**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**
**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektroenergetiky a ekologie**

# BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

## Kogenerační technologie ve spalovnách komunálních odpadů

**Martin Hejtmánek** **2015**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
**Fakulta elektrotechnická**
Akademický rok: **2014/2015**

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

| | |
|---|---|
| Jméno a příjmení: | **Martin HEJTMÁNEK** |
| Osobní číslo: | **E11B0280P** |
| Studijní program: | **B2612 Elektrotechnika a informatika** |
| Studijní obor: | **Technická ekologie** |
| Název tématu: | **Kogenerační technologie ve spalovnách komunálních odpadů** |
| Zadávající katedra: | **Katedra elektroenergetiky a ekologie** |

Zásady pro vypracování:

1. Popište princip kombinované výroby elektřiny a tepla (KVET).
2. Shrňte současnou legislativu ČR týkající se energetického využívání odpadů.
3. Posuďte vhodnost využití KVET ve spalovnách odpadů z energetického a ekonomického hlediska a analyzujte dopad na životní prostředí.
4. Zhodnoťte vhodnost energetického využití komunálního odpadu v budoucnosti.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lenka Raková**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2015**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan

Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

## Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na kogenerační technologii ve spalovnách komunálního odpadu. V první části práce je provedeno obecné seznámení s problematikou kogenerace a popsán princip výroby elektrické energie a tepla. Dále je zde shrnuta legislativa ČR zabývající se energetickým využitím komunálního odpadu. V hlavní části práce je posouzena vhodnost využití kogenerace ve spalovnách odpadů z energetického, ekonomického a ekologického hlediska. V závěru práce je pak ukázán pravděpodobný vývoj energetického využití komunálního odpadu v budoucnosti.

## Klíčová slova

Kogenerace, spalovna, komunální odpad, energetické využití odpadu, vliv na životní prostředí, ekonomické zhodnocení

## Abstract

The bachelor thesis is focused on cogeneration technology in municipal waste incinerators. The first part is a general introduction to the issue of cogeneration and described the principle of electricity and heat production. The following is a summary of Czech legislation dealing with municipal waste energy recovery. The main part evaluates the suitability of cogeneration in waste incineration plants from the energy, economic and environmental perspective. In Conclusion the bachelor thesis includes an evaluation of the appropriate use of energy from municipal waste in the future.



## Keywords

Cogeneration, incinerator, municipal waste, energy recovery, environmental impact, economic evaluation

# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 5.6.2015 Martin Hejtmánek

# Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí mé bakalářské práce Ing. Lence Rakové za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále patří poděkování celé mé rodině, která mě po celou dobu studia podporovala.

# Obsah

**OBSAH** ..... **8**

**SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK** ..... **9**

**ÚVOD** ..... **11**

**1 KOMBINOVANÁ VÝROBA ELEKTRICKÉ ENERGIE A TEPLA** ..... **12**

1.1 PRINCIP A TYPY KOGENERACE ..... 12
1.2 ZÁKLADNÍ TEPELNÉ OBĚHY ..... 15
*1.2.1 Carnotův cyklus* ..... *17*
*1.2.2 Rankine– Clausiův cyklus* ..... *17*
1.3 PARNÍ TURBÍNY ..... 19
*1.3.1 Kondenzační turbína* ..... *20*
*1.3.2 Protitlaková turbína* ..... *21*
1.4 ENERGETICKÉ PARAMETRY A ÚČINNOST KOGENERACE ..... 22
1.5 VÝHODY A NEVÝHODY KOGENERACE ..... 27
1.6 VHODNÁ PALIVA ..... 28

**2 LEGISLATIVA** ..... **31**

**3 VYUŽITÍ KOMUNÁLNÍHO ODPADU V ČESKÉ REPUBLICE** ..... **34**

3.1 ODPADOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ V ČR ..... 34
3.2 SPALOVNY KOMUNÁLNÍHO ODPADU V ČR ..... 38
*3.2.1 Technologie ve spalovnách komunálního odpadu* ..... *38*
*3.2.2 Přehled spaloven KO v ČR* ..... *40*

**4 ZHODNOCENÍ VYUŽITÍ KVET VE SPALOVNÁCH KO** ..... **47**

4.1 ENERGETICKÉ ZHODNOCENÍ ..... 47
4.2 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ ..... 50
4.3 DOPAD NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ ..... 54

**5 MOŽNÝ BUDOUCÍ VÝVOJ ENERGETICKÉHO VYUŽITÍ KO V ČR** ..... **57**

**ZÁVĚR** ..... **61**

**SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ** ..... **63**

**PŘÍLOHY** ..... **1**

# Seznam symbolů a zkratek

BRKO ..... biologicky rozložitelný komunální odpad

CZT ..... centrální zásobování teplem

ČR ..... Česká republika

ERÚ ..... Energetický regulační úřad

EU ..... Evropská unie

EVO ..... energetické využití odpadů

KO ..... komunální odpad

KO ..... kondenzátor

KS ..... kogenerační systém

KVET ..... kombinovaná výroba elektrické energie a tepla

m. j. ..... měrná jednotka

MBU ..... mechanicko biologická úprava

OČ ..... oběhové čerpadlo

PEZ ..... primární energetický zdroj

SKO ..... smíšený komunální odpad

T ..... turbína

TAP ..... tuhé alternativní palivo (

TUV ..... teplá užitková voda

TZ ..... tepelný zdroj

TZL ..... tuhé znečišťující látky

VOC .....

ZEVO ..... zařízení pro energetické využití odpadů

$\eta^{ODV}$ $(-)$ ..... účinnost oddělené výroby

$\eta_E{}^{PAL}$ $(-)$ ..... účinnost transformace paliva při výrobě elektrické energie

$\eta_T{}^{PAL}$ $(-)$ ..... účinnost transformace paliva při výrobě tepelné energie

$\eta^{KVET}$ $(-)$ ..... účinnost kombinované výroby

$\eta_{KVET,E}{}^{PAL}$ $(-)$ .. účinnost transformace paliva při kogenerační výrobě elektrické energie

$\eta_{KVET,T}{}^{PAL}$ $(-)$ ... účinnost transformace paliva při kogenerační výrobě tepelné energie

$q$ (J/kg) ..... teplo

$Q_{PAL}$ $(-)$ ..... množství paliva

$Q_i$ (MJ/m.j.)..... výhřevnost paliva

$Q_s$ (MJ/m.j.) ..... spalné teplo

$i$ (J/kg) ..... entalpie

$p$ (Pa)..... tlak

$P_E$ (MW)..... elektrický výkon

$P_T$ (MW)..... tepelný výkon

$s$ (kJ/kg.K)..... entropie

$T$ (K)..... absolutní teplota

$u$ (J/kg) ..... vnitřní energie

$v$ ($m^2$/kg) ..... objem

$w$ (J/kg) ..... vnější absolutní práce

$w_t$ (J/kg)..... technická práce

# Úvod

Bakalářská práce je zaměřena na kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla ve spalovnách komunálních odpadů. Komunální odpad se dá do jisté míry považovat za obnovitelný zdroj energie, jelikož neustále dochází k jeho produkování. Má velký energetický potenciál. Jeho výhřevnost je takřka stejná jako výhřevnost hnědého uhlí.

Díky spalování komunálního odpadu dochází nejen k úspoře fosilních paliv, která nejsou nevyčerpatelná a jejichž zásoby na Zemi se rapidně snižují, ale i k ochraně životního prostředí, a to zejména předcházením vzniku nových a rozšiřováním stávajících řízených i neřízených skládek KO.

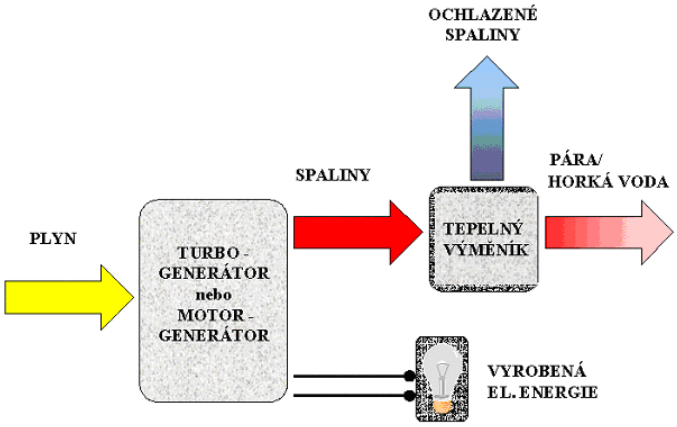
V České republice využívají komunální odpad pouze tři spalovny, spalovna v pražských Malešicích provozovaná společností Pražské služby a.s., spalovna Termizo, a.s. v Liberci a spalovna SAKO, a.s. sídlící v Brně.

Cílem této práce je seznámit se s principy kogenerace, určit její výhody, nevýhody a účinnost, posoudit vhodnost aplikace kombinované výroby elektrické energie a tepla ve spalovnách komunálních odpadů, a to z energetického, ekologického a ekonomického hlediska, a nastínit pravděpodobný vývoj energetického využití komunálního odpadu v budoucnosti.

# 1 Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla

## 1.1 Princip a typy kogenerace

Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla (KVET) nazývaná také kogenerace, je založena na principu sdružené výroby elektrické energie a tepla probíhající v jednom energetickém zařízení, viz Obr. 1.1. Díky tomu dochází k vyššímu využití energetického potenciálu paliva, nižšímu zatížení životního prostředí a snížení ekonomické náročnosti výroby, zejména z hlediska provozních nákladů. Kogenerační technologie mohou být využity v podnikání či pro vlastní spotřebu. Nejvíce se kogenerační jednotky instalují v městských a průmyslových teplárnách, spalovnách komunálních odpadů, bioplynových stanicích a někdy i v nemocnicích, hotelech apod. Teplo vzniklé při výrobě elektrické energie se využívá k ohřevu teplé užitkové vody (TUV) a k vytápění objektů. [1]




*Obr. 1.1 Schéma kogenerační jednotky (převzato z [2])*

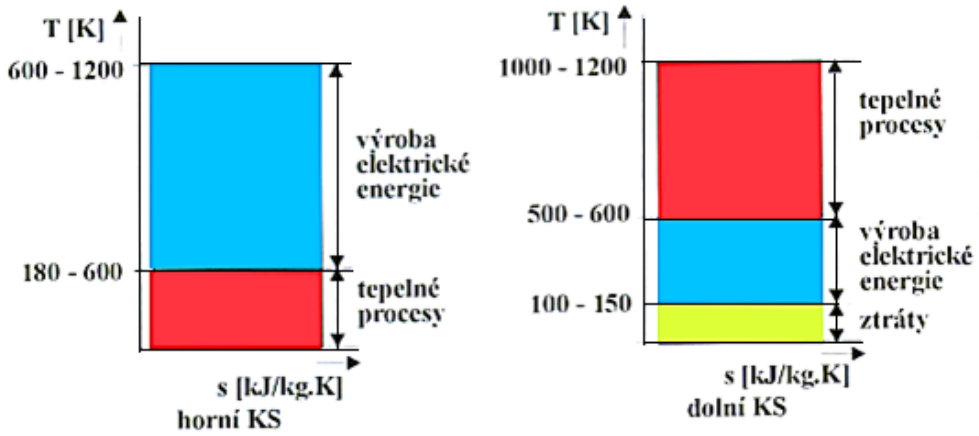
Kogenerační jednotka obsahuje zařízení pro úpravu primárního zdroje (paliva), primární jednotku, zařízení pro výrobu a úpravu elektrické energie a zařízení pro rekuperaci tepelné energie. [3]

Celý systém výroby a dopravy elektrické energie a užitečného tepla se nazývá kogenerační systém. Obecně lze kogenerační systémy dělit dle pořadí využití produkovaných energií na:

- horní kogenerační systémy,
- dolní kogenerační systémy. [3]

Pokud primárně dochází k zisku tepelné energie v energetickém zařízení, jde o tzv. horní kogenerační systém. Nejprve se teplo o vysokých parametrech využívá k technologickým účelům (ocelárny, sklárny, cementárny, atd.) a poté je zbytková tepelná energie přivedena do energetického zařízení (tepelný motor). Kde se přeměňuje na mechanickou energii (zisk technické práce) a následně na elektrickou energii. Teplo, které je odvedeno z tepelného oběhu lze využívat pro další tepelné účely nebo jde o ztráty vzniklé během transformace pracovní látky. Tento systém se využívá poměrně málo, neboť pro efektivní zisk technické práce (dostatečnou termodynamickou účinnost) a následnou výrobu elektrické energie musí být poměrně vysoká vstupní teplota. Na Obr. 1.2 je v T-s diagramu znázorněna termodynamická změna pracovní látky tepelného oběhu při výrobě elektrické energie. [3]

U dolního kogeneračního systému dochází nejdříve k výrobě elektrické energie. Po expanzi v turbíně se v rámci tepelného oběhu odebere pracovní látce část tepla, čímž se získá užitečná tepelná energie využitelná pro teplárenské účely. Jelikož jsou u tohoto systému snadněji zaručeny potřebné parametry páry na vstupu do turbíny, je využíván častěji a lze se s ním setkat ve většině větších energetických zařízení (teplárnách, klasických uhelných či paroplynových elektrárnách, apod.). [3]




*Obr. 1.1 Teploty u horního a dolního KS [3]*

Dále je možné kogenerační technologie členit dle použitého primárního paliva (obnovitelné a neobnovitelné zdroje), účelu využití (základní, záložní, špičkové, rezervní a specifické), dle technologie a efektivnosti nasazení a dle maximálního dosažitelného výkonu:

- mikrokogenerace (do 50 kW),
- minikogenerace (do 500 kW),

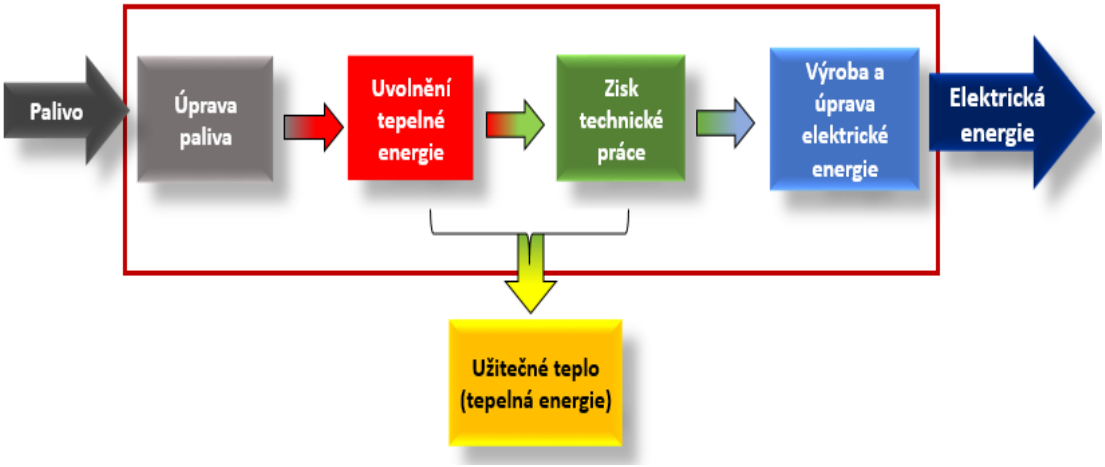
- kogenerace malého výkonu (do 1 MW),
- kogenerace středního výkonu (do 50 MW),
- kogenerace velkého výkonu (nad 50 MW). [3]

Z fyzikálního hlediska se dle počtu transformací energií rozlišuje:

- přímý způsob,
- nepřímý způsob. [3]

Přímý způsob transformace je přeměna primární energie paliva přímo na elektrickou energii. Přímý způsob transformace je uplatněn v technologii palivových článků, ve které probíhá obrácená elektrolýza vody. Množství vyrobené elektrické energie je úměrné proudové zatížitelnosti a velikosti napětí daného palivového článku. Elektrickou energii je možné tedy upravovat na požadované parametry, kterými může být napětí nebo proud. Používání přímých přeměn energie u kogeneračních technologií je jedna z perspektivních možností do budoucna, která prochází neustálým vývojem. [3]

V případě, kdy se přeměna primární energie uskutečňuje pomocí více energetických transformací, jde o tzv. nepřímý způsob transformace (Obr. 1.3). Nejvíce využívaný způsob obsahuje tři postupné transformace. Nejdříve dojde k uvolnění tepelné energie obsažené v palivu, čímž je získávána technická práce, která následně slouží pro mechanický pohon spotřebičů, tepelných motorů. V poslední fázi se mechanická energie transformuje na energii elektrickou. [3]




*Obr. 1.2 Nepřímý způsob transformace primárních zdrojů (převzato z [4])*

Nepřímý způsob transformace se dá dále rozdělit na otevřený a uzavřený oběh. V otevřeném oběhu je pracovní látka pouze v plynném skupenství, které je neměnné. Pracovní látka je označována jako vzdušina a je dodávaná neustále nová. Naopak v uzavřeném tepelném oběhu cirkuluje pracovní látka opakovaně, čímž dochází k oboustranným přechodům mezi plynným a kapalným skupenstvím. Pracovní látkou pro uzavřený oběh bývá nejčastěji voda a její plynná fáze, vodní pára. [3]

## 1.2 Základní tepelné oběhy

Fyzikální princip každého tepelného oběhu je založen na termodynamických zákonech. Změna stavu pracovní látky vždy končí a začíná ve výchozím bodě. Mezi nejznámější tepelné oběhy patří Carnotův a Rankine –Clausiův parní cyklus. [7]

### *První termodynamický zákon*

Je zákon zachování energie pro homogenní soustavy. Udává, že všechny energie jsou si rovny a lze je navzájem transformovat. Látka může vykonat vnější absolutní práci *dw*, pokud se zvýší její vnitřní energie *du* přivedením tepla *dq*: [7]

$$dq = du + dw\ (J/kg) \tag{1}$$

Vnitřní energie látky je suma všech forem energie obsažených v dané látce. A spolu s mechanickou energií látky definují tzv. entalpii *i* (J/kg): [7]

$$di = du + pdv + vdp = dq + vdp\ (J/kg) \tag{2}$$

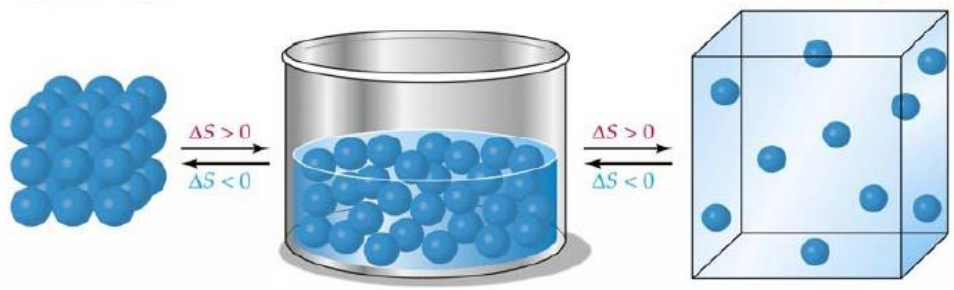
kde *vdp* je tzv. technická práce, kterou je možné na rozdíl od absolutní práce *dw* = *pdv* získat trvale realizací tepelného oběhu. Absolutní práce je vždy vykonávána jednorázovou změnou pracovní látky. Z rovnice (2) je zřejmé, že při konstantním tlaku se přivedené teplo *dq* rovná změně entalpie *di*. [7]

### *Druhý termodynamický zákon*

Definuje účinnost přeměny energie. Udává, že všechny druhy energie lze bez omezení převádět na energii tepelnou, ale energii tepelnou je možno převádět na ostatní pouze omezeně. Tento zákon se také nazývá zákon růstu entropie: [7]

$$dq = Tds\ (J/kg) \tag{3}$$

kde *dq* je množství dodané energie (tepla), T je absolutní teplota, při níž děj probíhá a *ds* je změna entropie. Entropie s (kJ/kg) je míra pravděpodobnosti určitého stavu nebo degradace energie. Jednoduše si to lze představit na příkladu tání ledu. Než se led zcela roztaje, tak přivedením tepla *dq* se bude úměrně zvyšovat jeho entropie *ds*, neboť teplota ledu během procesu tání je skoro stejná. Dojde k růstu degradace energie, přivedené teplo bude využito na změnu skupenství, ale teplota pracovní látky zůstane téměř konstantní. [7]

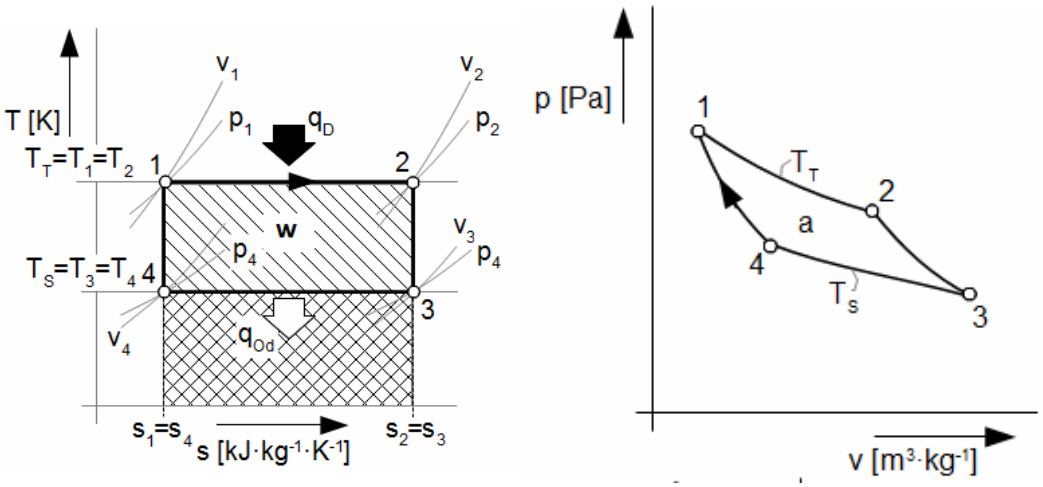



*Obr. 1.4 Míra neuspořádanosti systému - entropie (převzato z [7])*

Entropii si lze představit rovněž, jako míru neuspořádanosti systému viz Obr. 1.4. Pro jednotlivá skupenství je molekulární neuspořádanost různá. Například při přechodu z pevného na kapalné skupenství (led - voda) dochází k narušení pevné molekulární mřížky ledu a ke změně jejího uspořádání (zvýšení entropie). Voda má narušenou molekulární mřížku, ale síly mezi molekulami jsou dostatečné velké, aby se udržely pohromadě. Dalším přivedením tepla se voda vypařuje, což znamená, že se vazby mezi molekulami přeruší a dojde k náhodnému uspořádání molekul v prostoru neboli k plynnému skupenství a k dalšímu zvýšení entropie. Při opačném směru změny skupenství bude entropie klesat. [7]

### 1.2.1 Carnotův cyklus

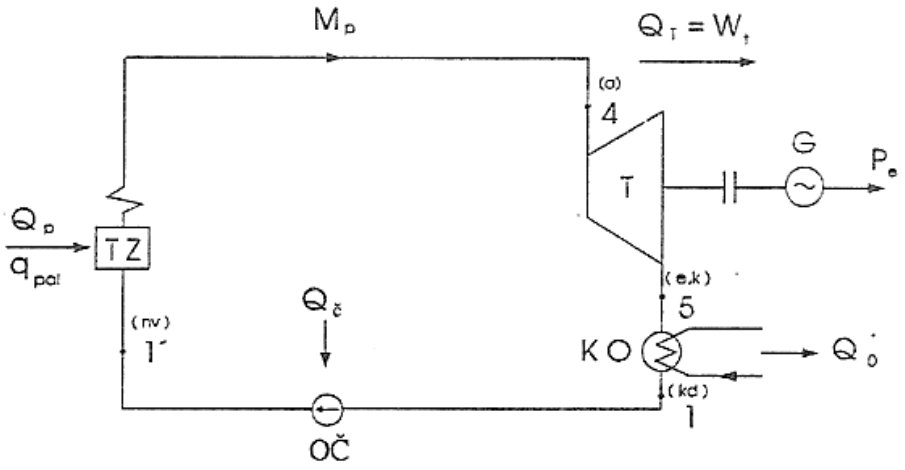
Carnotův cyklus je vratný kruhový děj, který se skládá ze čtyř vratných procesů, dvou izoterm a dvou adiabat. Tento oběh je znázorněn na Obr. 1.5 a 1.6. Mezi body 1 a 2 probíhá izotermická expanze, což je děj, při kterém se plynu dodává teplo. Teplota plynu je konstantní, plyn se rozpíná a entropie roste spolu s objemem a klesajícím tlakem. Při následné adiabatické expanzi (2-3) se pracovní látce nedodává ani neodebírá teplo, tj. nedochází k tepelné výměně. Plyn koná práci, dochází k zisku technické práce, a protože není dodáváno teplo, klesá teplota plynu. Poté nastává izotermická komprese (3-4), kdy je plyn stlačován a teplo odevzdává. Při čtvrtém ději, adiabatické kompresi, (4-1) opět nedochází k tepelné výměně. [8]




