

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta strojního inženýrství
Ústav procesního a ekologického inženýrství

Ing. Vladimír UCEKAJ

**ANALÝZA MOŽNOSTÍ NAKLÁDÁNÍ S KOMUNÁLNÍMI ODPADY
V RÁMCI MIKROREGIONU**

**ANALYSIS OF MUNICIPAL SOLID WASTE TREATMENT POSSIBILITIES
IN MICROREGION**

Konstrukční a procesní inženýrství

Zkrácená verze PhD Thesis

Školitel:

doc. Ing. Ladislav Bébar, CSc.

Oponenti:

prof. Ing. Jiří Klemeš, CSc.

doc. Dr.Ing. Tadeáš Ochodek.

Datum obhajoby:

22. 9. 2010

KLÍČOVÁ SLOVA

biodegradabilní odpad, směsný komunální odpad, mechanicko-biologická úprava, energetické využití odpadu, mikroregion

KEY WORDS

biodegradable waste, municipal solid waste, mechanical-biological treatment, waste-to-energy, microregion

MÍSTO ULOŽENÍ DISERTAČNÍ PRÁCE

Vysoké učení technické
Fakulta strojního inženýrství
Ústav procesního a ekologického inženýrství
Technická 2
616 69 Brno

© Vladimír Ucekaj, 2009
ISBN 80-214-
ISSN 1213-4198

OBSAH

1	ÚVOD.....	5
2	SLOŽENÍ KOMUNÁLNÍHO ODPADU	6
3	MECHANICKO-BIOLOGICKÁ ÚPRAVA	7
3.1	Hmotová a energetická bilance <i>MBÚ</i>	8
4	ENERGETICKÉ VYUŽITÍ <i>SKO</i>	8
4.1	Hmotová a energetická bilance jednotky <i>EV SKO</i>	10
5	STANOVENÍ NÁKLADŮ A PŘÍJMŮ	12
5.1	Investiční náklady	12
5.2	Závislost roční zpracovatelské kapacity jednotky na poloměru svozové oblasti	12
5.3	závislost dopravních nákladů na poloměru svozové oblasti.....	13
5.4	Zhodnocení celkových výdajů a příjmů	14
6	OPTIMALIZACE KAPACITY JEDNOTKY <i>EV SKO</i> Z HLEDISKA SVOZOVÉ VZDÁLENOSTI.....	16
7	OPTIMALIZACE KAPACITY JEDNOTKY <i>MBÚ</i> Z HLEDISKA SVOZOVÉ VZDÁLENOSTI.....	17
8	OPTIMALIZACE KAPACITY JEDNOTKY <i>MBÚ</i> S NAVAZUJÍCÍM ENERGETICKÝM VYUŽITÍM <i>LF</i>	17
9	SROVNÁNÍ JEDNOTEK ENERGETICKÉHO VYUŽITÍ <i>SKO</i> A JEDNOTEK <i>MBÚ</i>	18
10	NÁKLADY NA ÚSPORU PRIMÁRNÍCH ENERGÍÍ	19
11	ZÁVĚR.....	22
	SEZNAM LITERATURY.....	24
	ABSTRAKT	25
	ABSTRACT	25
	CURRICULUM VITAE AUTORA.....	26

1 ÚVOD

Česká republika se ke dni 1. ledna 2013 na základě směrnice Rady evropské unie 1999/31/ES, zavázala odklonit od skládkování 50 % biodegradabilního materiálu obsaženého ve směsném komunálním odpadu (BRKO) v porovnání s množstvím ukládaným v roce 1995. Otázkou je, na jaké úrovni státní samosprávy je účelné nastalou situaci řešit. Respektive, zda je účelné, ať již z hlediska ekonomického či z hlediska životního prostředí, řešit situaci v rámci celého státu, krajů nebo menších územních celků typu mikroregionu či samotných měst a obcí.

Odklonění BRKO od skládkování by mělo probíhat, dle jistých pravidel. Evropský parlament schválil rámcovou směrnici o odpadech 2006/12/ES, která jasně definuje hierarchii nakládání s odpady (viz obr. 1.1).



Obr. 1.1 Hierarchie nakládání s odpady

Práce je zaměřena na posouzení možností nakládání se směsným komunálním odpadem (SKO) a BRKO v rámci hierarchických stupňů č. 3 a 4. Diskutována pak je především ekonomická únosnost možností nakládání se SKO vzhledem k úrovni samosprávy. Tím je myšleno, zda je výhodné řešit problematiku SKO v rámci malých územních celků - mikroregionů, krajů nebo celého státu.

Zásadním předpisem je směrnice Evropského parlamentu a rady 1999/31/ES o skládkách odpadů, která určuje množství skládkovaného BRKO ve srovnání s množstvím skládkovaným v roce 1995. Pro ČR konkrétní termíny a cíle jsou:

- do 1.1. 2010 odklonit od skládkování 25 % BRKO,
- do 1.1. 2013 odklonit od skládkování 50 % BRKO,
- do 1.1. 2020 odklonit od skládkování 75 % BRKO.

