$	Energy utilization rate	[-]
$\eta_e$	Energy efficienci	[-]
$M_{st,w}$	množství vyrobené páry z odpadu bez podílu páry vyrobené z importované energie $E_f$	[t/r]
$m_w$	množství zpracovaného odpadu	[t/r]
$T_b$	teplota spalin na výstupu z kotle	[°C]
$i_{st, hp, net}$	rozdíl entalpie páry a napájecí vody	[GJ/t]