*Obr. 1.5, 1.6. Carnotův cyklus (převzato z [9])*

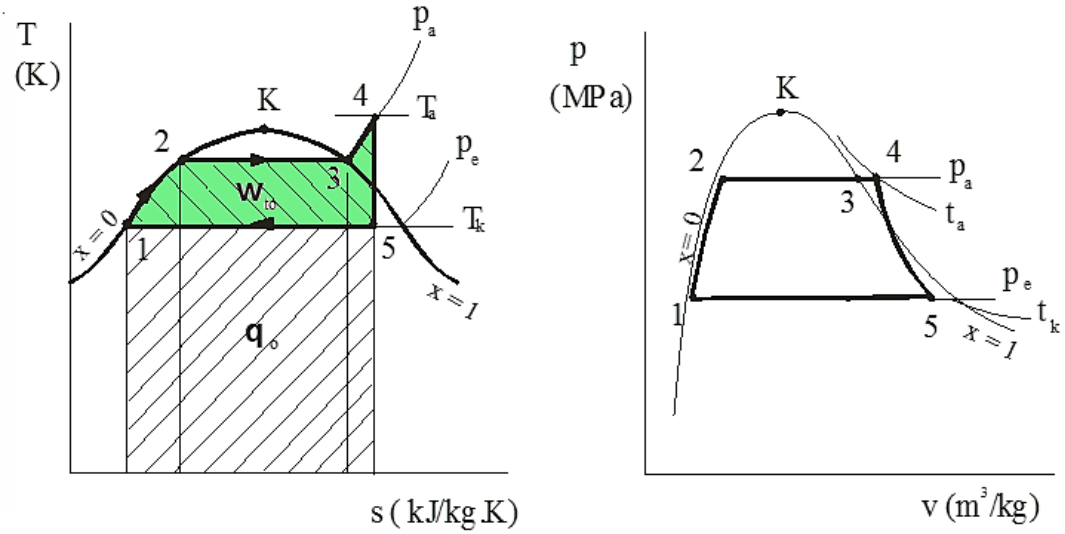
### 1.2.2 Rankine– Clausiův cyklus

Rankine –Clausiův (R-C) parní oběh popisuje změnu skupenství vodní páry a její využití při výrobě elektrické energie v parních a paroplynových elektrárnách. Na schématu a v grafech níže (Obr. 1.8 a 1.9) je vidět průběh R-C cyklu v praxi. [8]




*Obr. 1.7 Blokové schéma elektrárny (převzato z [7])*

Přivedením paliva do kotle (tepelný zdroj - TZ) a jeho následným vznícením dojde k zahřívání vody na bod varu (1-2). Poté dojde k opařování vodní páry za konstantní teploty, dokud se celé množství nevypaří a vznikne tzv. sytá pára (2-3). Následně je vodní pára přivedena do přehřívače (3-4), kde se zvýší její teplota k dosažení vyšší účinnosti tepelného oběhu. Přehřátá pára je odvedena do parní turbíny (T) a zde dochází k expanzi, čímž a roztáčí generátor a mechanická energie je transformována na elektrickou energii. Na výstupu z turbíny je tzv. mokrá pára, neboli směs syté kapaliny a syté páry. Pomocí chladící vody mokrá pára izotermicky kondenzuje v kondenzátoru (KO) a čerpadlem (OČ) se voda přečerpá zpět do kotle, kde dochází k opětovnému ohřevu a vypařování. [8]

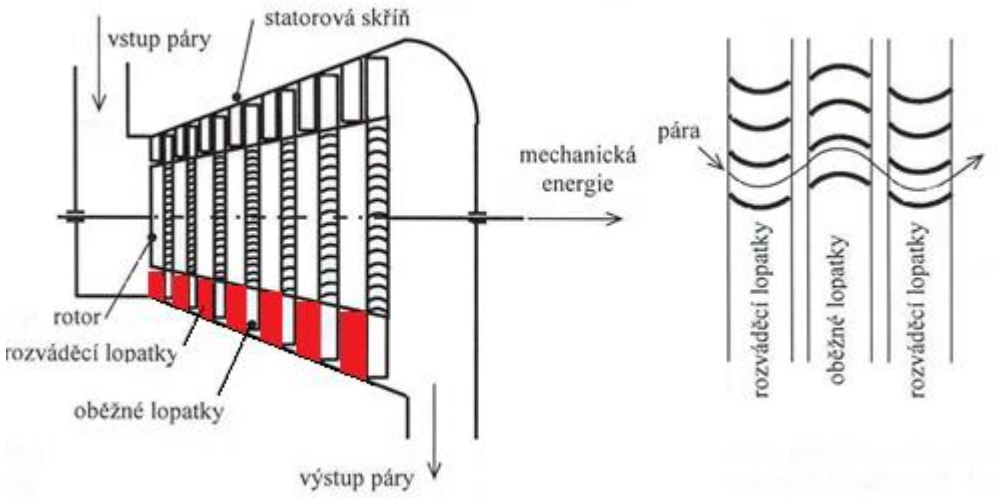



*Obr. 1.8, 1.9 Rankine – Clausiův cyklus v T-s a i-s diagramech (převzato z [6])*

V T-s diagramu (Obr. 1.8) zelená plocha pod křivkou představuje získanou mechanickou energii, která se v generátoru přeměňuje na energii elektrickou. Oblast $q_o$ je množství výparného tepla, které se mokré páře odebírá v kondenzátoru a je odvedeno mimo tepelný oběh. [8]

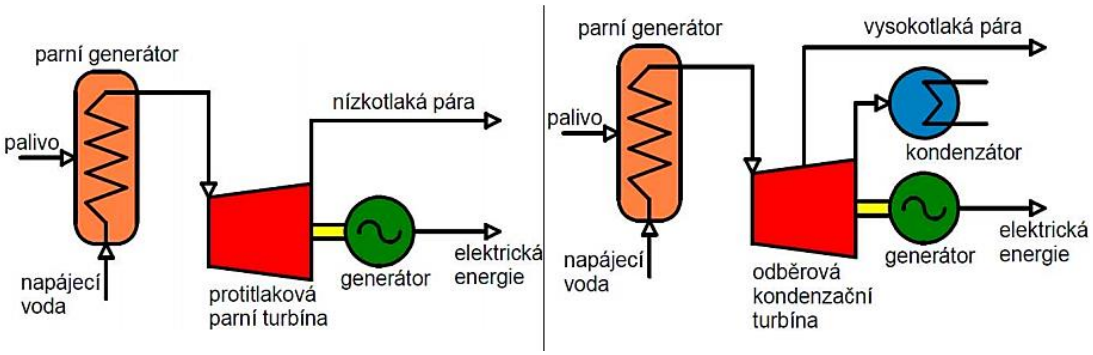
## 1.3 Parní turbíny

Parní turbíny využívají Rankine – Clausiův parní oběh. Přehřátá pára jako pracovní látka expanduje v turbíně na mokrou páru, čímž se získává technická práce. Parní turbíny (Obr. 1.10) jsou rotační lopatkové stroje, kde pára prochází střídavě řadami rozváděcích lopatek spojených se statorovou skříní a řadami oběžných lopatek spojených s rotorem. Při průchodu lopatkovými kanály turbíny se pára rozpíná, její tepelná energie se mění na tlakovou a následně na kinetickou, která se rotorem turbíny transformuje na energii mechanickou. Mechanická energie je přiváděna z hřídele turbíny k elektrickému generátoru. Přenos mechanické práce z turbíny může být buď přímý, nebo přes převodovku, která redukuje otáčky turbíny. U jiných zařízení může být mechanická energie využita pro pohon jiných pracovních strojů, jako jsou čerpadla, turbodmychadel, atd. U nás se vyrábějí parní turbíny do výkonu 1000 MW. [10], [11]




*Obr. 1.10 Parní turbína (převzato z [10])*

Parní turbíny jsou zpravidla součástí větších technologických celků, které slouží ke konkrétním účelům. Systémy s parními turbínami se dělí dle místa odběru páry, množství páry a v závislosti na jejích parametrech na kondenzační a protitlakové (Obr. 1.11, 1.12). V kogeneračních systémech se využívá parní turbína protitlaková a parní turbína kondenzační s odběrem páry pro dodávku tepla. Charakteristické vlastnosti obou turbín jsou uvedeny v příloze 1 a 2. [13], [14]

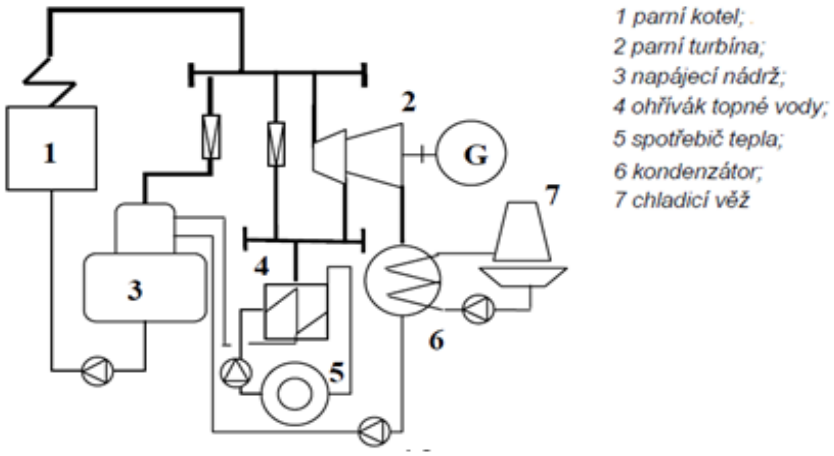



*Obr. 1.11, 1.12 Schéma kondenzační a protitlakové turbíny (převzato z [16])*

### 1.3.1 Kondenzační turbína

U klasického zapojení kondenzační turbíny v R-C oběhu jsou parametry emisní (výstupní) páry poměrně nízké, tím ji nelze využít pro KVET. Dá se však použít kondenzační turbína s regulovaným odběrem páry (Obr. 1.13), kdy je pára z vhodného místa turbíny odebrána v průběhu expanze (regulované odběry) či na výstupu z parního generátoru. [13], [14]

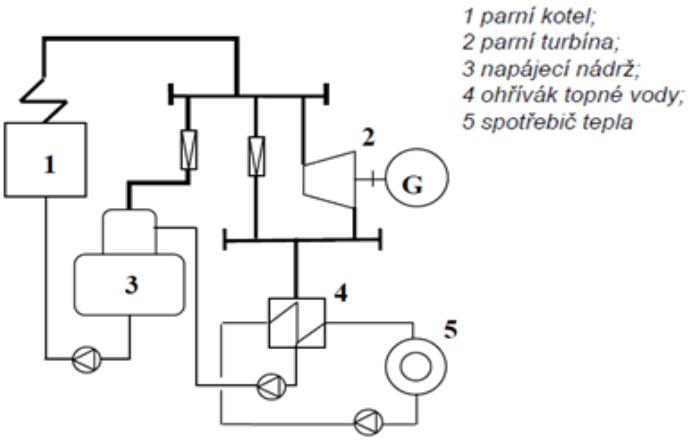
Výhodou je, že se dle poptávky může měnit podíl vyrobené elektrické energie a tepla, s ohledem na minimální požadované průtočné množství páry pro nízkotlakou část turbíny. Nicméně je vždy u tohoto typu zapojení upřednostňována výroba elektrické energie nad dodávkou tepelné energie pro teplárenské účely. Obvyklý rozsah elektrických výkonů u odběrových parních turbosoustrojí je 25 až 200 MW. Nejčastěji se instalují v teplárnách s velkou potřebou elektrické energie nebo v elektrárnách s blízkým a koncentrovaným odbytem tepla. [13], [14]




*Obr. 1.13 Schéma zapojení kondenzační parní turbíny s odběrem páry (převzato z [16])*

### 1.3.2 Protitlaková turbína

Protitlaková turbína je expanzní turbína, ze které pára vystupuje v přehřátém stavu. Pára procházející turbínou koná technickou práci, která je turbínou odebírána a následně alternátorem převedena na elektrickou energii. Přehřátá pára vystupující z turbíny se díky svým parametrům zpravidla dále využívá pro teplárenské účely. Se zvyšujícími se požadavky na teplotu, při které je teplo odebíráno, klesá účinnost transformace na elektrickou energii. Protože je hlavním cílem zajištění dodávky tepla, tak je poměr elektrického a tepelného výkonu nízký. Pára je průchodem kondenzátoru zkapalněna, poté je přivedena přes čerpadlo zpět do kotle a celý cyklu se opakuje. [14], [16]




*Obr. 1.14 Schéma zapojení protitlakové turbíny (převzato z [16]*

Oběh s protitlakovou turbínou znázorněný na Obr. 1.14. je vhodný zejména v teplárenství a ve zdrojích dodávajících páru o různých tlakových úrovních (točivé redukce). Je učena především pro provoz v základním zatížení odběrových diagramů. Protitlaková turbosoustrojí mají obvyklý rozsah elektrických výkonů 3 až 60 MW. [14], [16]

## 1.4 Energetické parametry a účinnost kogenerace

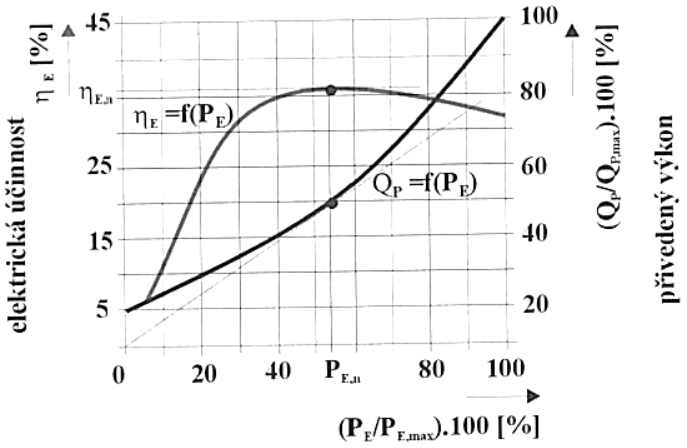
Hlavními energetickými parametry KVET jsou elektrický a tepelný výkon, kvalita elektrické energie a poměr elektrického $P_E$ a tepelného výkonu $P_T$, tzv. modul teplárenské výroby elektrické energie: [16]

$$\sigma = \frac{P_E}{P_T}\ (-) \tag{4}$$

Tento parametr udávající teplárenské využití může být vyjádřen jako podíl procentního zastoupení jednotlivých výkonů (elektrického a tepelného) na celkovém výkonu. Jeho hodnota je velmi důležitá pro volbu velikosti instalovaného elektrického a tepelného výkonu a má vliv na vyhodnocení účinnosti při porovnávání s oddělenou výrobou elektrické energie a tepla (Obr. 1.15). V případě, že není znám skutečný poměr elektrické energie k využitelnému teplu lze použít implicitní hodnoty uvedené v Tab. 1. 1. [16]

*Tab. 1.1 Implicitní hodnoty (převzato z [16])*

| Typ generátoru | Implicitní poměr elektrické energie k teplu |
|---|---|
| Plynová turbína s kombinovaným cyklem s využitím odpadního tepla | 0,95 |
| Parní protitlaková turbína | 0,45 |
| Parní kondenzační odběrová turbína | 0,45 |
| Plynová turbína s využitím odpadního tepla | 0,55 |
| Spalovací motor | 0,75 |




*Obr. 1.15 Účinnosti při porovnávání s oddělenou výrobou elektrické energie a tepla (převzato z [3])*

Účinnost se obecně ve fyzice vypočítá podílem výstupu ke vstupu. Maximální možná účinnost, které je možno dosáhnout při tepelném oběhu, je dána ideálním Carnotovým cyklem (Obr. 1.5). Vypočítá se ze zákona zachování energie jako podíl získané technické práce $w_t$ a množství přivedeného tepla $q_d$: [16]

$$\eta_t = \frac{w_t}{q_d} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \tag{5}$$

Zvýšení této účinnosti lze dosáhnout pouze zvýšením hodnoty technické práce, tj. rozdílem mezi teplotou dodaného a odvedeného tepla. Na práci však nelze přeměnit všechno teplo. Nepřeměněné teplo má nízkou teplotu a nelze je dále využít. Nevyužitelná část energie se nazývá anergie a naopak maximální část využitelné tepelné energie je tzv. exergie. [16]

Jakýkoliv jiný cyklus má menší účinnost. Proto je snaha se co nejvíce Carnotovu cyklu přiblížit. Jde o tzv. carnotizaci cyklu či druhou možnou variantou je eliminace ztát v oběhu, využitím odváděného tepla z oběhu pro technologické účely nebo vytápění (kogenerace). Hodnota účinnosti se dá tedy zvýšit regeneračním ohřevem napájecí vody, přihřívání páry, zvýšením tlaku páry, tepelným oběhem s protitlakovou turbínou a tepelným oběhem s turbínou s regulovatelným odběrem páry. [16]

U KVET se stanovuje účinnost elektrická, tepelná a celková. Teplo přivedené v palivu $Q_{pal}$ se rozdělí na teplo pro výrobu elektrické energie a teplo pro teplárenské účely $Q_{UV}$. Elektrická účinnost ${\eta_E}^{KVET}$ je poměr množství vyrobené elektrické energie $E$ a celkového tepla

dodaného v palivu do celého tepelného oběhu. Analogicky se stanoví tepelná účinnost ${\eta_T}^{KVET}$ a celková účinnost je součtem jednotlivých účinností. [16]

$$\eta^{KVET} = {\eta_E}^{KVET} + {\eta_T}^{KVET} = \frac{E + Q_{UV}}{Q_{pal}} [-] \tag{6}$$

V rovnici (7) je vidět závislost modulu teplárenské výroby elektrické energie na účinnosti. Přípustná hodnota pro modul teplárenské výroby se určuje z maximální hodnoty celkové účinnosti. [16]

$$\sigma = \frac{{\eta_E}^{KVET}}{{\eta_T}^{KVET}} [-] \tag{7}$$

Kvalita tepelné energie je vždy nižší než kvalita energie elektrické, protože využití tepelné energie je závislé na její teplotě a na teplotě okolí. U KVET je vždy důležitější maximální využití energie v palivu než maximalizace množství vyrobené elektrické energie. [16]

Na rozdíl od kogenerace se při výpočtu účinnosti oddělené elektrické energie $\eta^{ODV}$ uvažují dva vstupy, tj. teplo dodané pro výrobu elektrické energie $Q_{PAL,E}$ a zvlášť teplo určené pro dodávku tepelné energie $Q_{PAL,T}$. V klasických elektrárnách se využívá 30 % až 42 % energie obsažené v palivu, zbylá energie je vypuštěná do okolí. [16]

Porovnat účinnosti kogenerace $\eta^{KVET}$ a oddělené výroby $\eta^{ODV}$ lze pomocí jednoduché úvahy. Při oddělené výrobě se předpokládá účinnost transformace energie paliva u elektrické energie 35 % a u tepelné 50 %. Pro kogeraci se uvažuje účinnost u elektrické energie 30 % a u tepelné 85 %. Z výpočtu (7) a (8) je vidět, že se pomocí kogenerace se zvýší účinnost o cca 20 %. Tepelná účinnost KVET je v rozmezí 80 až 92 %. [16]

$$\eta^{ODV} = \frac{E + Q_{UV}}{Q_{PAL,E} + Q_{PAL,T}} = \frac{{\eta_E}^{PAL} + {\eta_T}^{PAL}}{Q_i + Q_i} = \frac{35 + 85}{100 + 100} = 0{,}6\ [-] \tag{8}$$

$$\eta^{KVET} = \frac{E + Q_{UV}}{Q_{PAL}} = \frac{{\eta_{KVET,E}}^{PAL} + {\eta_{KVET,T}}^{PAL}}{Q_i} = \frac{30 + 50}{100} = 0{,}8\ [-] \tag{9}$$

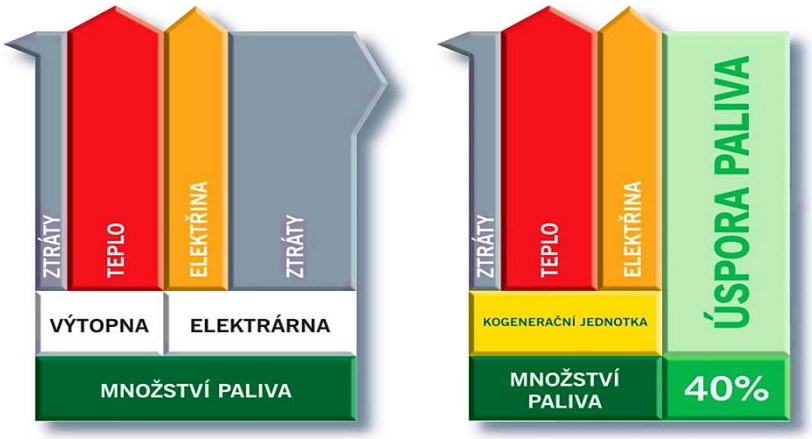
kde:

| | |
|---|---|
| $\eta_E{}^{PAL}$ | - účinnost transformace paliva při oddělené výrobě - elektrická energie |
| $\eta_T{}^{PAL}$ | - účinnost transformace paliva při oddělené výrobě - tepelná energie |
| $\eta_{KVET,E}{}^{PAL}$ | - účinnost transformace paliva při KVET - elektrická energie |
| $\eta_{KVET,T}{}^{PAL}$ | - účinnost transformace paliva při KVET - tepelná energie |
| $Q_i$ | - energie obsažená v hmotnostní jednotce paliva vyjádřená v % (procentuální výhřevnost) |

Další možností pro porovnání oddělené výroby a kogenerace je hledisko úspory primárních zdrojů. Úspora paliva je jeden z hlavních důvodů podpory technologií KVET v energetice v EU. Pro její určení je nutné znát referenční hodnoty účinností při oddělené výrobě elektrické $\eta_{E,r}{}^{ODV}$ a tepelné energie $\eta_{T,r}{}^{ODV}$. Úspora primárních zdrojů se vypočítá dle vztahu: [16]

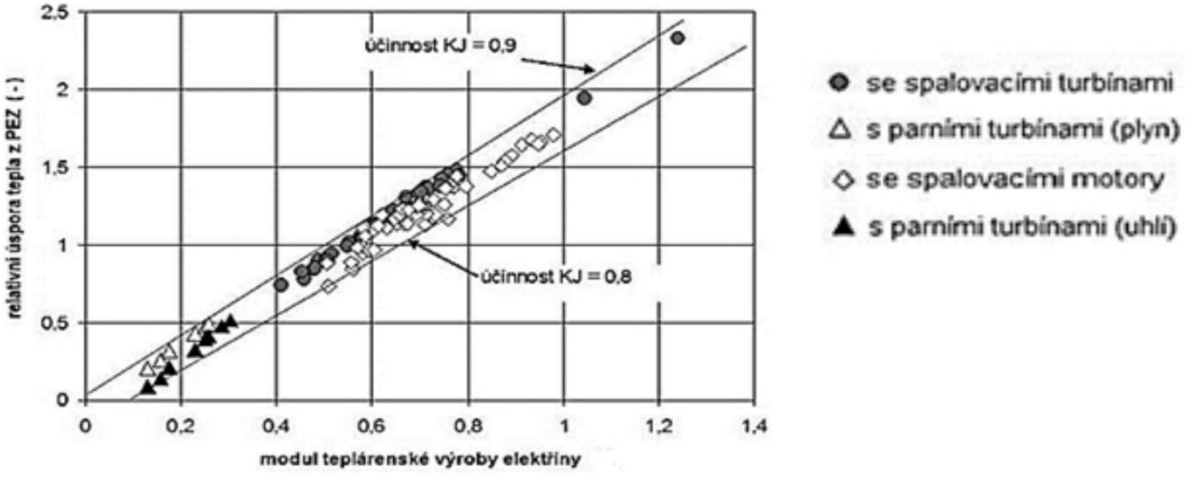
$$\Delta Q_{pal} = 1 - \frac{1}{\frac{\eta_T{}^{KVET}}{\eta_{T,r}{}^{ODV}} - \frac{\eta_E{}^{KVET}}{\eta_{E,r}{}^{ODV}}} \cdot 100 \ [\%] \qquad (10)$$

Z Obr. 1.16 a 1.17 je vidět, že úspora paliva díky KVET se pohybuje okolo cca 40 až 50 % a je téměř lineárně závislá na modulu teplárenské výroby. Se zvyšujícím se modulem teplárenské výroby klesá množství spotřebovaného primárního energetického zdroje (PEZ). [16]




*Obr. 1.16, 1.17 Úspora paliva díky KVET(převzato z [18])*

V Tab. 1.2 je uveden stručný přehled charakteristických vlastností některých kogeneračních zařízení. [16]



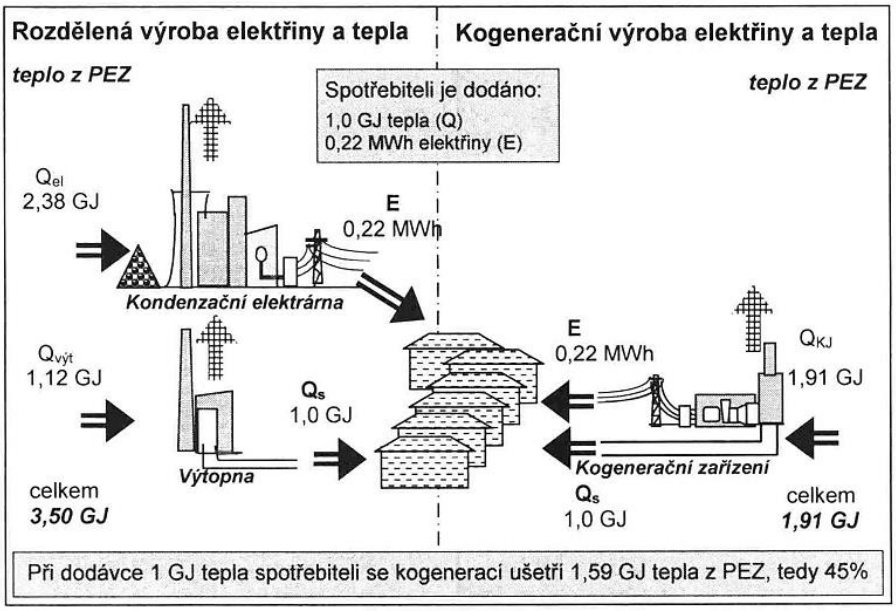

*Obr. 1.18 Modul teplárenské výroby elektřiny (převzato z [16])*

*Tab. 1.2 Vlastnosti kogeneračních zařízení (převzato z [16])*

| **Pohonná jednotka** | **Používané palivo** | **Rozsah výkonu (MWe)** | **Modul teplárenské výroby elektřiny (-)** | **Elektrická účinnost (%)** | **Celková účinnost (%)** | **Forma tepla** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Odběrová parní turbína | Libovolné | 5 – 300 | 0,2 – 0,4 | 10 – 30 | 78 – 88 | NT pára horká voda |
| Protitlaková parní turbína | Libovolné | 0,1 – 100 | 0,1 – 0,4 | 7 – 20 | 75 – 88 | NT pára horká voda |
| Spalovací turbína | zemní plyn, lehký topný olej, bioplyn, produkty zplyňování | 1 – 250 | 0,4 – 1,2 | 25 – 48 | 75 – 90 | teplá voda horká voda pára NT |
| Paroplynové zařízení | zemní plyn, lehký topný olej, bioplyn, produkty zplyňování | 10 – 400 | 0,8 – 2,0 | 35 – 60 | 85 – 90 | teplá voda horká voda pára NT, VT |
| Spalovací motor | zemní plyn, lehký topný olej, bioplyn, produkty zplyňování | 0,01 – 10 | 0,5 – 1,1 | 25 – 45 | 75 – 92 | teplá voda horká voda pára NT, VT |
| Stirlingů motor | zemní plyn, biopalivo | 0,001 – 0,03 | 0,3 – 0,7 | 20 – 40 | 70 – 85 | teplá voda |

## 1.5 Výhody a nevýhody kogenerace

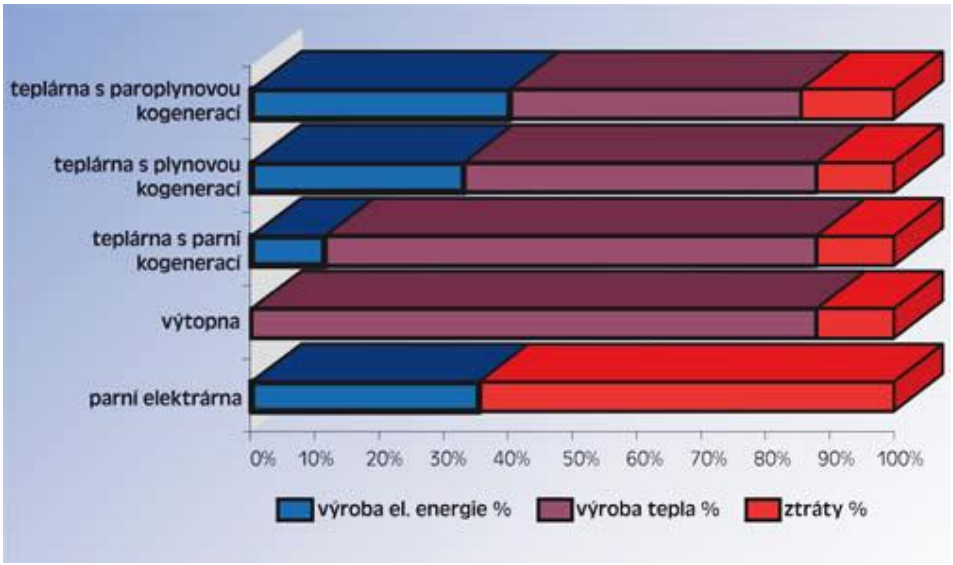
Kogenerace má několik výhod. Hlavní výhodou je vysoká efektivita využití paliva až na 80 %, z toho 30 % – 35 % na elektrickou energii a 65 % – 70 % na energii tepelnou. Využíváním odpadního tepla při výrobě elektrické energie dochází k úspoře tepelné energie a tím i primárních zdrojů o 40 % až 50 % oproti oddělené výrobě elektrické energie a tepla. Ilustrační příklad energetického přínosu KVET je na Obr. 1.19. [1], [19]




*Obr. 1.19 Ilustrační příklad energetického přínosu kogenerační výroby tepla a elektřiny (převzato z [16])*

Snížení potřebného množství paliva má vliv i na snížení množství emisí znečišťujících látek a snížení zatížení životního prostředí. Další velkou výhodou je možnost prodeje přebytečné elektrické energie do veřejné elektrizační soustavy, což má za následek snížení nákladů vložených do pořízení kogenerační jednotky. Při decentralizované KVET poklesnou v elektrizační soustavě ztráty způsobené přenosem a distribucí elektrické energie a zvýší se spolehlivost dodávky energetické energie. Navíc většina kogeneračních jednotek je schopna ostrovního provozu. [1], [19]

KVET umožňuje zvýšit podíl využití obnovitelných zdrojů energie a má široké uplatnění pro různé energetické aplikace. Na Obr. 1.20 je vidět porovnání ztrát vzniklých při výrobě elektrické a tepelné energie v odlišných energetických provozech. [1], [19]




*Obr. 1.20 Porovnání ztrát vzniklých při výrobě elektrické a tepelné energie (převzato z [19])*

Na druhou stranu má kogenerace i jisté nevýhody. Hlavně jsou to vysoké investiční náklady a nutnost zajištění ochrany proti hluku. Navíc návratnost financí je velice závislá na množství vyrobené elektrické energie a využitelného tepla. [1], [19]

## 1.6 Vhodná paliva

V kogeneračních zařízeních lze použít téměř všechny primární zdroje energie:

- fosilní paliva (tuhá, kapalná i plynná),
- jadernou energii (dodávky tepla z jaderných elektráren),
- biomasu,
- komunální a jiné odpady,
- geotermální energii a sluneční energii. [13]

Nejvíce se kogenerace využívá při spalování fosilních paliv, fytopaliv či druhotných zdrojů surovin. Spalování můžeme podle podmínek spalovacích procesů, zejména dle přístupu a množství vzduchu (kyslíku), rozdělit na:

- dokonalé spalování,
- nedokonalé spalování,
- smíšené spalování. [13]

Při dokonalém spalování dochází ke spálení všech hořlavých složek paliva. Díky tomu ve spalinách není obsažena žádná hořlavina. Nedokonalé spalování je takové spalování, při němž zůstává ve spalinách určitý obsah hořlavých látek. A u smíšeného spalování zůstává ve spalinách oxid uhličitý $CO_2$ a oxid uhelnatý $CO$. [3]

Důležité energetické atributy ovlivňující výslednou účinnost tepelného cyklu jsou spalné teplo $Q_s$ , výhřevnost $Q_i$ a energetická hustota (vše energie obsažená v měrné jednotce paliva). Výhřevnost je množství tepla, které se získá při dokonalém spalování. Výhřevnost má vždy nižší hodnotu než spalné teplo, protože u výhřevnosti se uvažuje, že voda obsažená v palivu se vypaří a odchází spolu se spalinami. [3]

Spalné teplo udává reakční teplo (energii), která odpovídá úplnému spálení prvku nebo sloučeniny v kyslíku, přičemž spaliny jsou ochlazeny a vypařená voda z paliva je zpětně zkondenzovaná. Spalné teplo je takové teplo, které můžeme změřit nejsnáze u organických sloučenin. U těchto sloučenin dochází k dokonalému spálení na oxid uhličitý $CO_2$ a vodu $H_2O$. Aby bylo možné tepla tabelovat a navzájem srovnávat, musí se nejdříve standardizovat podmínky pro měření (standartní teplota a tlak). [21]

V Tab. 1.3 jsou uvedeny průměrné hodnoty výhřevnosti, spalného tepla a energetické hustoty pro některá paliva vhodná pro kogeneraci. Směsný komunální odpad (SKO) má výhřevnost v od 8 do 10 MJ/kg, přibližně je tedy srovnatelná s hodnotou pro hnědé uhlí. Z energetického hlediska je tedy výhodné využívat směsný komunální odpad jako druhotný zdroj surovin či jako alternativní palivo. Což lze buď přímým termickým zpracováním (spalováním, pyrolýzou, zplyňováním), nebo produkcí alternativního paliva pomocí mechanicko-biologické úpravy odpadu s následným tepelným využitím. [21]

*Tab. 1.3 Parametry paliv (převzato z [22])*

| Kategorie | Specifikace | $Q_i$ (MJ/m.j.) | $Q_s$ (MJ/m.j.) | Energetická hustota (kWh/m.j.) |
|---|---|---|---|---|
| Hnědé uhlí kusové | hrubo prach | 15,50 | 30,40 | 4,30 |
| Černé uhlí | kostka | 20,40 | 32,00 | 5,67 |
| Dřevo | kusové | 18,60 | 19,80 | 5,17 |
| Koks | ořech | 25,90 | 33,00 | 7,19 |
| Topoly štěpky | | 19,00 | 20,25 | 2,28 |
| Luční seno | | 13,35 | 14,67 | 3,71 |
| Komunální odpad | | 10,00 | - | - |

At již bude směsný komunální odpad zlikvidován ve spalovně komunálních odpadů či bude upraven na alternativní palivo, vždy projde minimálně mechanickou úpravou odpadu (viz kapitola 4.1).

# 2 Legislativa

V legislativním prostředí ČR není samostatný zákon, který by se zaměřoval jen na energetické využití odpadů. Danou problematiku je možné nalézt zejména v zákonech, novelách nebo vyhláškách odpadového hospodářství, ochrany životního prostředí a ochrany ovzduší. [23]

Stěžejním zákonem je zákon o odpadech č. 185/2001 Sb. zahrnující příslušné předpisy Evropské unie (EU). Naposledy byl novelizován novelou č. 184/2014 Sb. s platnou účinností od 1. 10. 2014. Mimo definování příslušné terminologie a hierarchie nakládáni s odpady, vymezuje jejich úpravu a povinnosti, které musí být dodrženy při jejich zpracování, využití či odstranění, atd. Komunální odpad je v příslušném zákoně definován jako (§4 odstavec 1): *„veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob a který je uveden jako komunální odpad v Katalogu odpadů s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání“.* [23]

V §6 v odstavci 3 je zmíněna jedna důležitá skutečnost týkající se spalování směsného komunálního odpadu. A to, že směsný komunální odpad se nepovažuje za nebezpečný odpad, i kdyby obsahoval nebezpečné složky. Energetické využití odpadů je letmo zmíněno v §9a v hierarchii nakládání s odpadem. Na základě §14 odstavec 2 je možné energeticky využívat směsný komunální odpad i v energetických zařízeních, která nejsou určena pro nakládání s odpady za podmínky, že to nebude mít vliv na provoz daného zařízení z hlediska porušení legislativy. A především pokud vlastnosti odpadu budou v souladu s požadavky na paliva určená pro tato zařízení. Základní povinnosti provozovatelů těchto zařízení jsou pak shrnuty v §19. V oddílu 4 §23 v odstavcích 1 a 2 jsou definovány Zvláštní ustanovení pro spalování odpadů:

*„(1) Spalování odpadu ve spalovně komunálních odpadů, která dosahuje vysokého stupně energetické účinnosti, se považuje za využívání odpadů způsobem uvedeným pod kódem R1 v příloze č. 3 k tomu to zákonu. Výše požadované energetické účinnosti a vzorec pro její výpočet je uveden v příloze č. 12 k tomu to zákonu.*

*(2) Spalovny odpadů, u nichž nejsou splněny podmínky spalování uvedené v odstavci 1, jsou zařízeními k odstraňování odpadů. “* [23]

Kódem R1 se rozumí využití odpadu způsobem obdobným jako paliva nebo jiným způsobem k výrobě energie. Což přesně platí pro spalovny využívající technologii KVET. Výše požadované energetické účinnosti u zařízení, která získala souhlas k provozu po 31. prosinci 2008, uvedená v příloze 12 je 0,65. [23]

Další důležitou novelou (zákona o odpadech) týkající se budoucího odpadového hospodářství v ČR je předpis č. 229/2014 Sb., kterým se od roku 2024 zakazuje skládkování směsného komunálního odpadu a recyklovatelných a využitelných odpadů. [23]

Dle aktuálního znění zákona 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší jsou spalovny definovány jako stacionární zdroje umožňující tepelné zpracování odpadů. Z přílohy 4 je u spaloven se jmenovitým tepelným příkonem 50 MW nařízeno nepřetržité měření a monitorování tuhých znečišťujících látek, oxidu siřičitého a oxidů dusíku, oxidu uhelnatého, organického uhlíku, plynných anorganických sloučenin chlorovodíku a fluorovodíku. Dovolené imisní limity jsou v příloze 1 daného zákona. Kromě toho jsou v příloze 9 uvedeny sazby poplatků za znečišťování uvedené v Kč/t, viz Tab. 2.1. [23]

*Tab. 2.1 Sazby za znečišťování odpadů (převzato z [24])*

| | **2013 až 2016** | **2017** | **2018** | **2019** | **2020** | **2021 a dále** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| TZL | 4200 | 6300 | 8400 | 10500 | 12600 | 14700 |
| $SO_2$ | 1350 | 2100 | 2800 | 3500 | 4200 | 4900 |
| $NO_x$ | 1100 | 1700 | 2200 | 2800 | 3300 | 3900 |
| VOC | 2700 | 4200 | 5600 | 7000 | 8400 | 9800 |

Zákonem č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií se uvádí, že k uskutečnění Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných a druhotných zdrojů energie mohou být poskytovány dotace podle §5 odstavce 4f i na rozvoj energetického využití komunálních odpadů a dle odstavce 4b na rozvoj využívání KVET. A zároveň se odstavcem 4i podpora vztahuje i na vědu, vývoj a výzkum v těchto oblastech. [23]

Dále se zákonem 165/2012 Sb, o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů definuje v §5 podpora elektřiny z druhotných zdrojů, čímž se myslí na základě §2f i odpad. Dle §5 se stanovuje podpora elektřiny z vysokoúčinné KVET, která je formulována především tím, že [23]: „*dosahuje poměrné úspory vstupního primárního paliva potřebného na výrobu této elektřiny a tepla ve výši nejméně 10 % oproti oddělené výrobě elektřiny a tepla,*

*přičemž požadavek na dosažení poměrné úspory vstupního primárního paliva se vztahuje pouze na elektřinu vyrobenou ve výrobně elektřiny s instalovaným elektrickým výkonem vyšším než 1 MW."*

Podmínky provozu a spolupráce s elektrizační soustavou jsou zahrnuty v zákoně č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon). [23]

Z hlediska budoucího vývoje EVO je důležité hlavně nařízení č. 352/2014 Sb., Nařízení vlády o Plánu odpadového hospodářství České republiky pro období 2015–2024, a jeho příloha Závazná část. V ní se požaduje:

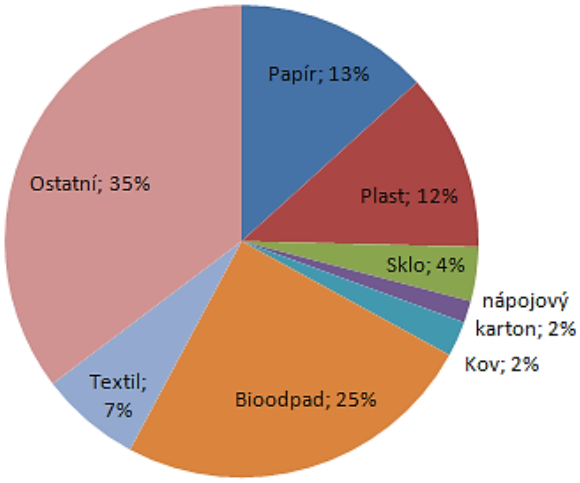
- maximální využívání odpadů jako náhrady primárních zdrojů
- podporovat způsoby nakládání s odpady, které využívají odpady jako zdroje surovin,
- významné omezení skládkování směsného komunálního odpadu, atd. [23]

Nejvýznamnější je však cíl nakládání směsného komunálního odpadu [23]: *„Směsný komunální odpad (po vytřídění materiálově využitelných složek, nebezpečných složek a biologicky rozložitelných odpadů) zejména energeticky využívat v zařízeních k tomu určených v souladu s platnou legislativou."*

# 3 Využití komunálního odpadu v České republice

## 3.1 Odpadové hospodářství v ČR

Složení komunálního odpadu velmi závisí na uvědomění občanů k problematice třídění komunálního odpadu. Proto složení směsného komunálního odpadu je různé pro jednotlivé lokality sběru či svozu KO v ČR (Příloha 3). V grafu (Obr. 3.1) můžeme vidět procentuální zastoupení jednotlivých složek, ze kterých se skládá komunální odpad. [24]




*Obr. 3.1 Procentuální zastoupení jednotlivých složek komunálního odpadu (převzato z [24])*

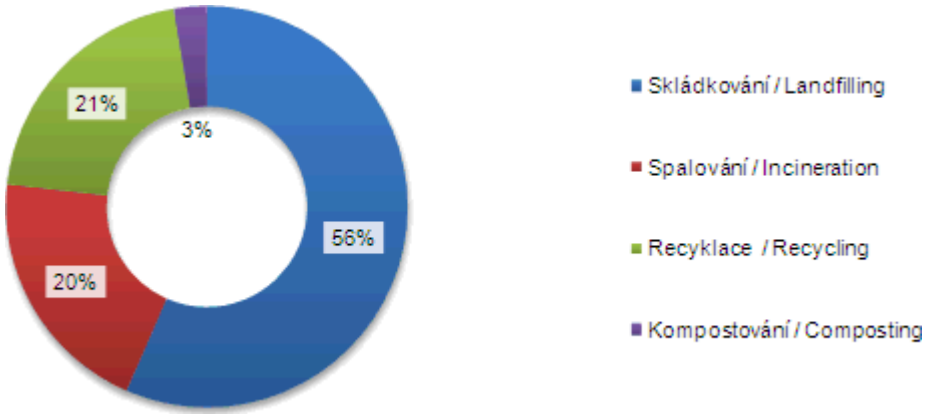
Hierarchie nakládání s odpadem (Obr. 3.2) obsahuje několik stupňů, kterými jsou předcházení vzniku odpadů, příprava k opětovnému použití, recyklace odpadů, jiné využití odpadů (např. energetické) a odstranění odpadů. [25], [26]

Předcházení vzniku odpadů jsou opatření předtím, než se produkt stane odpadem. Jedná se o eliminaci nepříznivých dopadů na životní prostředí, obsahu škodlivin v látkách apod. Příprava odpadů k opětovnému použití jsou takové způsoby využití, kdy se výrobky kontrolují, opravují a čistí tak, aby byly znovu použitelné a nemusely být přepracovány. Recyklace odpadů zahrnuje jakýkoliv způsob využití odpadu pro opětovné zpracování na výrobky nebo produkty stejného nebo jiného účelu. Z materiálového hlediska lze ze směsného komunálního odpadu recyklovat především železný šrot a barevné kovy. Pod pojmem jiná využití odpadů si můžeme představit jakoukoliv činnost, kdy odpad slouží k užitečným účelům, například jde

o energetické využití odpadů (EVO). Pokud nelze naložit s odpadem výše uvedenými způsoby, přichází na řadu poslední stupeň, tj. odstranění odpadů. Jde o činnost, kdy nelze již inertní odpad nijak využit, a proto se uloží na skládku. [25], [26]

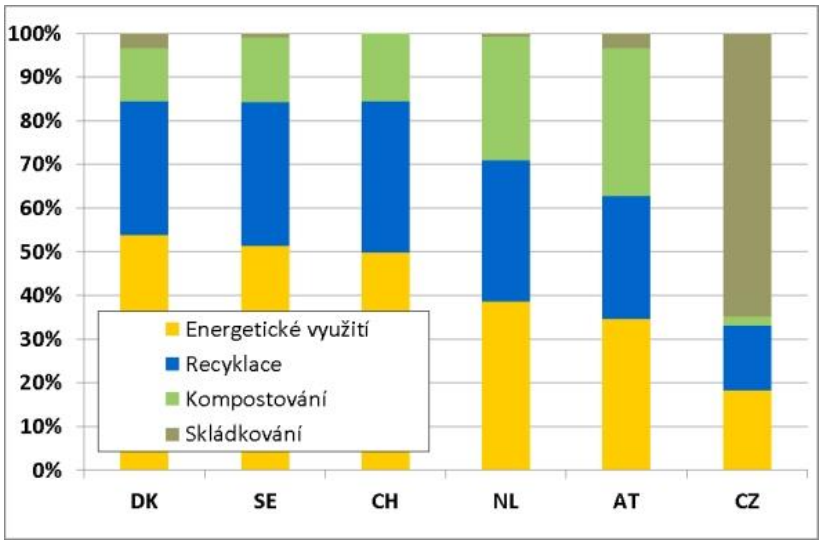
*Obr. 3.2 Hierarchie nakládání s odpadem (převzato z [25])*

Energetické využití komunálních odpadů umožňuje využití surovin ukrytých v odpadu. Komunální odpad je možné posuzovat jako částečnou alternativu fosilních paliv používaných pro výrobu elektrické energie a tepla. Díky tomu dochází k ochraně životního prostředí hned ve dvou případech. Za prvé se předchází vzniku skládek a za druhé se omezí těžba fosilních paliv. V ČR zatím převažuje skládkování nad ostatními způsoby nakládání s odpadem, viz Obr. 3.3 znázorňující danou situaci v roce 2012. Je zde vidět nepochybný energetický potenciál, který by mohl být využit. Energie, která by vznikala z více než 2 milionu tun komunálního odpadu uloženého každý rok na skládkách, by nahradila okolo 1,5 milionu tun hnědého uhlí. Při energetickém využití komunálního odpadu dojde ke snížení závislosti na dovážení primárních zdrojů, kterými jsou ropa a zemní plyn. [27]



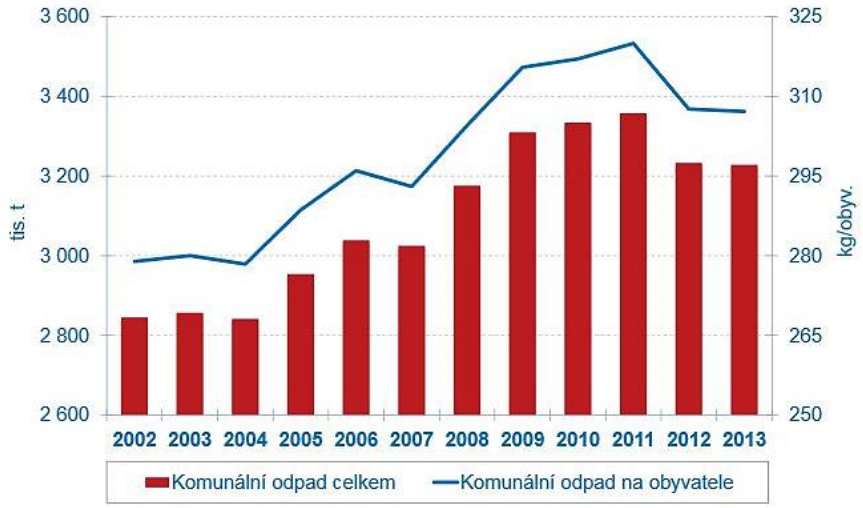

*Obr. 3.3 Nakládání s odpadem (převzato z [27])*

Další argument pro energetické využívání komunálního odpadu v ČR jsou dlouhodobě nedodržené limity požadované Evropskou unii pro omezování skladování biologicky rozložitelného odpadu. S tím souvisí, že Česká republika výrazně zaostává za vyspělými evropskými zeměmi ve využívání odpadů jako energetického zdroje. Z grafu (Obr. 3.4) vyplývá, že v roce 2013 přibližně 65 % komunálního odpadu se v České republice ukládá na skládku a pouze cca 19 % se energeticky využívá jako druhotná surovina. Což je přibližně o 34 % nižší podíl než například v Dánsku. [28]




*Obr. 3.4 Srovnání nakládaní s komunálem odpadem v ČR a vyspělých zemích (Dánsko, Švédsko, Švýcarsko a Rakousko) (převzato z [29])*

Z průzkumů vychází, že každý Čech v roce 2011 vyprodukoval 320 kg odpadů, z toho 264 kg skončilo v popelnicích a pouze 54 kg se dále recyklovalo. Necelých 58 kg odpadu vyhozeného do popelnice se podařilo přeměnit na energii, zbývajících 206 kg putovalo bez využití na skládku. Na skládkách skončilo přes 2 miliony tun komunálního odpadu. Při dokonalém třídění by se dal odpad rozdělit tak, že 50 % odpadu by se třídilo a recyklovalo, 10 % se dále zpracovávalo na průmyslové palivo a 40 % by se energeticky využívalo, tedy termicky zpracovalo. Na Obr.3.5 je vidět klesající trend ve vývoji produkovaného směsného KO v posledních letech, což je dáno zvýšeným množstvím tříděného odpadu. [29]




*Obr. 3.5 Vývoj produkovaného směsného KO (převzato z [30])*

Většinou před termickým zpracováním v rámci EVO, probíhá mechanicko-biologická úprava směsného komunálního odpadu (MBÚ). Jde o kombinaci mechanické a biologické úpravy odpadů s cílem redukce objemu (rozdrcení a rozmělnění) a odseparování biologicky rozložitelného materiálu, železných a neželezných kovů, frakce s vysokou výhřevností používanou jako palivo a inertní odpad určený pro skládkování, atd. Spalitelná část se dle normy TNI, 83 83 02 nazývá tuhé alternativní palivo (TAP). V závislosti na rozsahu MBU se dělí na TAP kvality A a TAP kvality B. Palivo TAP kvality A vzniklo z úplné MBÚ, čímž má na rozdíl od TAP kvality B lepší energetické vlastnosti, viz Tab. 3.1, a proto je využíváno jako druhotné palivo při spolu spalování či spolu zplyňování s běžně využívanými palivy v cementárnách, teplárnách a elektrárnách. Oproti tomu TAP kvality B neprošel biologickou stabilizací a při mechanické úpravě došlo pouze k hrubé úpravě. Byly vytříděny kovy, inertní a

nebezpečné složky a poté byl odpad rozdrcen a rozmělněn. Takto upravený odpad má podobné vlastnosti jako původní směsný odpad a lze jej energeticky zhodnotit nejčastěji ve spalovnách komunálního odpadu. [31]

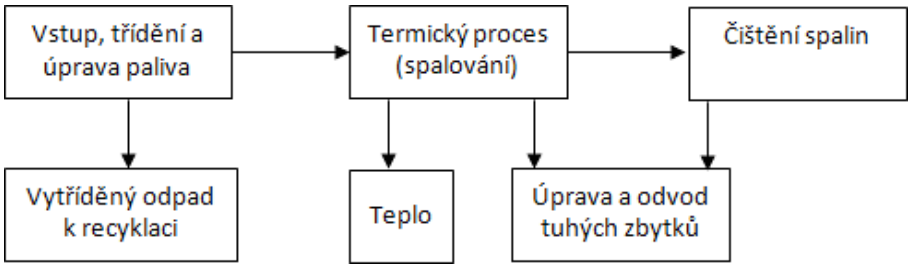
*Tab. 3.1 Energetické vlastnosti TAP kvality A, TAB kvality B (převzato z [22])*

| | **TAP kvality A** | **TAP kvality B** |
|---|---|---|
| Výhřevnost | > 20 MJ/kg | 12-18 MJ/kg |
| Obsah popela | < 12 % | < 20 % |
| Obsah chloru | < 0,8 % | < 1 % |
| Obsah inertu | 1-2 % | 1-2 % |
| Velikost částic | < 50 mm | < 250 mm |

## 3.2 Spalovny komunálního odpadu v ČR

### 3.2.1 Technologie ve spalovnách komunálního odpadu

Spalovny určené k energetickému využití komunálních odpadů užívají k výrobě elektrické energie a tepla spalování odpadů. A tím patří do skupiny zařízení na energetické využití odpadů označovaných zkratkou ZEVO. Základní blokové schéma spalovny je uvedeno na Obr. 3. 6. [32]

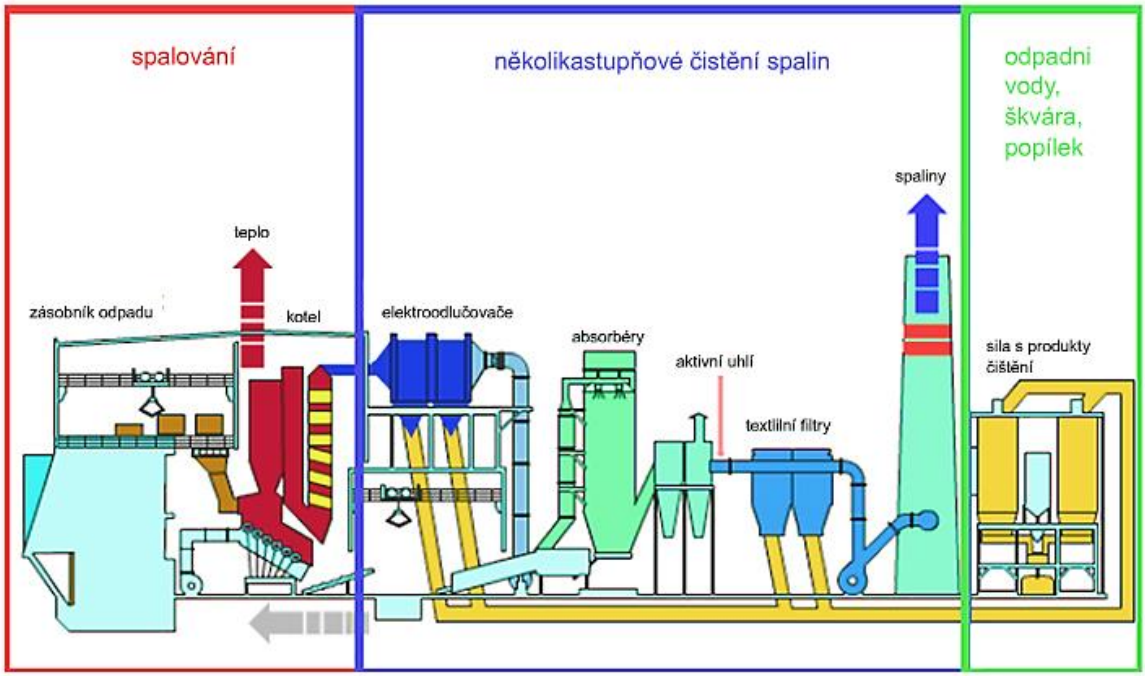



*Obr. 3.6 Základní schéma spalovny (převzato z [27])*

Celá spalovna se dá, rozdělit do tří částí (Obr 3.7):

- příjem a třídění paliva, spalování,
- několikastupňové čištění spalin,
- úprava a odvod tuhých zbytků a vodní hospodářství. [32]

Jak je vidět samotný proces spalování zabírá malou část celé technologie. Daleko rozsáhlejší technologie je komplex čištění spalin, kde je hlavním cílem co největší omezení vypouštění znečišťujících látek do ovzduší, kterými jsou oxid síry, dioxiny, oxidy dusíku a další. [32]




*Obr. 3.7 Schéma spalovny (převzato z [33])*

V části zabývající se spalováním odpadů jsou dvě důležité technologie, zásobník odpadu a kotel. V zásobníku odpadu je odpad shromažďován a uchováván do doby, než dojde k předání do spalovacího prostoru, tzn. kotle. Kotel bývá většinou roštový nebo bubnový a je konstruovaný tak, aby docházelo k maximálnímu prohoření odpadu. Kromě vzniku spalin, přesněji řečeno emisí, které obsahují znečišťující látky a popílek, jsou dalšími produkty struska a škvára po úpravě využívající se ve stavebnictví. Druhou částí spalovny, na kterou je kladen největší důraz, je několika stupňové čištění spalin. Čištění spalin probíhá ve třech fázích. V prvním stupni se spaliny ochlazují a pomocí elektrofiltrů se zachycují prašné částice. V druhém stupni se za pomoci keramických nebo textilních filtrů odstraňují dioxiny a furany, což jsou nejtoxičtější látky spalin. Ve třetím stupni dochází k vypírce spalin promýváním ve vápenné suspenzi, kde se zachycují těžké kovy, jako je například rtuť. Schéma úpravy pracích vod ve spalovně Termizo je v příloze 4. Poslední část spalovny obsahuje sila s produkty čištění. [32], [34]

### 3.2.2 Přehled spaloven KO v ČR

V České republice existují pouze tři zařízení energeticky využívající komunální odpad, které jsou vybaveny kogenerační jednotkou, viz Obr. 3.8. S roční kapacitou 654 tisíc tun komunálního odpadu. Jsou umístěna v Praze, Liberci a Brně. Jak je z Obr. 3.8 vidět, v ostatních státech EU se problematika s nákladním komunálních odpadů řeší podstatně lépe. Např. jen ve Francii mají 130 spaloven komunálních odpadů. [29]

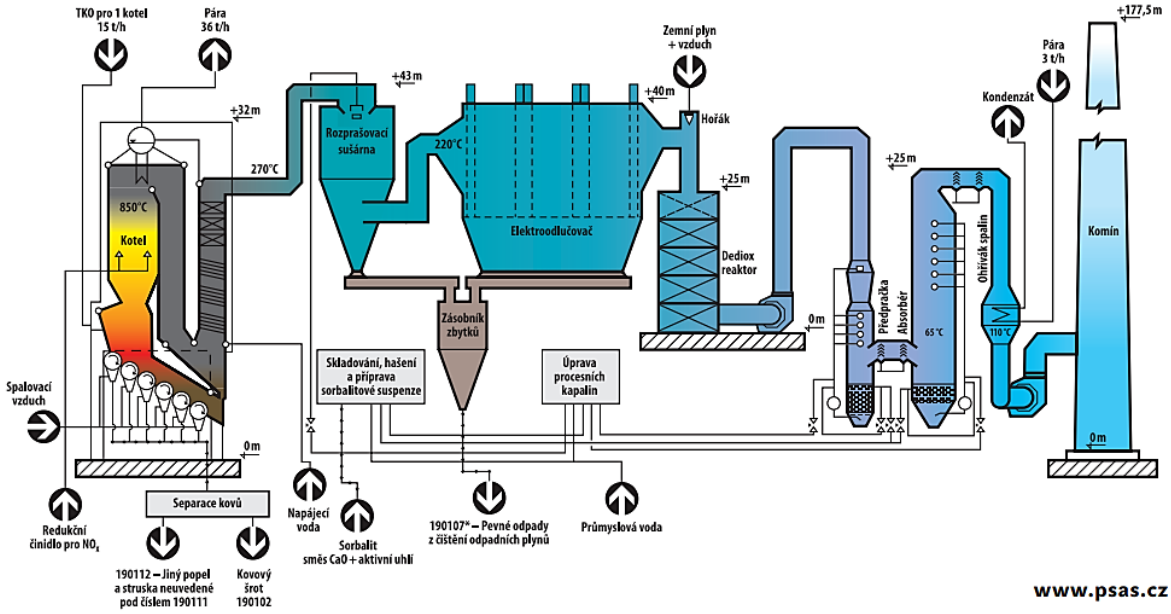
*Obr. 3.8 Přehled spaloven ČR (převzato z [29])*

Spalovna komunálního odpadu nacházející se v Brně slouží pouze k výrobě tepla, oproti ostatním, které slouží k výrobě jak tepla, tak i elektrické energie. Jmenovitě se jedná o spalovnu ZEVO v pražských Malešicích, kterou vlastní společnost Pražské služby a.s., spalovna Termizo v Liberci a spalovna SAKO v Brně (Obr. 3.8). Vliv těchto zařízení na životní prostředí je zanedbatelný, viz kapitola 5. 3. [32]

## *Spalovna ZEVO Malešice*

Spalovna ZEVO v pražských Malešicích spadá pod společnost Pražské služby, a.s. Byla uvedena do provozu v roce 1998 a její roční kapacita je 310 tisíc tun komunálního odpadu. Efektivně zhodnocuje spalováním jeho energetický potenciál k výrobě elektrické energie a tepla sloužícího k vytápění pražských bytů. Spalovna se skládá ze čtyř kotlů s válcovými rošty, z nich každý dokáže za hodinu spálit až 15 tun tuhého komunálního odpadu. Pomocí automaticky řízeného procesu spalování (dokonalého vyhoření paliva) se uvolňuje minimum emisí spalin, které jsou odváděny 177,5 metrů vysokým komínem. Probíhá, zde stála kontrola (včetně radiace) dováženého odpadu a separace železa. [35]

*Obr. 3.9 Spalovna ZEVO Malešice (převzato z [34])*

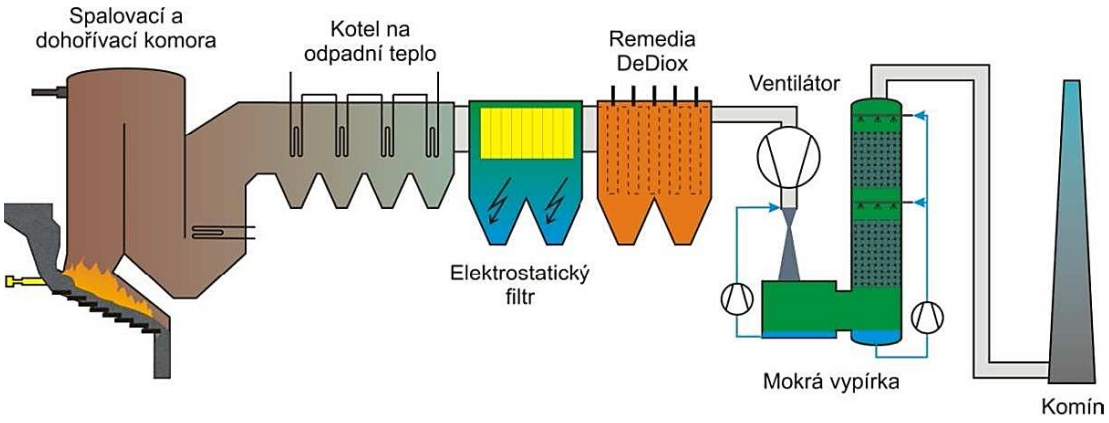



*Obr. 3.10 Schéma spalovny ZEVO Malešice (převzato z [36])*

### *Spalovna Termizo, a. s.*

Spalovna Terzimo, a.s. je společnost sídlící v Liberci. Založena byla roku 1999 a pracuje jako kogenerační zdroj na výrobu elektrické energie a tepla. Využívá spalování 96 000 tun odpadu za rok, což odpovídá výrobě tepla pro 17 000 domácností a zajištění elektrické energie pro celou spalovnu a přibližně 3 000 domácností. [37]

*Obr. 3.11 Spalovna Termizo a.s. (převzato z [34])*

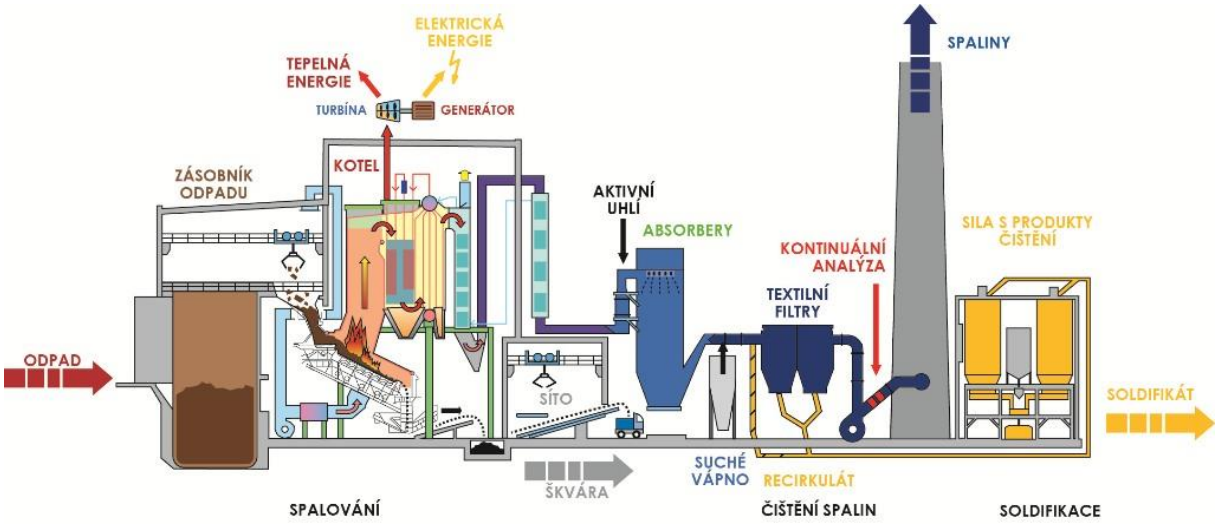



*Obr. 3.11 Schéma spalovny Termizo, a.s. (převzato z [38])*

### *Spalovna Sako, a. s.*

Spalovna SAKO, a.s., jejímž vlastníkem je Statutární město Brno, byla vybudována v roce 1905. Za druhé světové války byla zničena a k její obnově došlo až v roce 1989. V roce 2007 byl zrealizován nový projekt, který zahrnoval instalaci dvou nových kotlů a moderní čištění spalin. Spalovna s roční kapacitou 249 tisíc tun komunálního odpadu zajišťuje pro celé město činnosti, které se zabývají svozem a sběrem komunálního odpadu. Jedná se o jednu z nejmodernějších spaloven v Evropě přeměňující vytříděný odpad na tepelnou a elektrickou energii. [39]

*Obr. 3.12 Spalovna SAKO a.s. (převzato z [34])*




*Obr. 3.13 Schéma spalovny SAKO a.s. (převzato z [40])*

Celkový přehled všech spaloven odpadu v ČR s jejich roční kapacitou a množstvím spáleného odpadu mezi lety 2012 až 2014 je uveden v Tab. 3.2. Data ze všech spaloven (nejen komunálních odpadů) jsou monitorována a archivována ČHMÚ.

*Tab. 3.2 Přehled spaloven komunálního odpadu (převzato z [41])*

| Provozovatel | Provoz od roku | Kapacita (t/rok) | Množství spáleného odpadu (t/rok) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 2012 | 2013 | 2014 |
| Pražské služby, a.s. | 1998 | 310 000 | 297 759 | 304 166 | 308 900 |
| TERMIZO a.s. | 1999 | 96 000 | 98 066 | 95 817 | 93 541 |
| SAKO Brno, a.s. | 1989 | 248 000 | 238 454 | 237 643 | 237 368 |

### *ZEVO Chotíkov*

V plzeňském kraji měla být rovněž vystavěna moderní spalovna komunálních odpadů provozována společnosti Plzeňská teplárenská, a.s. s kapacitou 95 000 tun komunálního odpadu za rok. Stavba téměř za dvě miliardy korun započala v létě roku 2013. Bohužel bylo soudem nařízeno zrušení stavebního povolení kvůli žalobě aktivistů. Mělo se jednat o spalovnu využívající kombinované výroby elektrické energie a tepla zaručující vysokou účinnost energie obsažené v odpadech. [42]

Produkce elektrické energie a tepla byla navržena tak, že instalovaný výkon generátoru pro výrobu elektrické energie by byl 7,5 $MW_e$. Z toho 15 360 MW/rok by využila spalovna pro vlastní spotřebu a 25 810 MWh/rok by se dodávalo do sítě. Teplo v podobě horké vody by mělo maximální tepelný výkon 22 $MW_t$. Díky tomu by roční dodávka tepla byla okolo 108 MWh/rok. [42]

*Obr. 3.14 Projekt spalovny Chotíkov (převzato z [42])*

V ZEVO Chotíkov mělo být použito nejlepších dostupných technologii pro čištění spalin. Proto se předpokládá produkce spalin a odpadu podstatně nižší než je zákoně dáno, viz Tab. 3. 3. [43]

*Tab. 3.3 Produkce spalin v ZEVO Chotíkov (převzato z [43])*

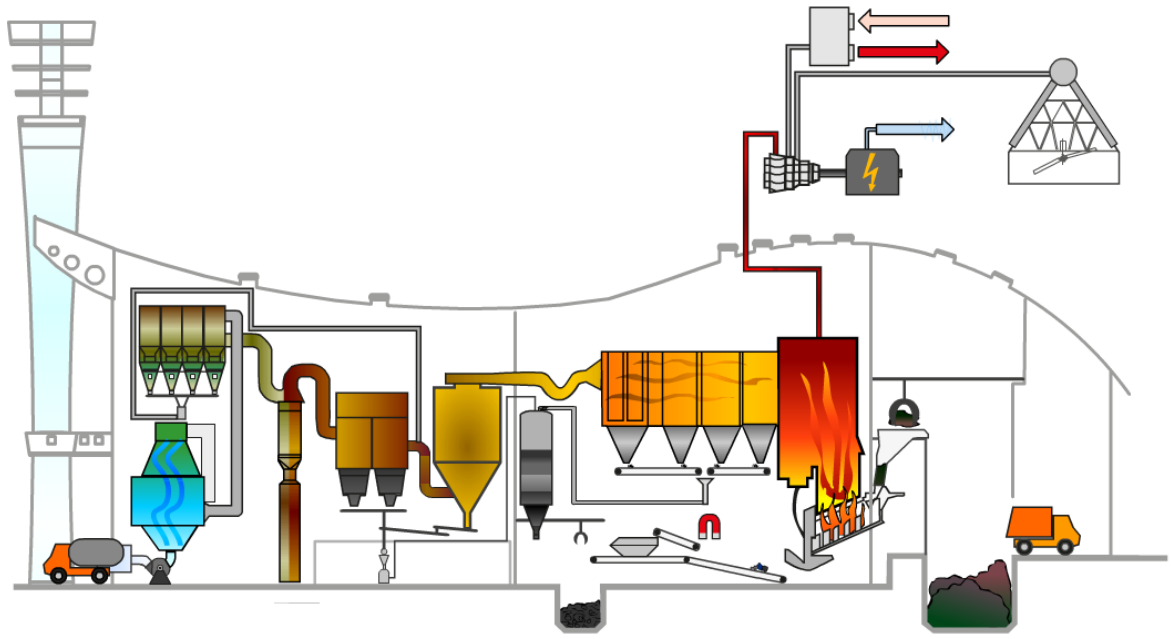
| **Emise škodlivin** | **Zákonné limity (mg/m$^3$) STP dry** | **Emise ZEVO Chotíkov** | | |
|---|---|---|---|---|
| | | **Koncentrace (mg/m$^3$) STP dry** | **Úlet (kg/h)** | **Produkce (t/rok)** |
| SOx | 50 | **25** | 1,85 | 14,2 |
| HCl | 10 | **5** | 0,39 | 3,0 |
| HF | 1 | **1** | 0,07 | 0,6 |
| Nox | 200 | **70** | 5,09 | 39,1 |
| TZL | 10 | **2,30** | 0,17 | 1,3 |
| Cd, Tl | 0,05 | **0,02** | 0,0015 | 0,011 |
| Hg | 0,05 | **0,015** | 0,0011 | 0,008 |
| CO | 50 | **25** | 1,82 | 14,0 |
| TOC | 10 | **10** | 0,73 | 5,6 |
| Pb, Sb, As, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn | 0,5 | **0,25** | 0,0182 | 0,14 |
| | | **(ng/m$^3$) STP dry** | **(mg/h)** | **(g/rok)** |
| PCDD & PCDF (TE) | 0,1 | **0,05** | 0,003634 | 0,03 |

Pro čištění spalin byl navržen několika stupňový proces obsahující rozprašovací sušárny, tkaninový filtr, dvoustupňovou pračku, pojistný filtr a katalytický reaktor, který slouží na rozklad oxidů dusíku a dioxinů. [42]

V horní části rozprašovací sušárny kam odchází spaliny z kotle, má být protiproudně nastřikována suspenze odpadních vod ve které jsou obsaženy těžké kovy a soli kyselého charakteru, těmi jsou HCl, HF, $SO_2$, $SO_3$, které vznikly ze zachycených složek spalin. Před vstupem do tkaninového filtru, který je umístěn za rozprašovací sušárnou, by se dávkoval absorbent složený ze směsi vzdušného hašeného vápna a aktivního uhlí. Tento absorbent spolu

s popílkem je zachycován na tkaninovém filtru. Tam vytváří vrstvu, ve které dochází k reakci kyselých složek s $Ca(OH)_2$. Následně budou spaliny vstupovat do stupňové pračky, kde se zachycují zbytky kyselých složek těžkých kovů, ta je rozdělena na dva stupně. První stupeň pracuje s pH 1-2 a druhý stupeň pracuje s pH 5-6. V prvním stupni dochází k zachycení halogenových prvků HCl, HF a těžkých kovů. Druhý stupeň zachycuje převážně oxid siřičitý $SO_2$. Spaliny jsou nejprve přivedeny do prvního stupně pračky, zde dojde k ochlazení pomocí nasycení vodou tak, aby bylo možné vypírat spaliny. Následně spaliny postupují do prací zóny. V horní časti pračky kam je nastřikována a rozprašovaná prací voda jsou v protiproudu vedeny spaliny, které jsou vodou propírány. Takto proprané spaliny se přivádí do druhého stupně, kde jsou zachycovány především sloučeniny síry a chloru. Před následným krokem, kterým je vstup do pojistného filtru, je opět dávkován absorbent ze směsi vzdušného hašeného vápna a aktivního uhlí. Pojistný filtr je konstruován a má stejné vlastnosti jako tkaninový filtr. Posledním krokem by měl být katalytický reaktor rozkládající oxidy dusíku a dioxiny. [42]

Celé schéma spalovny je zobrazeno na Obr. 3.15 a v příloze 5.



*Obr. 3.15 Schéma spalovny Chotíkov (převzato z [44])*

# 4 Zhodnocení využití KVET ve spalovnách KO

## 4.1 Energetické zhodnocení

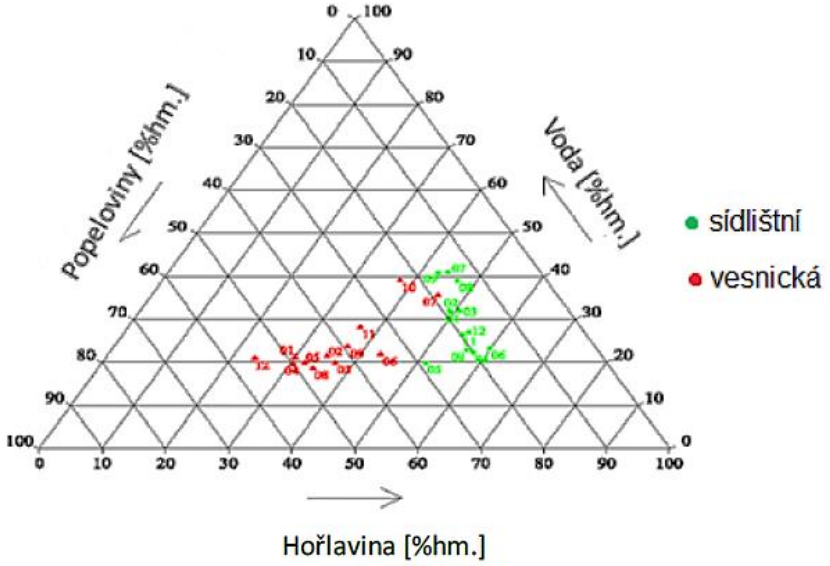
Energetický potenciál komunálního odpadu je poměrně vysoký. Výhřevnost se pohybuje v rozsahu 8-10 MJ/kg a je ovlivněna konkrétním složení. Výhřevnosti jednotlivých složek jsou v Tab. 4.1 a základní vlastnosti KO jako druhotného paliva, jsou uvedené v příloze 6. [45]

*Tab. 4.1 Výhřevnost složek komunálního odpadu (převzato z [45])*

| Druh odpadu | Výhřevnost [MJ/kg] |
|---|---|
| Papír | 15,7 |
| Plast | 32,7 |
| Polyetylen | 43,4 |
| Polystyren | 38,0 |
| PVC | 22,5 |
| Textil | 18,3 |
| Potraviny | 3,2 |
| Smetky | 6,0 |
| Štěpka, dřevo | 12,4 |
| Sklo | 0,2 |

Z Obr. 4.1 je vidět rozdíl v podílu obsahu popelovin, vody a hořlavin v produkovaném směsném komunálním odpadu z měst a vesnic. Sídlištní odpad obsahuje mnohem větší množství vody oproti vesnickému odpadu, který naopak obsahuje více popelovin. To je dáno tím, že na sídlištích není možnost kompostování biologicky rozložitelných složek komunálního odpadu (BRKO), zatím co na vesnicích, je větší množství popelovin díky převažujícímu způsobu vytápění v lokálních topeništích. Oproti tomu v oblastech sídlišť je většinou centrální zásobování teplem (CZT), které může pocházet jak z tepláren, tak i ze spaloven komunálních odpadů. Pokud navíc je ve spalovnách využita technologie kogenerace, tak se zvýší účinnost a dojde především k úspoře paliv (kapitola 2.4).

S tím souvisí i fakt, že na vesnicích se v SKO vyskytuje jen zřídka papír či dřevo, což způsobuje i nižší obsah hořlavin, tj. nižší výhřevnost. Z hlediska životního prostředí je jistě správné třídit komunální odpady, ale z energetického pohledu tím klesá energetický potenciál, který by mohl být využit, jelikož plasty mají nejvyšší výhřevnost ze všech složek KO (Tab. 4.1). [46]



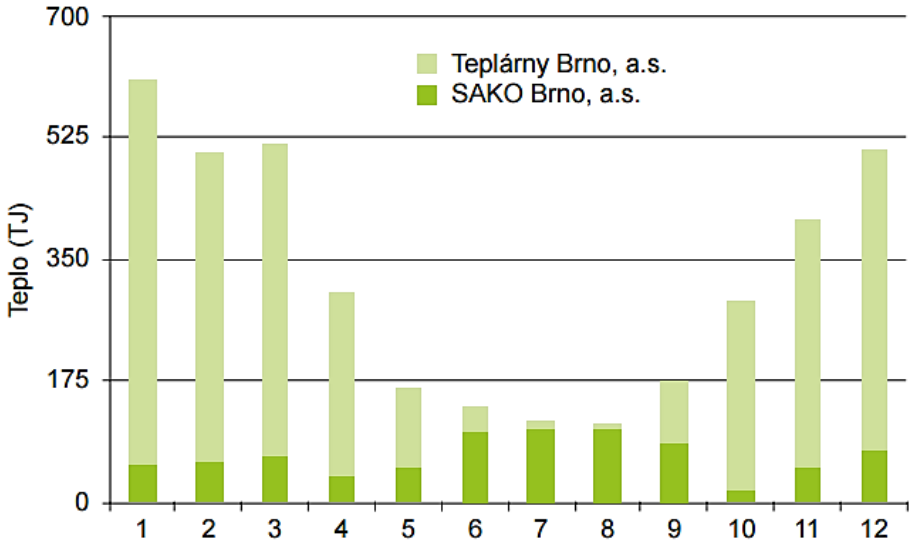

*Obr. 4.1 Termální diagram pro KO (převzato z [46])*

Využití KVET ve spalovnách KO lze energeticky zhodnotit na základě celkové účinnosti daného zřízení, která se vypočítá dle vztahů uvedených v kapitole 2.4. Předpoklad je znalost výhřevnosti paliva, ze které se součinem s množstvím paliva vypočítá potenciální energie v palivu. Celková účinnost je pak dána jako podíl celkové získané využitelné energie (součet tepelné a elektrické energie) a potenciální energii v palivu. Jak je vidět z Tab. 4.2, jak spalovna v Liberci, tak původně plánovaná spalovna v Chotíkově (její budoucnost není zcela známá) splňují požadované hodnoty účinností. ZEVO s přívodem do protitlaké nebo kondenzační odběrové parní turbíny mají mít celkovou účinnost v rozmezí 77 – 87 %. [47]

*Tab. 4.2 Energetické parametry (převzato [45])*

| Energetický parametr | ZEVO Chotíkov | ZEVO Liberec | jednotka |
|---|---|---|---|
| Množství vstupního paliva (SKO) | 95 000 | 96 000 | [tun/rok] |
| Potenciální energie paliva | 893-950<br>248 000-264 000 | 960<br>267 000 | [Tj/rok]<br>[MWh/rok] |
| Celková využitá energie ze spalin | 749<br>208 000 | 850<br>236 000 | [Tj/rok]<br>[MWh/rok] |
| Celková účinnost zařízení | 78,8-83,8 | 88,4 | [%] |

V grafu (Obr. 4.2) je porovnání dodávky tepla do sítě CZT ve městě Brně v roce 2013 mezi teplárnami a spalovnou SAKO Brno, a.s. [48]




*Obr. 4.2 Porovnání dodávky tepla v Brně (převzato z [48])*

Celkové množství termicky využitého SKO, vyrobené elektrické energie a dodaného tepla do sítí CZT jednotlivých spaloven KO v ČR je v následující tabulce Tab. 4.3. Data byla převzata z výročních zpráv za rok 2013(spalovna v Liberci a Brně) či za rok 2014 (spalovna v Malešicích). [48], [49], [50]

*Tab. 4.3 Vyrobená elektrická energie a teplo (převzato z [48], [49], [50])*

| | **SAKO Brno, a.s.** | **TERMIZO a.s.** | **Pražské služby, a.s.** |
|---|---|---|---|
| Spálený SKO (t) | 239 000 | 95 815 | 311 900 |
| Tepelná energie (GJ/t) | 4,18 | 9,8 | 2,73 |
| Elektrická energie (MWh/t) | 0,19 | 0,22 | 0,12 |

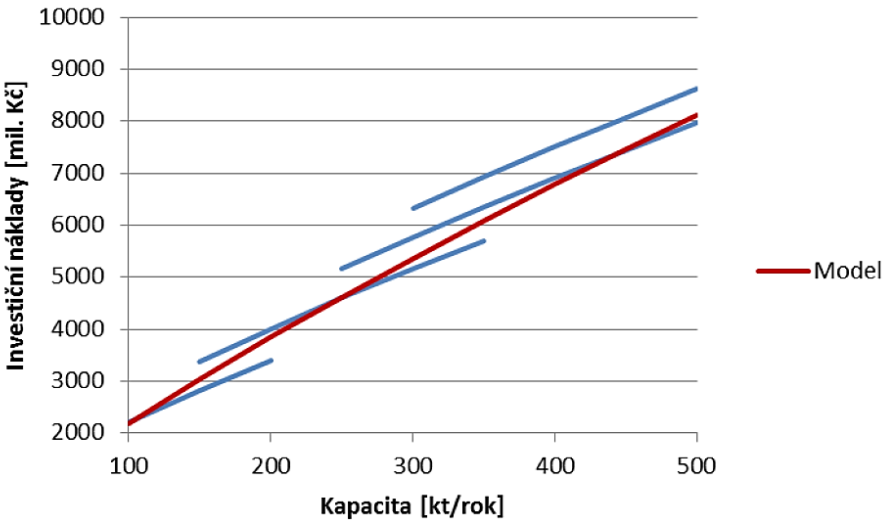
Příloha 7 obsahuje přehlednou tabulku s celkovou KVET v letech 2008 až 2010, kdy je vidět vzestupný trend ve výrobě tepla a elektřiny, kdy v roce 2008 bylo ve spalovnách KO vyrobeno 19 GWh elektrické energie a množství tepla 746 TJ. A v roce 2010 je navýšení výroby elektrické energie na 41 GWh a tepelné energie na 941 TJ. [48], [49], [50]

## 4.2 Ekonomické zhodnocení

Pro určení správné varianty dodávky elektrické energie a tepla je zapotřebí se řídit určitými ekonomickými ukazateli, jako jsou:

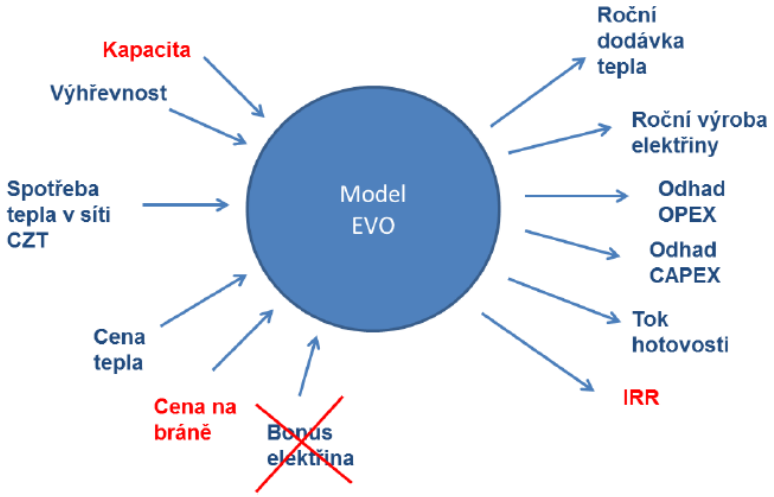
- průměrná výnosnost investic,
- doba návratnosti,
- aktualizace příjmových a výdajových položek,
- vnitřní úroková míra (IRR). [16]

Průměrná výnosnost investic a doba návratnosti souvisí s hodnotou vynaložených investic a dobou provozu či fyzickou dobou života. Je zřejmá přímá úměra mezi vynaloženými investičními náklady a provozní kapacitou dané spalovny (Obr. 4.3). Referenční cena v roce 2013 pro spalovnu s kapacitou 100 000 t/rok byla 2,2 mld. Kč. Nejvyšší položku v investičních nákladech cca 40 až 60 % představuje turbosoustrojí s veškerou související technologií. Zařízení pro využití tepla (kotel, výměníky, čerpadla, atd.) vycházejí cca na 15 až 30 % a dispečink a velín cca 5 až 15 % z celkových investičních nákladů. [16]




*Obr. 4.3 Přímá úměra mezi vynaloženými investičními náklady a provozní kapacitou dané spalovny (převzato z [46])*

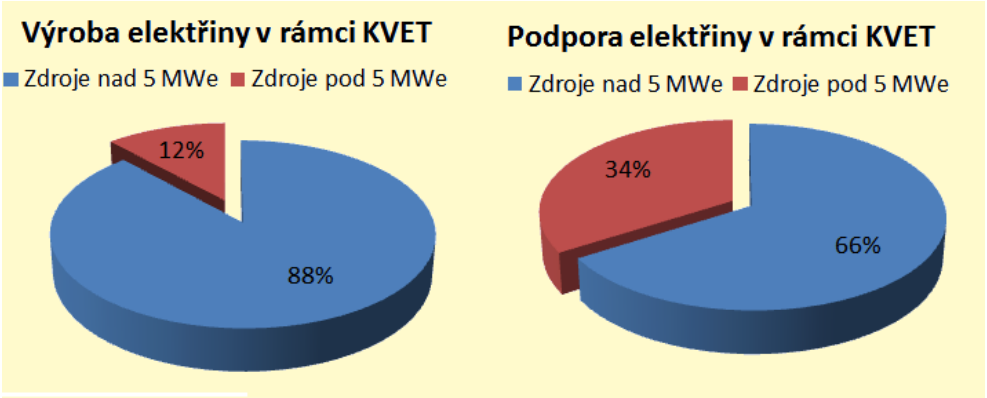
Předpokladem pro kladné výsledky ekonomických kritérií je znalost technicko-ekonomických ukazatelů celé spalovny (Obr 4.4) pomocí nichž se dá stanovit tzv. cena na bráně. Neboli částka, kterou zaplatí vlastník odpadu za to, že spalovna s ním ekologicky naloží. Technicko-ekonomické ukazatele zahrnují všechny výnosové a nákladové toky. Červeně jsou označeny položky, které jsou pro návrh nové spalovny nejpodstatnější. Pro dosažení ekonomické udržitelnosti se uvažuje IRR 10 %. Podpora z KVET může a nemusí být uvažována, záleží na konkrétním případě. [46]




*Obr. 4:4 Technicko – ekonomický model EV (převzato z [46])*

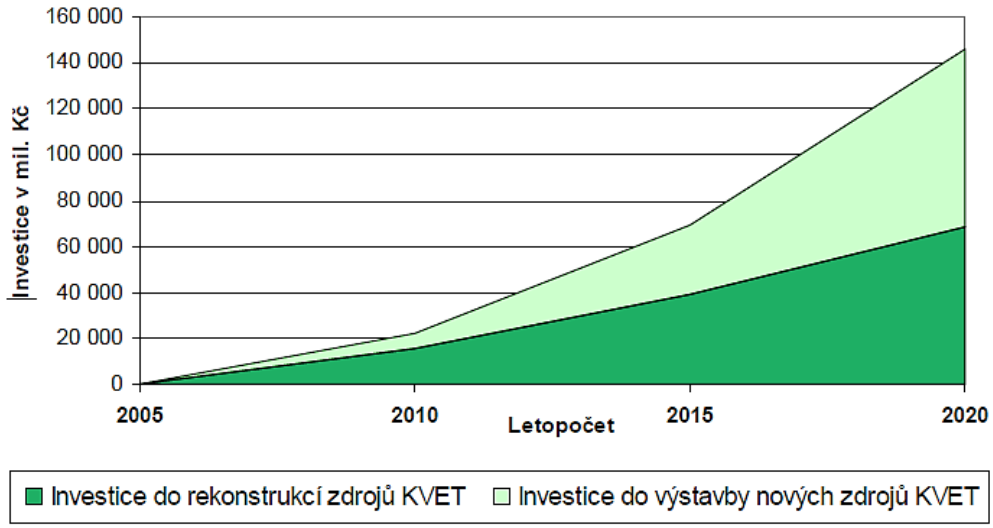
Přesně se nedá zjistit cena za odstranění komunálního odpadu, jelikož každé zařízení si jí stanovuje samo a k tomuto se také musí zohlednit množství odpadů, které se bude odstraňovat. Průměrná cena uložení komunálního odpadu na skládky se pohybuje okolo 1 260 Kč/t. Tato cena se velmi přiblížila ceně energetického využití komunálního odpadu, která činí 1 300 Kč/t [5]. Za předpokladu, že by obce upřednostnili EVO, dala by se snížit spotřeba primárních fosilních surovin (uhlí, plyn, topné oleje, atd.). Největší ekonomickou výhodou pro spalovny je, že za palivo v podobě komunálního odpadu neplatí, ale naopak za jeho odstranění získávají zaplaceno od původních vlastníků odpadů. Čímž mají na rozdíl od jiných energetických zdrojů KVET podstatnou výhodu. [46]

Navíc je EVO ve spalovnách směsných komunálních odpadů legislativně (viz. Kapitola 4) podporováno ze stany státu minimálně předpisem č. 352/2014 Sb., Nařízení vlády o Plánu odpadového hospodářství České republiky pro období 2015–2024. Rozsah podpory kombinované výroby elektrické energie a tepla a její výše je dána každý rok vyhláškou Energetického regulačního úřadu ERÚ. V České republice je tato podpora prováděná formou tzv. zelených bonusů. Zelené bonusy k ceně elektrické energie jsou dány pevně podle zákona č. 526/1990 Sb. o cenách. Ty-to bonusy vyplácí operátor trhu při každé vykázané MWh vyrobené elektřiny a to podle vyhlášky č. 453/2012 Sb. Pro rok 2014 jsou výše příspěvku podle ERÚ uvedeny v příloze 8. Pro KVET z obnovitelných zdrojů a spalování komunálního odpadu s instalovaným výkonem do 5 MW včetně je zelený bonus 45 Kč/MWh. V grafech je vidět celková výroba elektrické energie v rámci kogenerace v ČR a příslušný podíl podpory všech energetických zdrojů s KVET. [46]




*Obr. 4.5 Výroba a podpora elektřiny v rámci KVET (převzato z [20])*

Investiční náklady jsou poměrně velmi vysoké. Aby byl provoz ekonomicky výhodný, je nezbytná finanční podpora ze strany státu nejen podporou KVET ale i pomocí zelených bonusů. Návrh postupu vynakládání investic do rekonstrukcí a výstavby nových zdrojů KVET, kam patří i spalovny KO je na Obr. 4.6. Návrh je převzat ze zprávy o výsledcích analýzy vnitrostátního potenciálu kombinované výroby elektřiny a tepla v České republice podle směrnice 2004/8/ES, kterou si v roce 2006 nechalo vyhotovit Ministerstvo průmyslu a obchodu. [17]



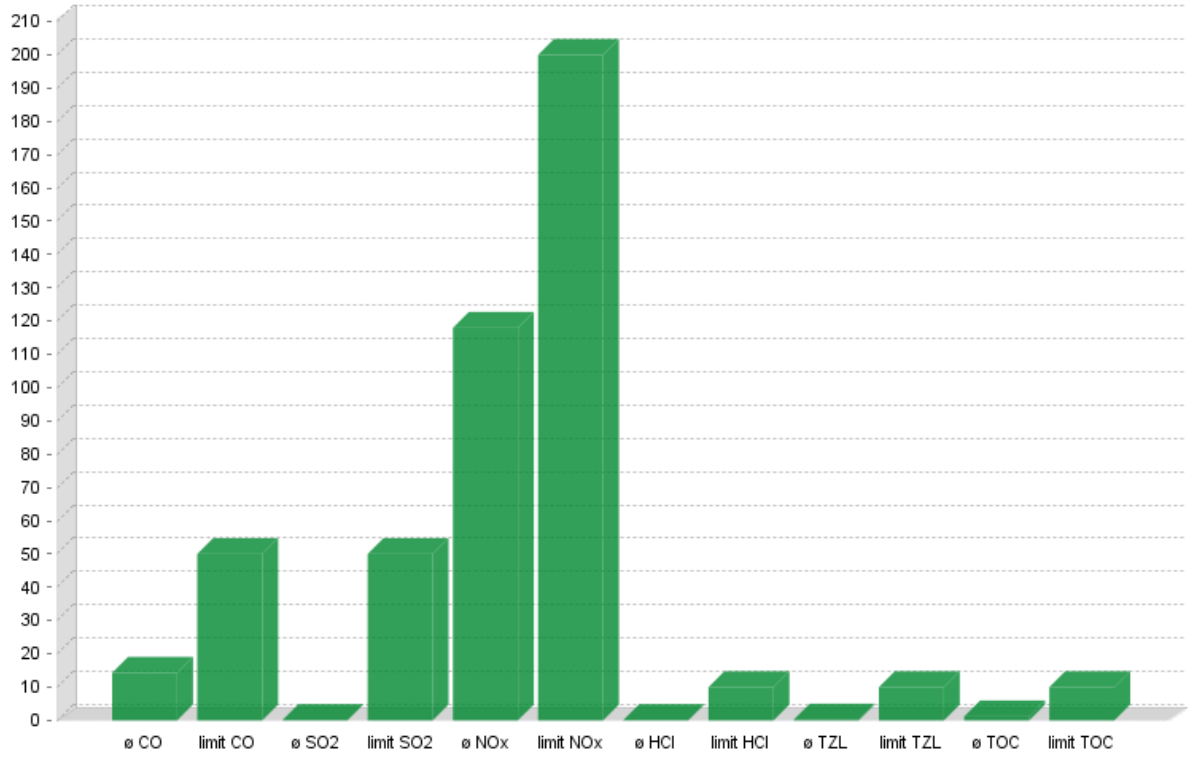

*Obr. 4.6 Postup vynakládáni investic do rekonstrukce a výstavby nových zdrojů KVET (převzato z [17])*

Přesná ekonomická bilance provozovaných spaloven v ČR se bohužel nepodařila sehnat. Přesto že jsou velmi vysoké investiční náklady, zejména na začátku do doby uvedení do provozu, tak díky dotacím a přiměřeně vysoké ceně odpadu na bráně bude ekonomická situace spaloven příznivá. Pokud by dané spalovny umožňovaly jen dodávku tepla nebo elektrické energie, tak bude jistě i ekonomická situace provozu horší než v případě využití technologie KVET. Především z hlediska zvýšení účinnosti tepelného oběhu a efektivního využití energetického potenciálu SKO. Záleží rovněž na ceně za skládkování a za EVO. V příloze 9 jsou celkové výnosy spalovny ZEVO Malešice v posledních pěti letech. Za rok 2014 dosahovaly částky 459 miliónů Kč. [17]

## 4.3 Dopad na životní prostředí

Jaký vliv mají spalovny komunálního odpadu na životní prostředí? Nedochází k znečištění ovzduší a jeho okolí? To je asi nejčastěji kladená otázka spojená se spalovnami KO. Veškeré spalovny spadají pod velmi přísný dohled a jsou hlídány legislativními předpisy. [56]

Zařízení ZEVO mají v porovnání se všemi elektrárnami, kotli na tuhá, plynná nebo kapalná paliva nejnižší zatížení ovzduší. A to u všech měřených škodlivin jako jsou emise, oxidy síry, oxidy dusíku, oxid uhelnatý apod. V příloze 10 jsou uvedeny hodnoty naměřených roční emisích z jednotlivých spaloven KO v ČR. Z daných hodnot a z grafu (Obr. 4.7), kde je zobrazeno množství emisí ze spalovny v Malešicích, je vidět, že všechny uvedené škodliviny vykazují pouze zlomky povolených limit, které jsou dány hygienickými normami. Pouze u $NO_X$, což je souhrnný název pro oxidy dusíku, se jedná o větší množství. Ale ani to zdaleka nedosahuje legislativně nepřípustných hodnot. Dochází zde i k měření dalších údajů, která se v ostatních energetických zařízeních nesledují. [15]




*Obr. 4.7 Množství emisí ze spalovny v Malešicích (převzato z [12])*

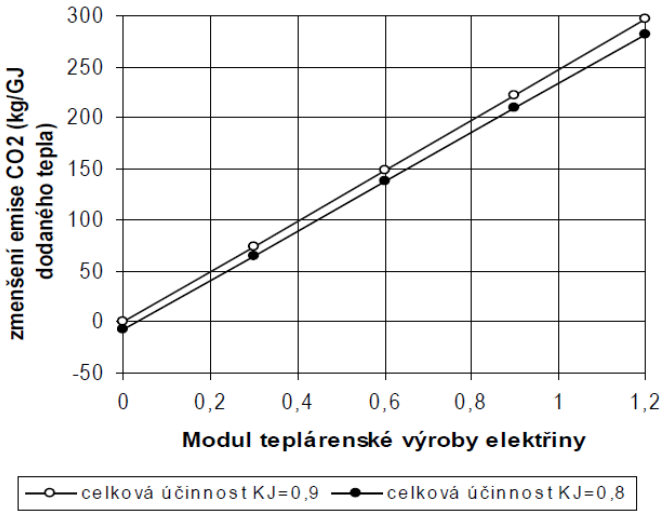
Jedním z dalších argumentů všech odpůrců je, že dochází k velké produkci dioxinů, tedy látky vznikající při nedokonalém spalování, která má karcinogenní účinky, tedy podporuje rakovinové bujení buněk. V první řadě je si třeba uvědomit, že dioxiny vznikají při jakémkoliv spalovacím procesu, kterými jsou třeba provoz elektrárny, lesní požár, běžné kotle v domácnosti ale i třeba ohňostroj nebo dokonce grilování doma na zahradě. Vzhledem k tomu, že nikde jinde než u spaloven se produkce nesleduje, tak veřejnost nemá o jejich vzniku ponětí. V dnešní době jsou všechny spalovny vybaveny speciálními zařízeními na destrukci dioxinů. Ve spalovně v pražských Malešicích bylo instalováno zařízení dediox, které stálo přibližně 260 miliónů korun. Pomocí toho zařízení se podařilo snížit produkci dioxinů téměř o 70%. Pokud jsou do odpadu vyhazovány věci, které úplně nepatří mezi komunální odpad, přispívá se tím k tomu, že pří spalování mohou vznikat dioxiny a jiné nebezpečné látky. Těmito nebezpečnými odpady můžou být například zářivky, teploměry, akumulátory, léky a třeba i barvy. Pro představu při oslavách nového milénia v Londýně byl použit ohňostroji, který vyprodukoval více dioxinů než místní spalovnou za posledních 10 let. [15]

V Tab. 4.4 jsou naměřené hodnoty emisí vyprodukované v roce 2010, kdy bylo ve spalovnách KO energeticky využito celkem 486 000 t odpadu. Vliv těchto zařízení na životní prostředí je zcela zanedbatelný. [29]

*Tab. 4.4 Množství emisí v tunách (k roku 2010)[29]*

| | **Energetické využití odpadu** | **Celkem stacionární zdroje** | **Podíl energetického využití** |
|---|---|---|---|
| Tuhé emise | 3 | 33 440 | 0,01% |
| Oxid siřičitý $SO_2$ | 17 | 169 733 | 0,01% |
| Oxidy dusíku $NO_X$ | 371 | 131 301 | 0,28% |
| Těkavé látky | 2 | 114 965 | 0.00% |

Množství emisí $CO_2$ z energetických zařízeních KVET závisí na modulu teplárenské výroby elektřiny a na celkové účinnosti kogenerační jednotky viz Obr. 4.8. U spalovny KO s KVET je proto možné snížit množství $CO_2$ zvýšením modulu teplárenské výroby, tj. zvýšením množství vyrobené elektrické energie oproti energii tepelné. [16]

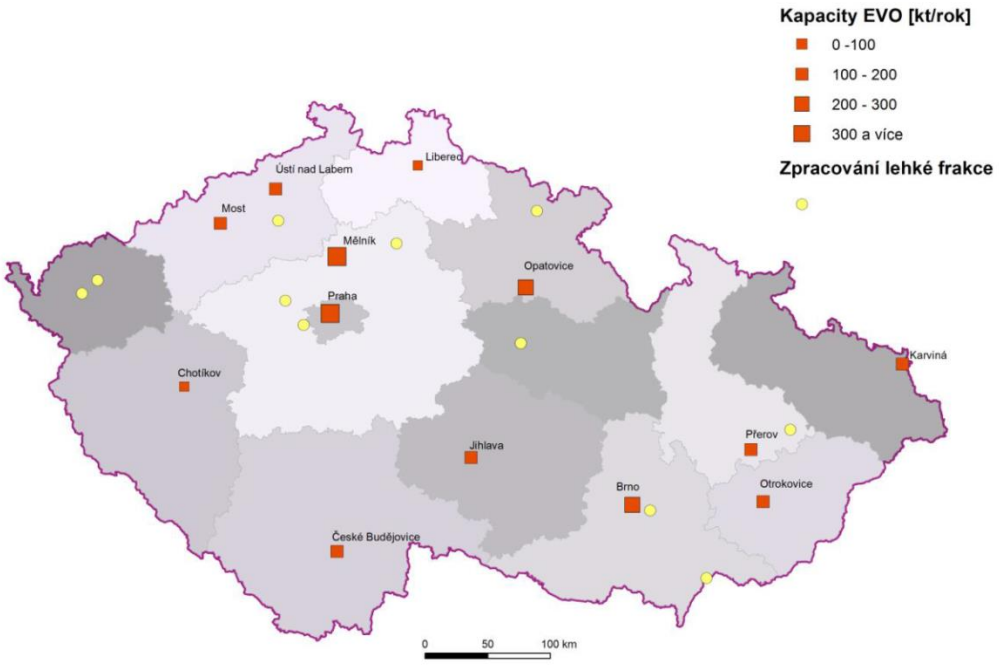



*Obr. 4.8 Snížení emisí CO2, při dodávce 1 GJ tepla z kogenerační jednotky (převzato z [16])*

# 5 Možný budoucí vývoj energetického využití KO v ČR

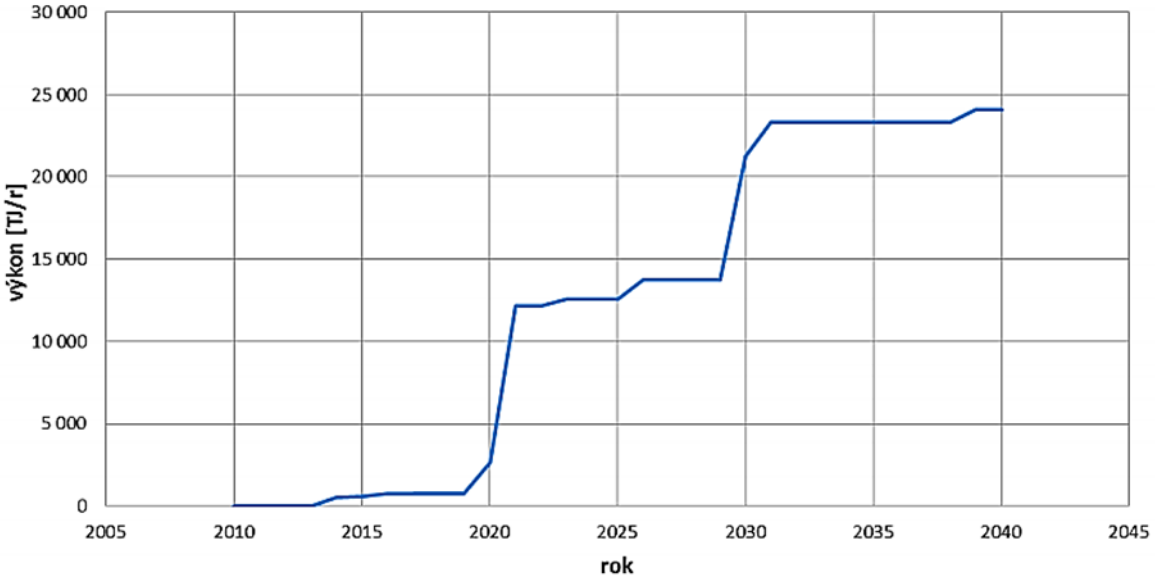
V dnešní době se se zvětšujícím se zájmem o ochranu životního prostředí změnil i pohled na vnímání odpadu. Už není brán pouze jako odpad neboli něco, čeho se chceme po jeho využití k primárnímu účelu zbavit. V současnosti se na odpad častěji nahlíží jako na lokální zdroj energie. Nezanedbatelné je i jeho využití, jakož to zdroje druhotných surovin, kterými mohou být železné a neželezné kovy, sklo, papír a v podstatě veškeré suroviny, které lze opětovně použít. Význam energetického využití odpadů je dvojí. Za prvé se snižuje závislost na primárních zdrojích a za druhé se zabraňuje vzniku nových skládek. [46]

V rámci záměru zvýšení EVO a zamezení ukládání SKO na skládky byla v roce 2013 vypracována na požadavek Ministerstva průmyslu a obchodu studie „Modelování dopadů podpory energetického využití odpadů na konečného spotřebitele za podmínek zákazu skládkování“. Studie předpokládá úplný zákaz skládkování a uvažuje, co největší nárůst EVO. S tím souvisí i nutnost zvýšení celkové kapacity EVO v ČR. A to pokrytím stávajících spaloven a výstavbou nových zpracovatelských kapacit. Dle studie by se mělo do roku 2025 postavit 11 nových spaloven za cca 49 mld. Kč (Obr. 5.1). Čímž by se celkem dalo zpracovat ročně 2 800 kt odpadu, z toho cca 640 kt by se spálilo v současných spalovnách KO, tj. v Termizo Liberec, ZEVO Malešice a SAKO Brno. [46]



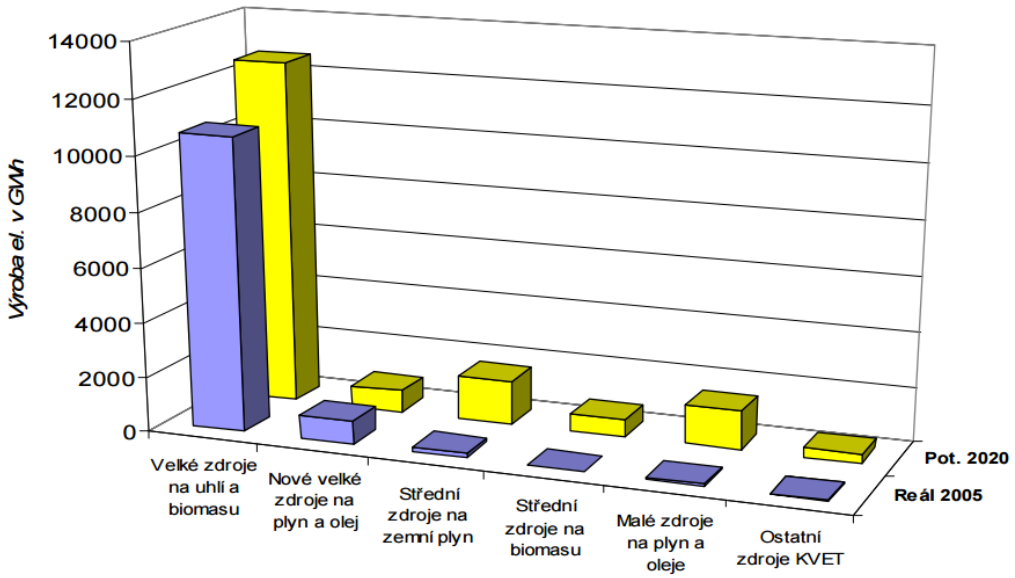

*Obr. 5.1 Umístění nových spaloven (převzato z [46])*

Snižující se zásoby fosilních paliv bude nutné nahradit jinými zdroji a právě spalování směsného komunálního odpadu je jednou z potenciálních možností. Odpad se vždy produkoval a bude i nadále. Navíc, jak již bylo zmíněno výše, má velký energetický potenciál, a proto by byla velká škoda ho nevyužít. Stejně tak je i nezanedbatelný fakt, že díky spalování KO ubyde množství skládek, zejména pak skládek černých, které nejsou nijak řízené. Na Obr. 5.2 je zobrazena prognóza množství tepla, které bude muset být vyrobeno z jiných primárních zdrojů v závislosti na chybějících fosilních palivech a dožívajících teplárnách. V příloze 11 je uvedena mapka vyznačující zařízení EVO po roce 2025 s tranzitními trasami pro sběr a svoz SKO. [46]




*Obr. 5.2 Prognóza množství tepla, které bude muset být vyrobeno z jiných primárních zdrojů (převzato z [46])*

Dále v příloze 12 a na Obr. 5.3 je možné vidět ekonomický potenciál všech zdrojů KVET do roku 2020, kde KO jsou zahrnuty v položce Ostatní zdroje KVET. Předpokládaný nárůst ekonomického potenciálu není až tak velký. Je to především tím, že v době, kdy byl tento graf vyhotoven, stát svojí energetickou koncepcí podporoval hlavně zdroje spalující biomasu a zemní plyn. Se současným energetickým a legislativním postojem se dá do budoucna předpokládat, že ekonomický potenciál spaloven odpadů bude růst. Toto nastane ale jen za podmínky finanční, energetické a legislativní podpory ze strany státu. [46], [14]

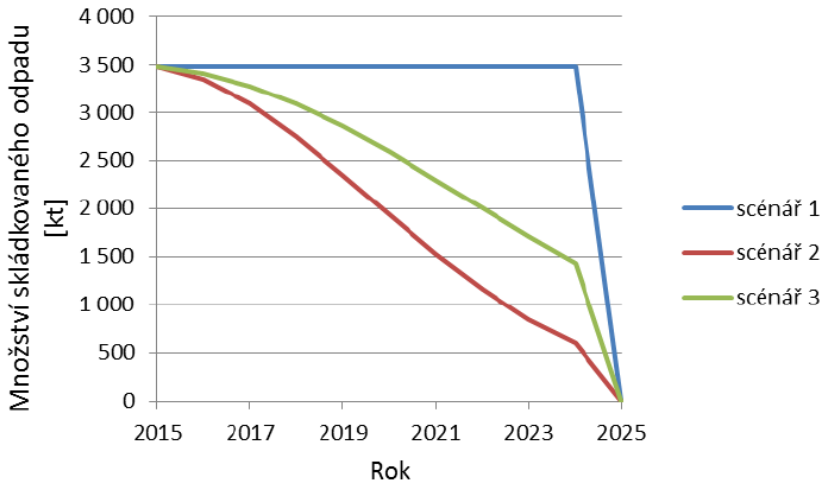



*Obr. 5.3 Ekonomický potenciál všech zdrojů KVET do roku 2020 (převzato z [14])*

Studie [46] zaměřená na vývoj EVO analyzuje tři scénáře vývoje produkce spalitelných odpadů:

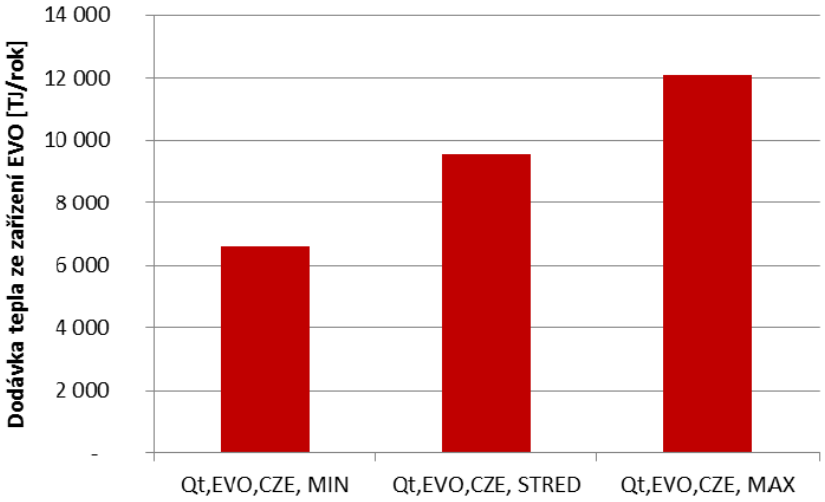
- 1. scénář – 0 % roční nárůst,
- 2. scénář – 0,75 % roční nárůst,
- 3. scénář – 2% roční nárůst. [46]

V grafu (Obr. 5.4) je naznačen výsledný průběh množství odpadu ukládaného na skládky v období následujících deseti letech. [46]

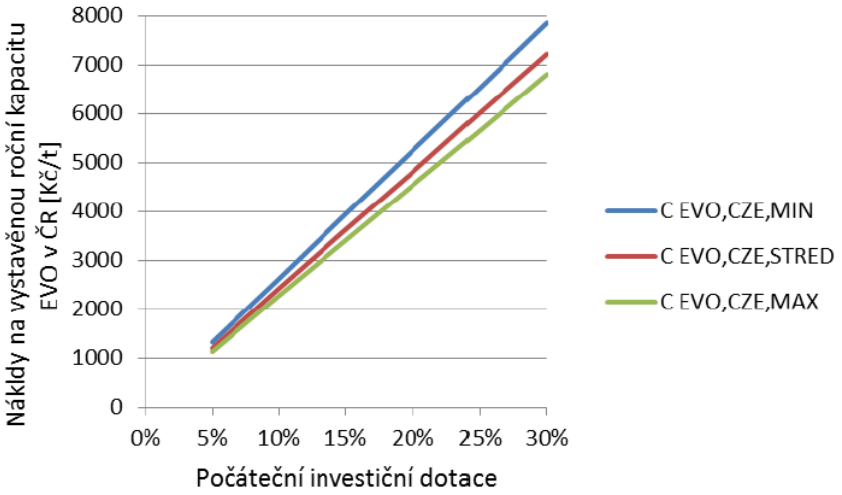



*Obr. 5. 4 Množství odpadu ukládaného na skládky (převzato z [46])*

Následně studie vyhodnocovala KVET na základě tří variant celkové zpracovatelské kapacity v rámci ČR (MIN, STRED, MAX). MIN odpovídá množství 1 940 kt/rok, STRED je 2 590 kt/rok a MAX je 3 560 kt/rok. Výsledky analýzy (potenciální dodávka tepla a investiční náklady) jsou na Obr. 5.5 a 5.6 a v příloze 13 je vztah mezi hodnotou počáteční investice a průměrnou cenou na bráně, tj. cenou za kterou bude odpad zpracován. Čím budou dotace i celková kapacita všech zařízení vyšší, tím bude výsledná cena na bráně nižší a tím bude i menší dopad na původního vlastníka odpadu či potenciálních odběratelů elektrických a tepelných energií. [46]




*Obr. 5.5 Potenciální dodávka tepla (převzato z [46])*




*Obr. 5.6 Investiční náklady (převzato z [46])*

# Závěr

Cílem této práce bylo seznámit se s principy kombinované výroby elektrické energie a tepla a analyzovat vhodnost jejího využití ve spalovnách komunálních odpadů. Úvodní teoretická část práce obsahuje vysvětlení fyzikálního principu kogenerace a její výhody a nevýhody. I přesto, že jsou investiční náklady a doba návratnosti investic vysoké, je její nespornou předností celková účinnost využití energie paliva, která je přibližně o 20 % vyšší oproti oddělené výrobě elektrické energie a tepla. Její hodnota je ovlivněna nejen výhřevností paliva, ale rovněž i modulem teplárenské výroby, tj. podílem elektrického a tepelného výkonu.

Technologie KVET je vhodná téměř pro všechny primární zdroje, kterými mohou být i odpady. EVO ve spalovnách komunálních odpadů musí být v souladu s platnými legislativními předpisy. V současné době neexistuje samostatný zákon týkající se této problematiky. Provoz spaloven s KVET je podmíněn dodržováním zejména zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech; zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší; zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, atd. Nejdůležitější je novela zákona odpadového hospodářství, která zakazuje od roku 2024 skládkování SKO. Navíc dle nařízení vlády o plánu odpadového hospodářství na roky 2015 až 2024 se předpokládá maximální využití odpadů jako náhrady primárních zdrojů.

Stěžejní částí práce bylo posouzení vhodného využití KVET ve spalovnách komunálního odpadu z energetického, ekonomického a ekologického hlediska. Což bylo provedeno na základě dostupných informací a dat ze stávajících provozovaných spaloven SKO s KVET v České republice. V dnešní době existují pouze tři TERMIZO, a.s., SAKO Brno, a.s., ZEVO Malešice. Z energetického hlediska má KVET ve spalovnách komunálního odpadu do budoucna velký potenciál. Nejen pro to, že jeho výhřevnost je takřka stejná jako u hnědého uhlí, ale i pro to, že se do jisté míry jedná o „obnovitelný zdroj energie“. A to z toho důvodu, že se neustále produkuje. Může se tedy v budoucnu stát energetickou náhradou za docházející fosilní paliva.

Aby byl takovýto provoz výhodný i z ekonomického pohledu, je nezbytná jakákoliv finanční a legislativní podpora státu, ať již pomocí dotací KVET, zelených bonusů či jiných prostředků. Největší výhodou je bezesporu fakt, že při energetickém zpracování komunálního odpadu odpadají spalovnám náklady za pořízení paliva. Naopak získávají za odstranění odpadu zaplaceno.

Z ekologického hlediska je provoz spaloven komunálních odpadu velmi šetrný k ovzduší, jelikož nedochází k vypouštění emisí a škodlivých spalin. Spalovny jsou přísněji hlídané ohledně emisí a při správném třídění nedochází k tak velké produkci škodlivin. Nezměrnou výhodou z ekologického hlediska je předcházení vzniku skládek a snižování již vyprodukovaných odpadů.

Do budoucna se tedy jedná o jednu z nejlepších dostupných technologií výroby elektrické a tepelné energie. Zásoby fosilních paliv na Zemi se každým dnem razantně snižují a bude zapotřebí je nahradit jinými primárními zdroji. Jednou z možných alternativ je právě směsný komunální odpad. Na základě požadavku Ministerstva průmyslu a obchodu byla zhotovena studie, která poukazuje na možné EVO všech produkovaných odpadů na našem území, za předpokladu úplného zákazu skládkování. Předpokládá se výstavba cca 11 nových spaloven s KVET. Jednou z nich měla (či má) být spalovna v Chotíkově, jejíž výstavba je soudně zastavena. V porovnáním s ostatními vyspělými státy EU jsme v EVO velmi pozadu. S rostoucím trendem ochrany životního prostředí se jedná výhledově a jednu z nejlepších možností využívání komunálního odpadu. Proč tedy ukládáme odpad na skládky, když ho lze energeticky využít a zcela nevyčerpat zdroje fosilních paliv?

# Seznam literatury a informačních zdrojů

[1] NAJMAN, Ondřej. *Kombinovaná výroba elektřiny a tepla* [online]. Plzeň, 2012 [cit. 2015-02-12]. Diplomová práce. ZČU.

[2] [online]. [cit. 2015-02-12]. Dostupné z:http://files.ppas.cz/zemni-plyn/plynove-spotrebice

[3] DVORSKÝ, Emil, HEJTMÁNKOVÁ, Pavla. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 287 s. ISBN 80-7300-118-7.

[4] [online]. [cit. 2015-03-18]. Dostupné z:http: Vlastní zdroj

[5] [online]. [cit. 2015-03-23]. Dostupné z:http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=kolik_nas_stoji_odpady&site=odpady

[6] [online]. [cit. 2015-03-23]. Dostupné z:http://home.zcu.cz/~dvorsky/

[7] DVORSKÝ, Emil, HEJTMÁNKOVÁ, Pavla. *Elektrárny: zvyšování účinnosti přeměn energie v tepelných elektrárnách - příklady*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, Elektrotechnická fakulta, 1999, 184 s. ISBN 80-7082-523-5.

[8] IBLER, Zdeněk. *Technický průvodce energetika*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2002, 615 s. ISBN 80-7300-026-1.

[9] [online]. [cit. 2015-04-09]. Dostupné z:http://www.transformacni-technologie.cz/aplikace- zakonu-termodynamiky-pri-transformaci-energie.html

[10] [online]. [cit. 2015-04-09]. Dostupné z:http://eamos.pf.jcu.cz/amos/kat_fyz/modules/low/kurz_text.php?identifik=kat_fyz_7356_t&id_kurz=&id_kap=8&id_teach=&kod_kurzu=kat_fyz_7356&id_kap=8&id_set_test=&search=&kat=&startpos=3)

[11] [online]. [cit. 2015-04-09]. Dostupné z:http://www.transformacni-technologie.cz/parni-turbina-v-technologickem-celku.html

[12] [online]. [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: http://www.psas.cz/index.cfm/sluzby-firmam/zarizeni-pro-energeticke-vyuzivani-odpadu/monitoring-emisi/

[13] [online]. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z:http://www.kombinovana-vyroba.cz/?id=0100

[14] KARAFIÁT, Josef. *Sborník technických řešení zdrojů s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla*. Praha, 2006.

[15] [online]. [cit. 2015-04-26]. Dostupné z:www.stredoceska-kampan.cz/...odp.../Clanek_Spalovani_odpadu.doc

[16] KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. *Kogenerační jednotky - zřizování a provoz*. 1. vyd. Praha: GAS, 2007, 201 s. GAS. ISBN 978-80-7328-151-9.

[17] [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z:http://www.mpo.cz/dokument10372.html

[18] [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z:http://www.tenergoteam.cz/princip-kogenerace

[19] [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z:http://www.ekowatt.cz/uspory/kogenerace.shtml

[20] [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: http://www.kombinovana-vyroba.cz/?id=151505#

[21] [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z:http://canov.jergym.cz/termoche/termoche/spalny.htm

[22] RAKOVÁ, Lenka. *Využití technologie mechanicko-biologické úpravy komunálního odpadu k výrobě paliva pro výrobu elektrické energie*. Plzeň, 2011. Diplomová práce. ZČU.

[23] Zákon o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. *Předpis č.165/2012* Sb.

[24] [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z:http://www.odpadjeenergie.cz

[25] [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z:http://www.odpady-ape.cz/cs/o-odpadech/jak-zachazet-s-odpady.html

[26] [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=hierarchie_nakladani_s_odpady&site=odpady

[27] [online]. [cit. 2015-05-29]. Dostupné z:http://energetika.tzb-info.cz/energie-z-odpadu/11897-spalovny-odpadu-odpad-jako-palivo

[28] [online]. [cit. 2015-05-30]. Dostupné z:http://www.evokomorany.cz/index.php/technologie/energeticke-vyuzivani-odpadu

[29] [online]. [cit. 2015-05-30]. Dostupné z:http://www.tretiruka.cz/news/cr-potrebuje-rychlou-zmenu-odpadove-legislativy/

[30] [online]. [cit. 2015-06-01]. Dostupné z:http://files.odpady.webnode.cz/200005451-a7895a8884/odpady_čsu_1.jpg

[31] [online]. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z:http://biom.cz/cz/odborne-clanky/rozvoj-vystavby-linek-mechanicko-biologicke-upravy-komunalnich-odpadu-v-ceske-republice

[32] [online]. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z:http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=spalovny_odpadu&site=odpady

[33] [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z:http://www.odpadjeenergie.cz/vyroba-energie/zarizeni-evo-v-cr/kde-se-u-nas-vyrabi-energie-z-odpadu

[34] [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z:http://www.psas.cz/index.cfm/sluzby-firmam/zarizeni-pro-energeticke-vyuzivani-odpadu/energeticke-vyuzivani-odpadc5af/

[35] [online]. [cit. 2015-04-12]. Dostupné z:http://www.psas.cz/psas/assets/File/NEW%20SCHEMA%20KOGENERACE.pdf

[36] [online]. [cit. 2015-04-12]. Dostupné z:http://www.termizo.mvv.cz/technologie/technologie/

[37] [online]. [cit. 2015-02-12]. Dostupné z: http://www.termizo.mvv.cz/

[38] [online]. [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: http://www.sako.cz/stranka/cz/8/o-spolecnosti/

[39] [online]. [cit. 2015-04-21]. Dostupné z:http://www.sako.cz/stranka/cz/62/technologicky-proces/

[41] [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z:http://www.chmu.cz/files/portal/docs/uoco/oez/emise/spalovny/index.html

[42] [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z:http://www.spalovna.info/

[43] [online]. [cit. 2015-04-12]. Dostupné z:http://www.spalovna.info/archiv/veda-odpady-spalovny.html

[44] [online]. [cit. 2015-03-24]. Dostupné z:http://www.spalovna.info/#technologie

[45] [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z:http://energetika.tzb-info.cz/energie-z-odpadu/11897-spalovny-odpadu-odpad-jako-palivo

[46] [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z:http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/ef13_3101_eveco_studie_dopadu_en._vyuziti_odpadu_na_spotrebitele.pdf

[47] MACHANÍČEK, Martin. *Porovnání emisí škodlivin ze zařízení na energetické využívání odpadů, spaloven odpadů a klasických energetických zdrojů*. Plzeň, 2013. Diplomová práce. ZČU.

[48] [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z:http://www.sako.cz/vyrocni-zpravy/cz/

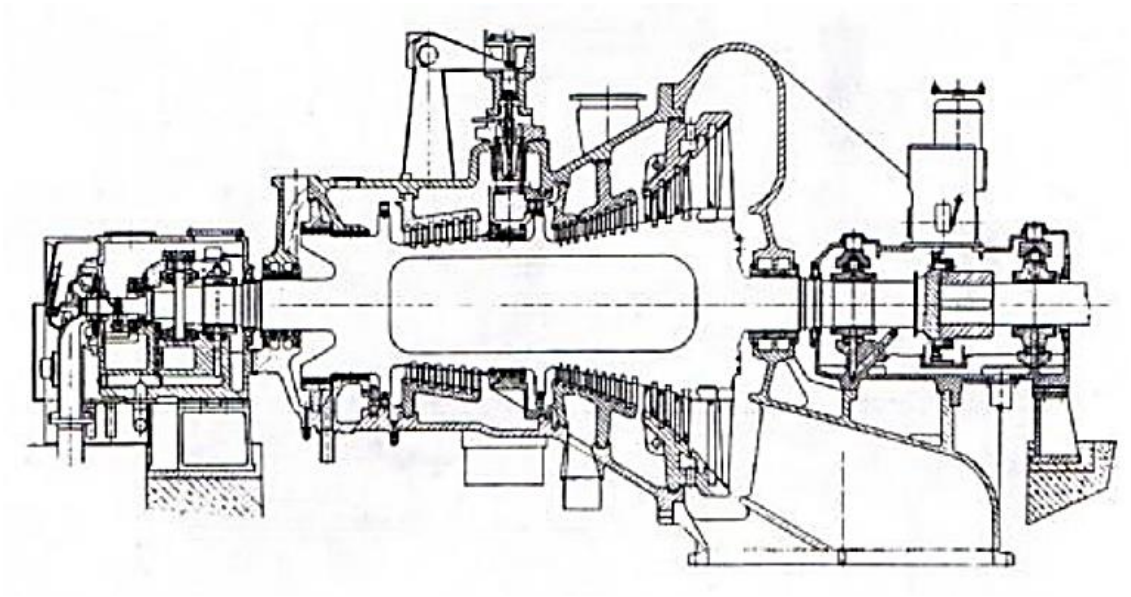
[49] [online]. [cit. 2015-06-01]. Dostupné z:http://www.termizo.mvv.cz/wp-content/uploads/2014/09/rocni_zprava_2013.pdf

[50] [online]. [cit. 2015-06-02]. Dostupné z:http://www.psas.cz/index.cfm/info-pro-akcionare/2015/vyrocni-zprava-2014/

# Přílohy

## Příloha 1: Odběrová parní turbína a její vlastnosti

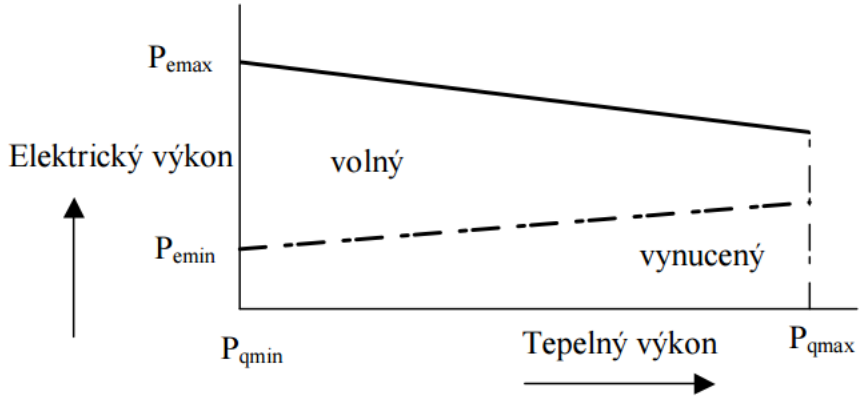
### Řez odběrovou parní turbínou



### Přehled typických parametrů páry odběrových parních turbín

| | Jedn. | **Parní odběrové turbíny** | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Výkonový rozsah turbíny | MWe | **6 ÷ 30** | **30 ÷ 60** | **60 ÷ 200** | **> 200** |
| Admisní tlak páry | MPa | 3,5 ÷ 9,0 | 9,0 ÷ 13,0 | 13,0 | 16,0 |
| Admisní teplota páry | °C | 440 ÷ 535 | 535 | 535 | 535 |
| Tlaky páry v odběrech | MPa | 0,1 ÷ 1,3 | 0,1 ÷ 1,8 | 0,1 ÷ 3,6 | 0,1 ÷ 3,6 |
| Tlak páry do kondenzace | MPa | 0,035 ÷ 0,04 | 0,035 ÷ 0,04 | 0,035 ÷ 0,04 | 0,035 ÷ 0,04 |
| Teplárenský modul | - | 0,20 ÷ 0,38 | 0,34 ÷ 0,46 | 0,38 ÷ 0,48 | 0,40 ÷ 0,50 |

## Závislost elektrického a tepelného výkonu odběrové parní turbíny




## Přehled rozsahu dosahovaných účinností zdrojů KVET s POT

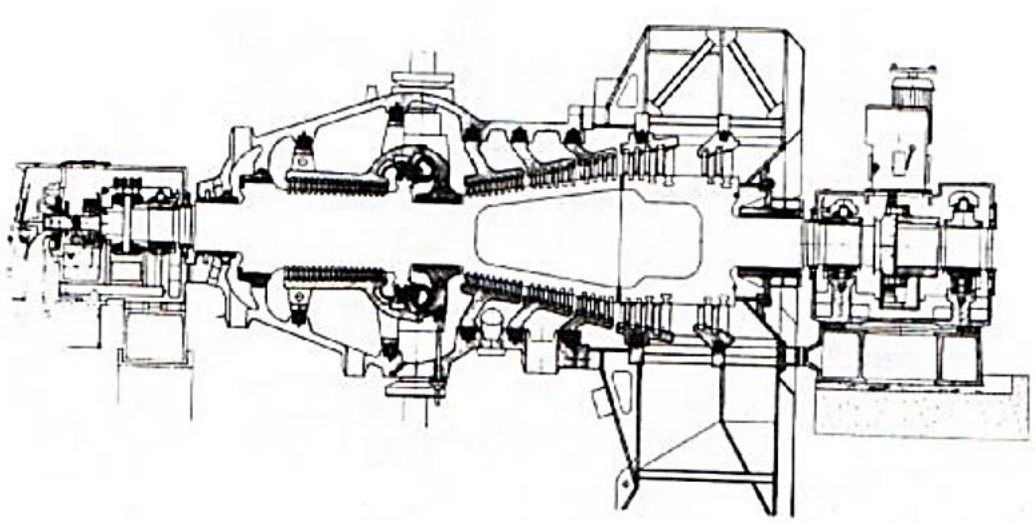
| | Jedn. | **Parní odběrové turbíny** | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Výkonový rozsah turbíny | MWe | **6 ÷ 30** | **30 ÷ 60** | **60 ÷ 200** | **> 200** |
| Minimální celková účinnost | % | 25 ÷ 30 | 30 ÷ 34 | 34 ÷ 38 | 38 ÷ 42 |
| Maximální celková účinnost | % | 65 ÷ 75 | 60 ÷ 70 | 55 ÷ 65 | 50 ÷ 60 |

## Rozsah maximálních dodávek tepla a měrných poklesů elektrického výkonu

| | Jedn. | **Parní odběrové turbíny** | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Výkon. rozsah turbíny $Pe_{max}$ | MWe | **6 ÷ 30** | **30 ÷ 60** | **60 ÷ 200** | **> 200** |
| Max. tepelný výkon $Pq_{max}$ | MWt | 15 ÷ 60 | 60 ÷ 110 | 100 ÷ 200 | 200 |
| Měr. pokles el. výkonu $\Delta p_e$ | MWe/MWt | 0,12 ÷ 0,2 | 0,11 ÷ 0,22 | 0,1 ÷ 0,25 | 0,08 ÷ 0,24 |

# Příloha 2: Protitlaková parní turbína a její vlastnosti

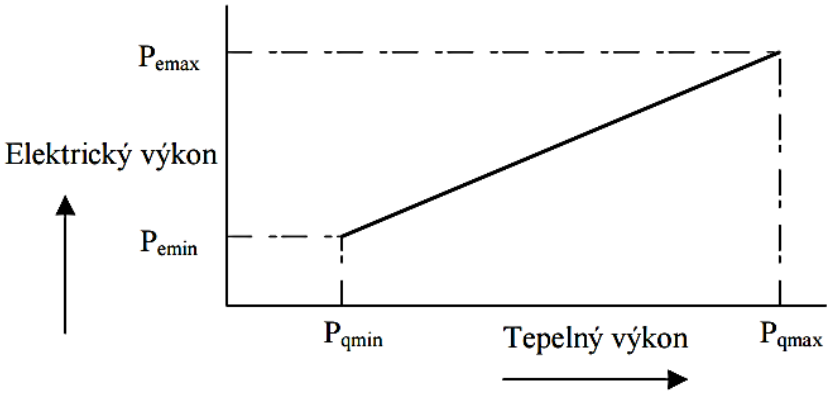
## Řez protitlakovou parní turbínou



## Přehled typických parametrů páry protitlakových parníchturbín

| | Jedn. | **Parní protitlakové turbíny** | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Výkonový rozsah turbíny | MWe | **0,01 ÷ 1,0** | **1,0 ÷ 6,0** | **6,0 ÷ 35,0** | **>35,0** |
| Admisní tlak páry | MPa | 0,5 ÷ 2,0 | 2,3 ÷ 6,0 | 9,0 ÷ 13,0 | 13,0 ÷ 16,0 |
| Admisní teplota páry | °C | 200 ÷ 300 | 360 ÷ 480 | 535 | 535 |
| Emisní tlak páry | MPa | 0,1 ÷ 0,8 | 0,1 ÷ 1,3 | 0,1 ÷ 1,8 | 0,1 ÷ 1,8 |
| Teplárenský modul | - | 0,05 ÷ 0,2 | 0,10 ÷ 0,35 | 0,15 ÷ 0,42 | 0,2 ÷ 0,45 |

## Závislost elektrického e tepelného výkonu protitlakové parní turbíny

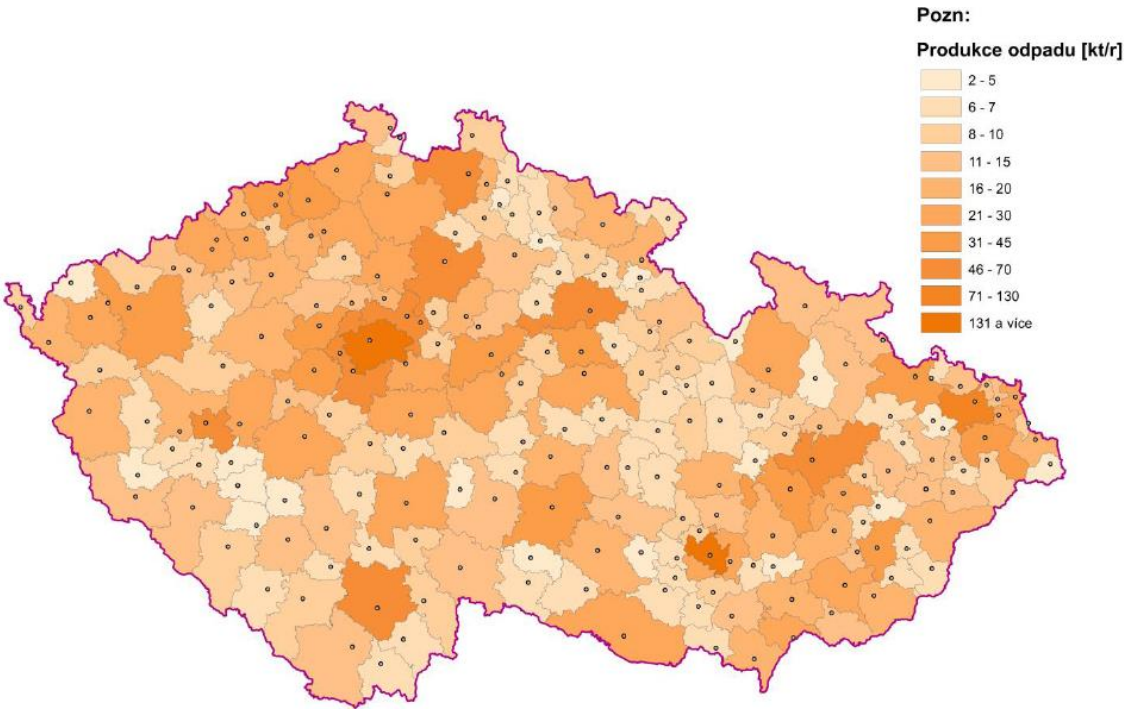



## Přehled běžných účinností zdrojů KVET s protitlakovými turbínami

| | Jedn. | **Parní protitlakové turbíny** | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Výkonový rozsah zdroje | MWe | **0,01 ÷ 1,0** | **1,0 ÷ 6,0** | **6,0 ÷ 35,0** | **>35,0** |
| Účinnost výroby el. en. | % | 5 ÷ 15 | 10 ÷ 20 | 15 ÷ 25 | 20 ÷ 30 |
| Účinnost výroby tepla | % | 55 ÷ 70 | 55 ÷ 70 | 55 ÷ 70 | 60 ÷ 65 |
| Celková účinnost zdroje | % | 65 ÷ 75 | 75 ÷ 80 | 80 ÷ 85 | 85 ÷ 90 |

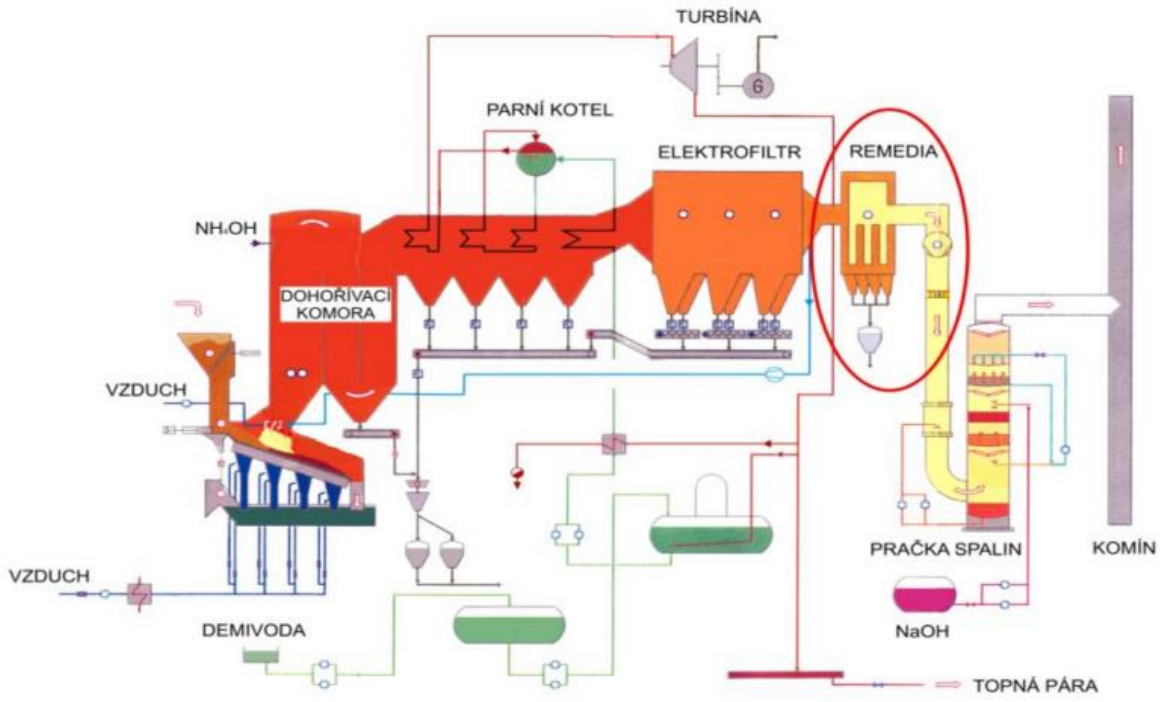
# Příloha 3:

## Produkce komunálních odpadů vhodných pro zpracování v EVO (kt/rok)

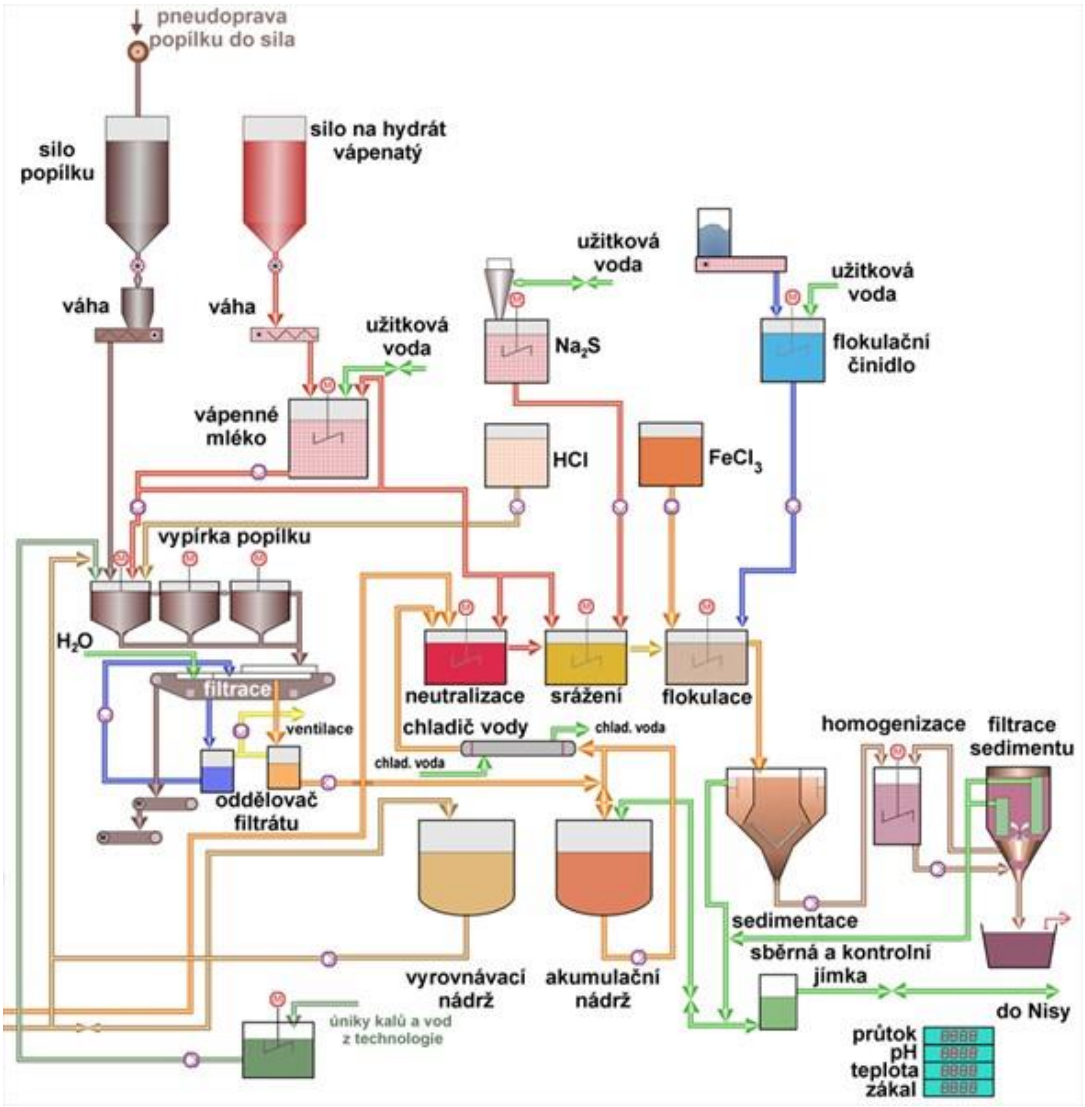


# Příloha 4: Spalovna TERMIZO, a.s.

## Schéma spalovny TERMIZO, a.s.

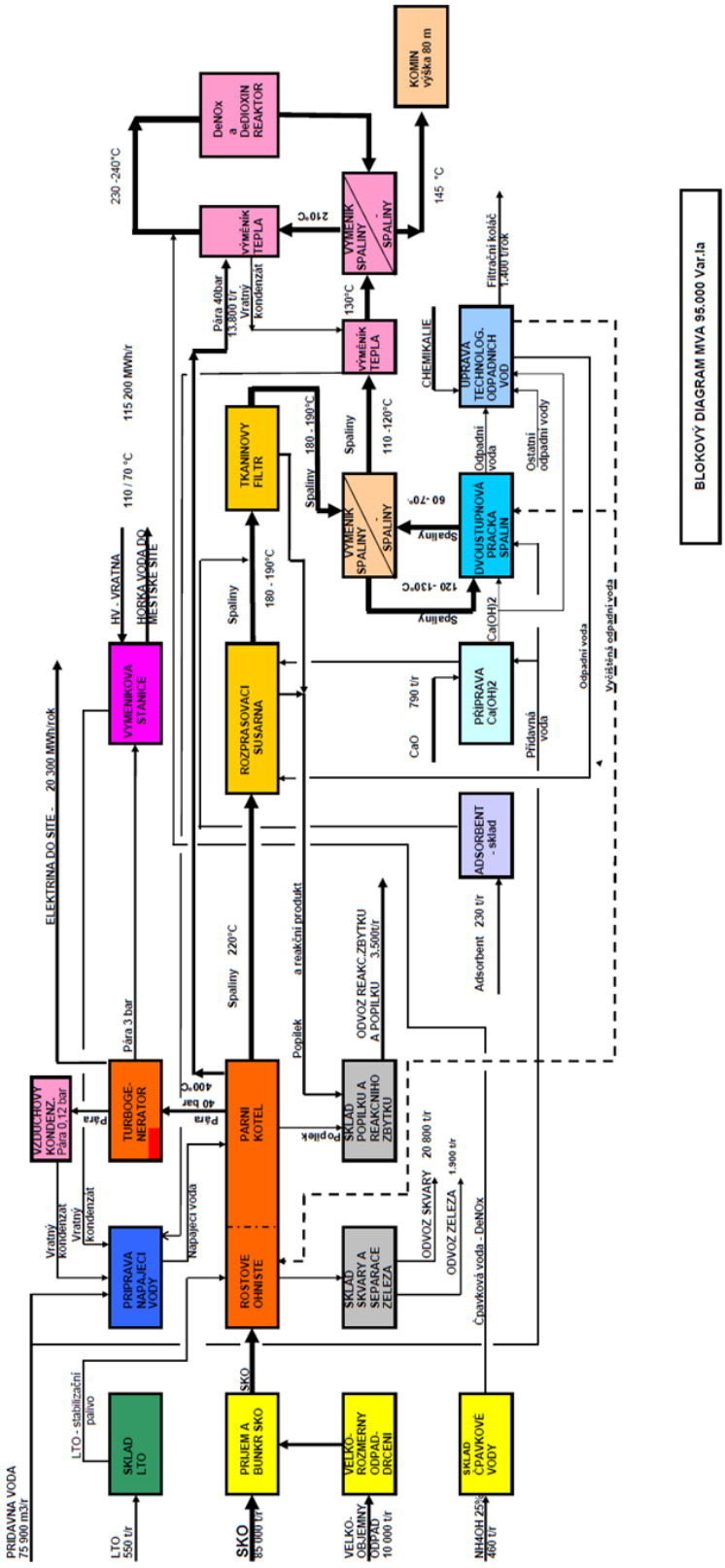


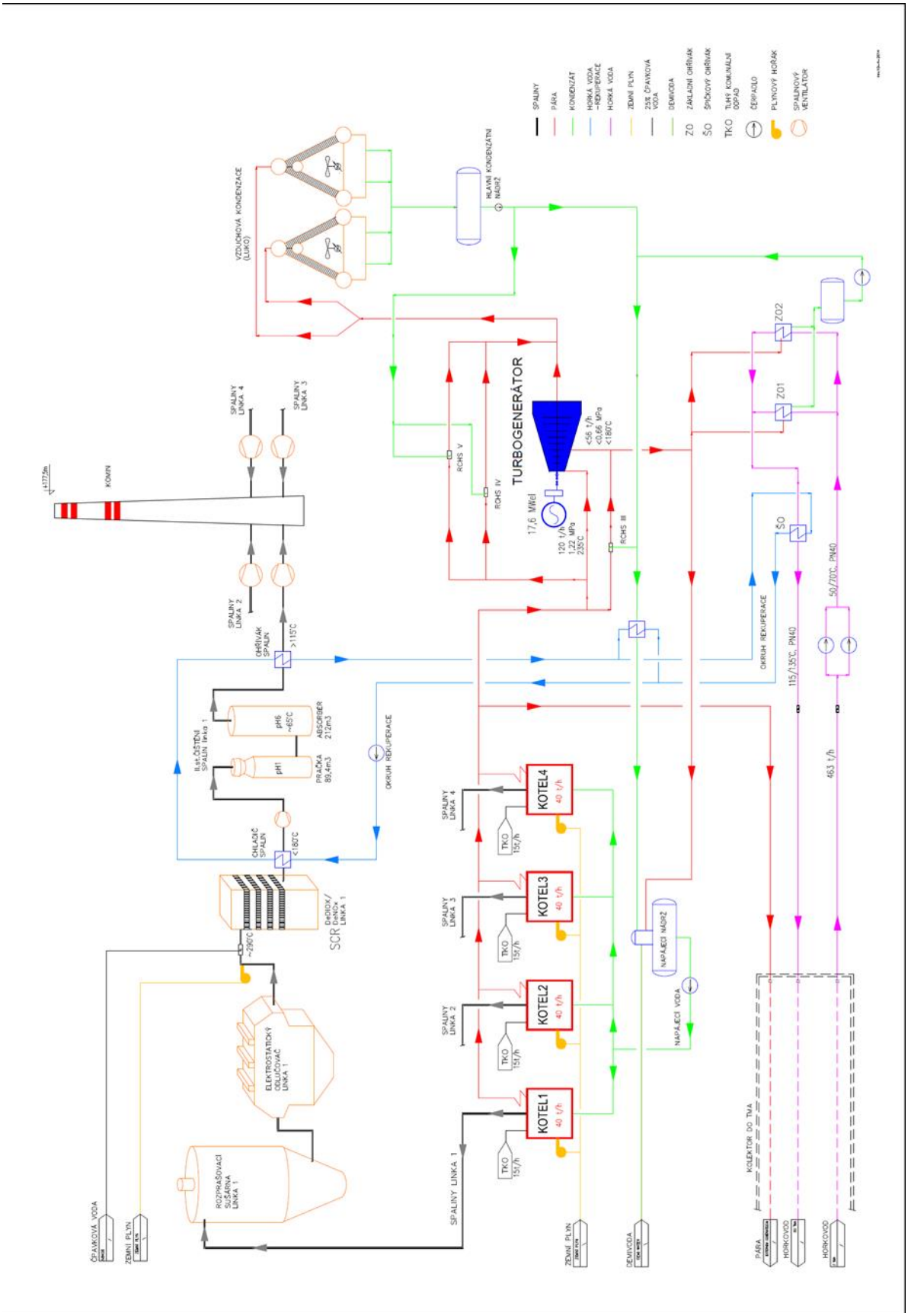
# Schéma úpravy pracích vod ve spalovně TERMIZO, a.s.



# Příloha 5:

## Schéma spalovny Chotíkov




SPALINY
PÁRA
KONDENZÁT
HORKÁ VODA - REKUPERACE
HORKÁ VODA
ZEMNÍ PLYN
25% ČPAVKOVÁ VODA
DEMIVODA
ZÁKLADNÍ OHŘÍVÁK
ŠPIČKOVÝ OHŘÍVÁK
TUHÝ KOMUNÁLNÍ ODPAD
ČERPADLO
PLYNOVÝ HOŘÁK
SPALINOVÝ VENTILÁTOR
VZDUCHOVÁ KONDENZACE (LUKO)
HLAVNÍ KONDENZÁTNÍ NÁDRŽ
TURBOGENERÁTOR
17,6 MWel
120 t/h
1,22 MPa
235°C
<56 t/h
<0,66 MPa
<180°C
ZO2
ZO1
ŠO
KOMÍN
SPALINY LINKA 4
SPALINY LINKA 3
SPALINY LINKA 2
OHŘÍVÁK SPALIN
>115°C
ROHS V
ROHS IV
ROHS III
OKRUH REKUPERACE
115/135°C, PN40
50/70°C, PN40
463 t/h
ILst.ČIŠTĚNÍ SPALIN linka 1
pH6
~65°C
ABSORBER 27m3
pH1
PRAČKA 88,4m3
CHLADIČ SPALIN
<180°C
~290°C
DeNOx/ DeNOx LINKA 1
SCR
ELEKTROSTATICKÝ ODLUČOVAČ LINKA 1
ROZPRAŠOVACÍ SUŠÁRNA LINKA 1
SPALINY LINKA 1
KOTEL4
KOTEL3
KOTEL2
KOTEL1
40 t/h
TKO
15t/h
NAPÁJECÍ NÁDRŽ
NAPÁJECÍ VODA
KOLEKTOR DO TMA
ČPAVKOVÁ VODA
ZEMNÍ PLYN
DEMIVODA
PÁRA
HORKOVOD
HORKOVOD

# Příloha 6:

## Přehled základních vlastností komunálního odpadu

| Vlastnost | |
|---|---|
| výhřevnost | kolísá mezi 7,5 MJ/kg až 10,5 MJ/kg, |
| vlhkost | 15–40 % |
| obsah popele | 20–35 % |
| granulometrie | velikost částic je velice rozdílná, od nejjemnějšího prachu po velké kusy |
| prvkové složení | viz Tab. 2 |
| sypná hmotnost | velice rozdílná 60–300 kg/m$^3$, průměrně kolem 120 kg/m$^3$ |
| charakteristické teploty popele | velice různé, většinou nižší než 800 °C |

# Příloha 7:

## Celková výroba elektřiny a tepla v KVET v letech 2008 - 2010

| Palivo | 2008 | | | | | | 2009 | | | | 2010 | | | | Jednotka |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Firem | Počet zařízení | Elektrický výkon (MW) | Tepelný výkon (MW) | Výroba elektřiny (GW.h) | Výroba tepla (TJ) | Vsázka | Výroba elektřiny (GW.h) | Výroba tepla (TJ) | Vsázka | Výroba elektřiny (GW.h) | Výroba tepla (TJ) | Vsázka | |
| Hnědé uhlí | 39 | 109 | 7 133 | 21 197 | 6 159 | 69 072 | 9 114 | 5 828 | 68 905 | 8 928 | 6 239 | 77 075 | 9 718 | $10^3$ t |
| Černé uhlí | 14 | 31 | 1 998 | 5 613 | 2 639 | 25 410 | 2 122 | 2 312 | 24 231 | 2 123 | 2 394 | 25 420 | 2 147 | $10^3$ t |
| Oleje | 15 | 16 | 193 | 924 | 168 | 4 012 | 127 | 143 | 3 388 | 113 | 115 | 2 834 | 93 | $10^3$ t |
| Biomasa | 16 | - | - | - | 192 | 3 888 | 726 | 382 | 4 937 | 1 006 | 367 | 4 826 | 1 061 | $10^3$ t |
| Odpady | 3 | 3 | 3 | 32 | 19 | 746 | 94 | 18 | 699 | 98 | 41 | 941 | 145 | $10^3$ t |
| Kapalná paliva | 2 | 2 | 9 | 79 | 5 | 188 | 6 | 14 | 150 | 7 | 4 | 100 | 4 | $10^3$ t |
| Zemní plyn | 152 | 429 | 614 | 2 439 | 952 | 10 348 | 4 713 | 887 | 9 473 | 4 454 | 986 | 11 359 | 5 246 | GW.h |
| Bioplyn | 81 | 183 | 49 | 63 | 138 | 789 | 84 | 200 | 872 | 132 | 275 | 1 299 | 191 | $10^6$ m$^3$ |
| Ostatní plyny | 11 | 27 | 175 | 314 | 1 098 | 8 646 | 3 969 | 750 | 6 822 | 3 005 | 852 | 8 006 | 3 679 | $10^6$ m$^3$ |
| Odpadní teplo | 3 | 3 | 9 | 24 | 36 | 356 | 900 | 28 | 307 | 835 | 25 | 378 | 910 | TJ |
| Celkem | **-** | **803** | **10 182** | **30 684** | **11 406** | **123 455** | **228 419** | **10 562** | **119 784** | **223 199** | **11 298** | **132 238** | **241 370** | **TJ** |
| **Celková výroba elektřiny (ERÚ)** | | | | | 83 518 | | | 82 250 | | | 85 910 | | | |
| **Podíl elektřiny z KVET** | | | | | 13,7% | | | 12,8% | | | 13,2% | | | |

Zpracovalo: MPO, Oddělení surovinové a energetické statistiky

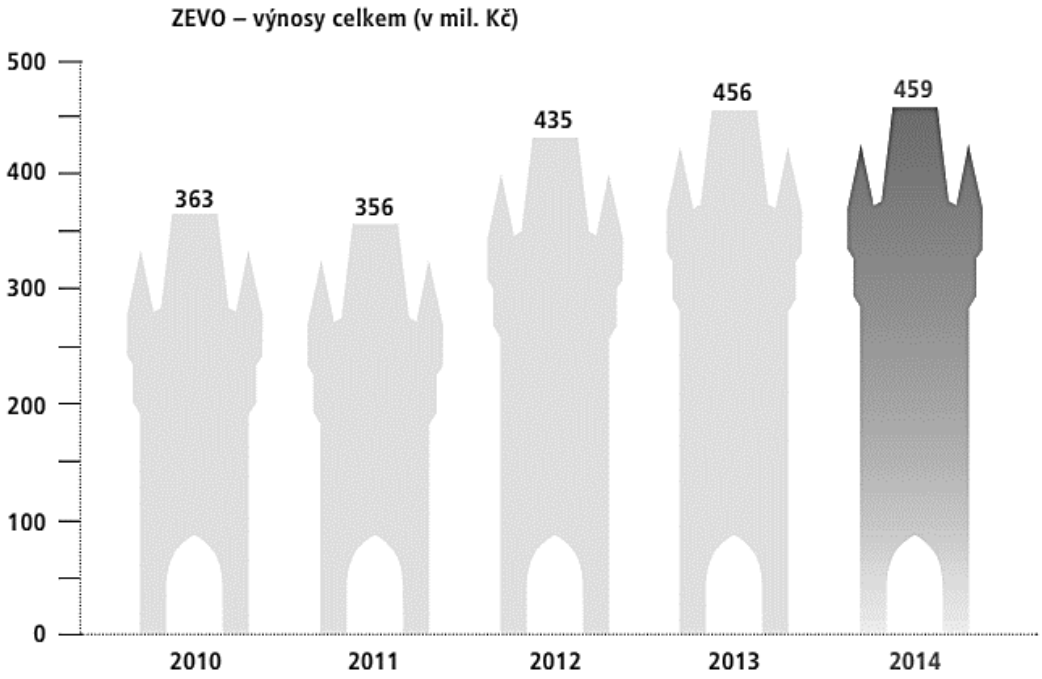
# Příloha 8:

## Výše příspěvků na KVET dle rozhodnutí ERÚ

| | Instalovaný výkon výroby [kW] | | Provozní hodiny [hod/rok] | Zelený bonus [Kč/MWh] |
|---|---|---|---|---|
| | Od | Do (včetně) | | |
| Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla mimo obnovitelné zdroje a spalování komunálního odpadu | 0 | 200 | 3 000 | 1 610 |
| | 0 | 200 | 4 400 | 1 150 |
| | 0 | 200 | 8 400 | 220 |
| | 200 | 1 000 | 3 000 | 1 150 |
| | 200 | 1 000 | 4 400 | 750 |
| | 200 | 1 000 | 8 400 | 140 |
| | 1 000 | 5 000 | 3 000 | 800 |
| | 1 000 | 5 000 | 4 400 | 470 |
| | 1 000 | 5 000 | 8 400 | 45 |
| Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla z obnovitelných zdrojů a spalování komunálního odpadu | 0 | 5 000 | 8 400 | 45 |

## Příloha 9:

### Celkové výnosy v ZEVO Malešice v posledních 5 letech



# Příloha 10:

## Hodnoty naměřených ročních emisí ve spalovně Termizo, a.s

| Rok | SO2 | NO2 | HCl | TZL | TOC | CO |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **LIMIT** | **300** | **350** | **30** | **30** | | **100** |
| 2000 | 20 | 167 | 0,5 | 5,6 | (a) | 3,4 |
| 2001 | 34,2 | 147 | 1,5 | 5,6 | (a) | 4,9 |
| 2002 | 21,6 | 175 | 1,4 | 4,3 | (a) | 7,2 |
| 2003 | 6,6 | 167 | 1 | 5,8 | (a) | 4,5 |
| 2004 | 11,6 | 178 | 0,4 | 4,1 | (a) | 4,9 |
| 2005 | 15 | 192 | 0,28 | 0,33 | (a) | 6 |
| **LIMIT** | **200** | **400** | **60** | **30** | **20** | **100** |
| 2006 | 4,9 | 144 | 0,1 | 0,02 | 0,01 | 4,2 |
| 2007 | 3,2 | 137 | 0,7 | <0,004 | 0,01 | 6,3 |
| 2008 | 5,8 | 142 | 0,13 | <0,004 | 0,01 | 3,4 |
| 2009 | 9,9 | 142 | 0,03 | 0,01 | 0,02 | 7,5 |
| 2010 | 3,9 | 135 | 0,03 | <0,004 | 0,03 | 12 |
| 2011 | 5 | 132 | 0,16 | <0,0002 | 0,02 | 15 |
| 2012 | 8,9 | 131 | 0,12 | 0,01 | 0,58 | 24 |
| 2013 | 3,3 | 105 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 9,48 |
| **2014** | **2,82** | **119** | **0,01** | **0,01** | **0,05** | **13,15** |
| **2014(%)** | **1,41** | **29,75** | **0,02** | **0,03** | **0,25** | **13,15** |

| Ukazatel | Jednotka | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Roční provoz | h | 7930 | 7799 | 8070 | 8014 | 8102 | 8259 | 8784 | 7917 | 8186 | 7940 | 8341 | 7903 | 8235 |
| Spálený odpad | tis. t | 96,3 | 91,1 | 92,6 | 93,1 | 89,9 | 91,2 | 91,9 | 96,8 | 98,8 | 94,3 | 98,1 | 95,8 | 93,5 |
| Výroba páry | t/t | 2,9 | 2,8 | 2,9 | 3,0 | 3,3 | 3,5 | 3,4 | 3,1 | 3,1 | 3,2 | 3,1 | 3,1 | 3,4 |
| Tepelná energie | GJ/t | 9,3 | 8,9 | 9,3 | 9,7 | 10,4 | 11,1 | 10,8 | 9,9 | 9,9 | 10,2 | 10 | 9,8 | 10,8 |
| El. energie | MWh/t | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,21 | 0,25 | 0,24 | 0,22 | 0,26 |
| Popeloviny výrobek | kg/t | - | 371 | 381 | 315 | 308 | 283 | 270 | 305 | 207 | 11 | 303 | 299 | 339 |
| Popeloviny odpad | kg/t | 415 | 25 | 2 | 15 | 12 | 18 | 15 | 0,6 | 94 | 316 | 37 | 27 | 0 |
| Separované železo | kg/t | 2,4 | 14 | 15 | 1 | 17 | 15 | 14 | 10 | 9 | 8 | 9 | 11 | 10 |
| Popílek | kg/t | 1,2 | 1 | 0,8 | 1,5 | 0,6 | 0,7 | 1,2 | 0,7 | 1 | 1 | 1 | 0,6 | 0,9 |
| Filtrační koláč | kg/t | 11 | 13 | 10 | 13 | 9 | 9 | 9 | 7 | 9 | 10 | 11 | 9 | 9 |
| Odpadní voda | $m^3/t$ | 0,28 | 0,31 | 0,26 | 0,26 | 0,29 | 0,24 | 0,22 | 0,16 | 0,16 | 0,19 | 0,2 | 0,18 | 0,19 |

# Hodnoty naměřených ročních emisí ve spalovně SAKO, a.s.

**Porovnání emisních limitů pro různé energetické zdroje s jmenovitým tepelným výkonem 5 - 50 MW**

| Směrnice 2010/75/EC a vyhláška MŽP č. 415/2012 Sb. | | | | Vyhláška 415/2012 Sb. - EL platné od 1.12.2012 do 31.12.2017 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Specifické emisní limity | Směrnice o spalování odpadů | Emisní limity dle platného Integrovaného povolení pro SAKO Brno, | Průměrné hodnoty hmotnostních koncentrací SAKO Brno, a.s. za rok 2014* | | Biomasa | Tuhé palivo v ostatních topeništích | | Tuhé palivo ve fluidním topeništi | | Kapalné palivo | | Plynné palivo | |
| Vztaženo na | 11% $O_2$ | 11% $O_2$ | 11% $O_2$ | | 11% $O_2$ | **11% $O_2$ | 6 % $O_2$ | **11% $O_2$ | 6 % $O_2$ | **11% $O_2$ | 3 % $O_2$ | **11% $O_2$ | 3 % $O_2$ |
| | $mg/m^3$ | $mg/m^3$ | $mg/m^3$ | $mg/m^3$ | $mg/m^3$ | $mg/m^3$ | $mg/m^3$ | $mg/m^3$ | $mg/m^3$ | $mg/m^3$ | $mg/m^3$ | $mg/m^3$ | $mg/m^3$ |
| | | | Kotel K2 | Kotel K3 | | | | | | | | | |
| Tuhé emise | 10 | 8 | 0,0 | 0,0 | 250 | 100 | 150 | 67 | 100 | 56 | 100 | 3 | 5 |
| Organický uhlík | 10 | 8 | 0,0 | 0,2 | - | - | | - | | - | | - | |
| $SO_x$ jako $SO_2$ | 50 | 50 | 18,0 | 21,8 | 2500 | 1667 | 2500 | 1000 | 1500 | 944 | 1700 | 19 | 35 |
| NO jako $NO_2$ | 200 | 200 | 159,4 | 167,6 | 650 | 433 | 650 | 333 | 500 | 250 | 450 | 111 | 200 |
| $NH_3$ | 50 | 50 | 1,3 | 1,0 | - | - | | - | | - | | - | |
| CO | 50 | 50 | 5,9 | 2,5 | 650 | 267 | 400 | 200 | 300 | 97 | 175 | 56 | 100 |
| HCl | 10 | 10 | 3,5 | 4,0 | - | - | | - | | - | | - | |
| HF | 1 | 0,8 | 0,0 | 0,0 | - | - | | - | | - | | - | |
| PCDD/PCDF | 0,1 | 0,08 | 0,0069 | 0,0064 | - | - | | - | | - | | - | |
| Hg | 0,05 | 0,05 | 0,0018 | 0,0015 | - | - | | - | | - | | - | |
| Cd, Tl | 0,05 | 0,04 | 0,0001 | 0,0001 | - | - | | - | | - | | - | |
| Ostatní těžké kovy | 0,5 | 0,4 | 0,0122 | 0,0130 | - | - | | - | | - | | - | |

* vyhodnoceno dle vyhlášky 415/2012 Sb., § 9, odst.6

** pro porovnání emisních limitů byly specifické emisní limity pro různé zdroje přepočteny na stejný referenční obsah kyslíku

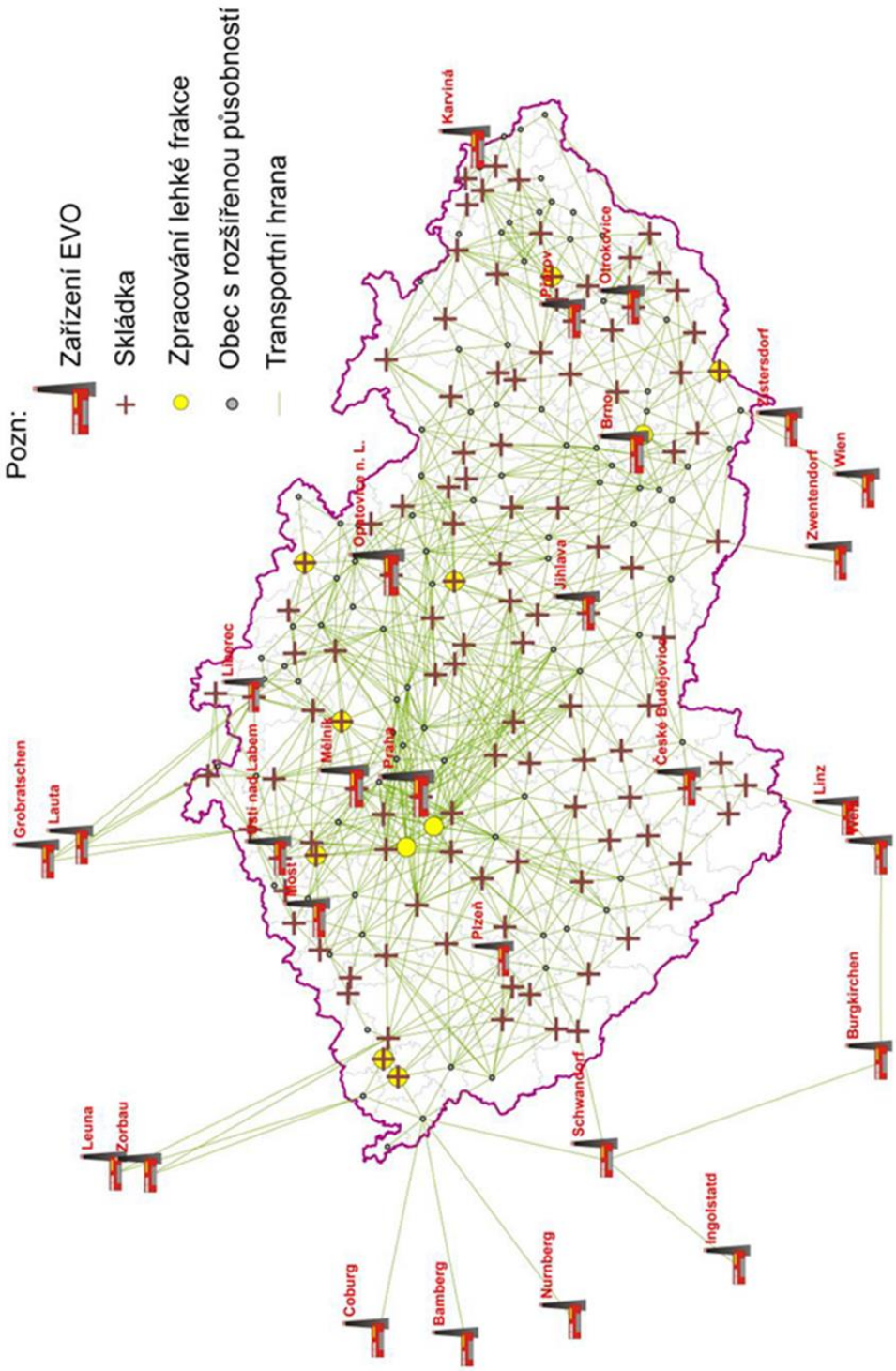
# Hodnoty naměřených ročních emisí ve spalovně Malešice

**Emise 2014**

| emise | koncentrace | emisní limit | jednotka | % z limitu | měření |
|---|---|---|---|---|---|
| TZL | 0,75 | 10 | mg. Nm$^{-3}$ | 8 | kontinuální |
| SO2 | 0,66 | 50 | mg. Nm$^{-3}$ | 1 | |
| NOx | 119,58 | 200 | mg. Nm$^{-3}$ | 60 | |
| CO | 22,27 | 50 | mg. Nm$^{-3}$ | 45 | |
| HCl | 0,11 | 10 | mg. Nm$^{-3}$ | 1 | |
| TOC | 1,09 | 10 | mg. Nm$^{-3}$ | 11 | |
| HF | 0,5900 | 1 | mg. Nm$^{-3}$ | 59 | diskontinuální |
| Cd | 0,0011 | 0,05 | mg. Nm$^{-3}$ | 2 | |
| Tl | 0,0001 | | | | |
| Hg | 0,0008 | 0,05 | mg. Nm$^{-3}$ | 2 | |
| Sb | 0,0017 | 0,5 | mg. Nm$^{-3}$ | 29 | |
| As | 0,0005 | | | | |
| Pb | 0,0126 | | | | |
| Cr | 0,0138 | | | | |
| Co | 0,0003 | | | | |
| Cu | 0,0838 | | | | |
| Mn | 0,0104 | | | | |
| Ni | 0,0230 | | | | |
| V | 0,0009 | | | | |
| PCDD/F | 0,0110 | 0,1 | ng. Nm$^{-3}$ | 11 | |

## Příloha 11:

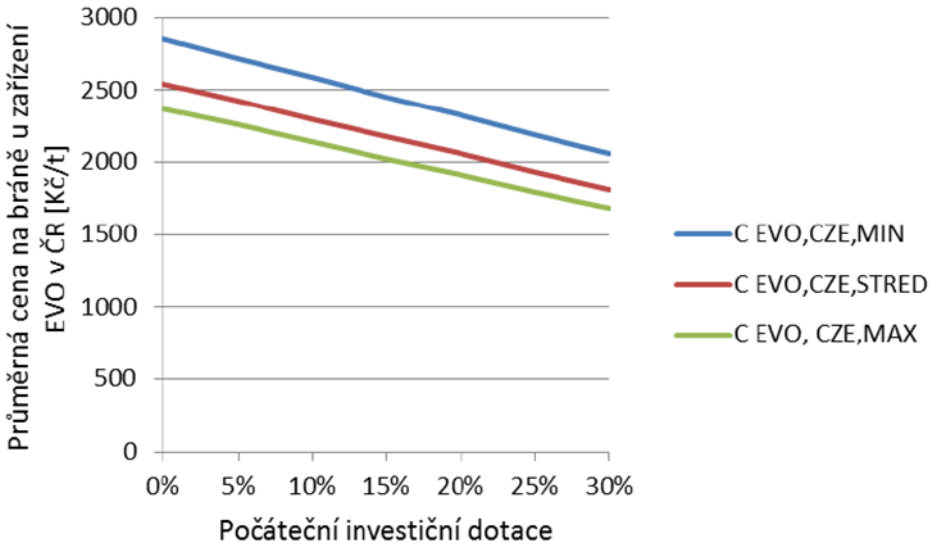
## Umístění plánovaných zařízení EVO v r. 2025



## Příloha 12:

## Ekonomický potenciál výroby z KVET do r. 2020

| Ekonomický potenciál KVET Shrnutí výsledků po skupinách zdrojů | Jedn. | Velké zdroje na uhlí a biomasu | Nové velké zdroje na plyn a olej | Střední zdroje na zemní plyn | Střední zdroje na biomasu | Malé zdroje na plyn a oleje | Ostatní zdroje KVET | Zdroje KVET celkem |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Reálná úroveň k roku 2005 | GWh | 10688 | 867 | 153 | 0 | 66 | 15 | 11788 |
| Potenciál přírůstku do roku 2020 | GWh | 1912 | -70 | 1464 | 625 | 1376 | 323 | 5630 |
| Ekonomický potenc. k roku 2020 | GWh | 12600 | 797 | 1617 | 625 | 1442 | 338 | 17419 |

## Příloha 13:

## Pokles ceny, za kterou bude odpad zpracován, ovlivněný investiční dotací