Obecně je uvažováno s rostoucím množstvím SKO a vyšším podílem BRKO v něm. Konkrétně autor [1] předpokládá v roce 2010 obsah BRKO v SKO 54 %hm., v roce 2013 56 % hm. a v roce 2020 60 % hm. Tab. 1.1 uvádí množství SKO, se kterým bude muset být pro daný rok naloženo jinak, než skládkováním.

	2010	2013	2020
množství SKO [kt]	2 948	3 100	3 200
obsah BRKO [%]	54	56	60
množství BRKO nutné odklonit od skládkování [kt]	445	972	1 385
množství SKO nutné odklonit od skládkování [kt]	824	1 735	2 308

Tab. 1.1 Predikce množství SKO nutného odklonit od skládkování, převzato [1]

Původcem SKO je z pohledu zákona obec. Na obcích tedy leží hlavní povinnost zajistit plnění plánu odklonění BRKO od skládkování. Předpoklad, že veškerý komunální odpad bude sbírán pouze v jednotlivých využitelných složkách (zejména BRKO) a SKO tedy nebude vůbec produkován, je nepravděpodobný. Obce tedy budou muset hledat jiné způsoby, jak v souladu s hierarchií nakládání s odpady odklonit BRKO od skládkování.

2 SLOŽENÍ KOMUNÁLNÍHO ODPADU

SKO představuje netříděnou složku komunálního odpadu pocházející převážně z domácností. V závislosti na různých faktorech může být složení SKO proměnné poměrně v širokém rozsahu. Problematicke jeho složení se věnuje mnoho autorů [2,3]. Ze závěrů jejich prací jde odvodit, že složení SKO nejvíce ovlivňují následující faktory:

- typ zástavby - přičemž relativně největších rozdílů ve složení SKO bývá dosahováno mezi městským typem zástavby s centrálním systémem vytápění a venkovskou zástavbou s lokálními systémy vytápění,
- zavedený systém sběru (např. oddělený sběr některých složek),
- roční období.

Složení SKO v rámci hmotnostního zastoupení jednotlivých materiálových složek, je důležité z hlediska produkce jednotlivých frakcí jednotkou MBÚ. Předpokládá se, že do tzv. lehké frakce (LF) přechází většina papíru, plastů, PET lahví, nápojových kartonů a textilu. Do tzv. těžké frakce (TF) potom přechází většina skla a zbytku. V tzv. podsítné frakci (PF) je obsažena většina kuchyňského odpadu. Z hlediska jednotky MBÚ je tedy možné nahlížet na SKO jako na směs LF, TF, PF a kovů.

Z hlediska spalování odpadu je také nezbytné stanovit tzv. palivářské složení SKO. Tento typ složení přináší informaci o výhřevnosti, obsahu popelovin, vlhkosti a zpravidla následujících elementárních prvků - uhlíku, vodíku, dusíku, kyslíku, síry a chlóru, které představují spalitelnou část SKO, tj. hořlavinu.

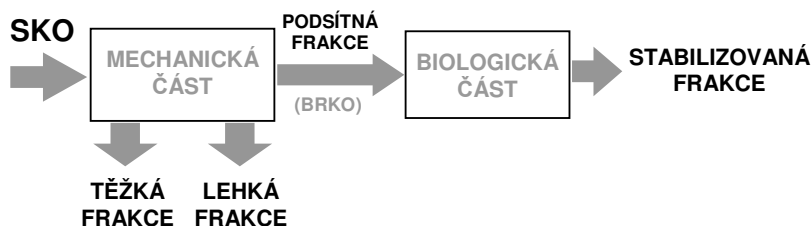
3 MECHANICKO-BIOLOGICKÁ ÚPRAVA

Mechaniko-biologickou úpravu (MBÚ) lze definovat jako úpravu SKO a průmyslového odpadu svou charakteristikou a složením podobného komunálního odpadu, spočívající v kombinaci fyzikálních postupů, kterými jsou například drcení a třídění, a biologických postupů, jejímž výsledkem je oddělení některých složek odpadu, stabilizace biologicky rozložitelných složek odpadu a případně další úprava oddělených složek odpadu. Tab. 3.1 uvádí přehled základních jednotkových procesů pro mechanickou a biologickou část jednotek MBÚ.

mechanické procesy	drcení přesívání gravitační a větrné třídění magnetická separace separace vířivými proudy
biologické procesy	aerobní fermentace (kompostování) biologické sušení anaerobní fermentace
fyzikální procesy	sušení

Tab. 3.1 Přehled procesů MBÚ

Obecné principiální schéma jednotky MBÚ je zobrazeno na obr. 3.1.



Obr. 3.1 Obecné schéma MBÚ

V mechanické části jednotky je zajišťováno mechanické rozdělení složek v SKO dle fyzikálních vlastností, kterými jsou rozměr, měrná hmotnost, magnetické a případně jiné fyzikální vlastnosti. Výstupem z mechanické části jsou následující frakce:

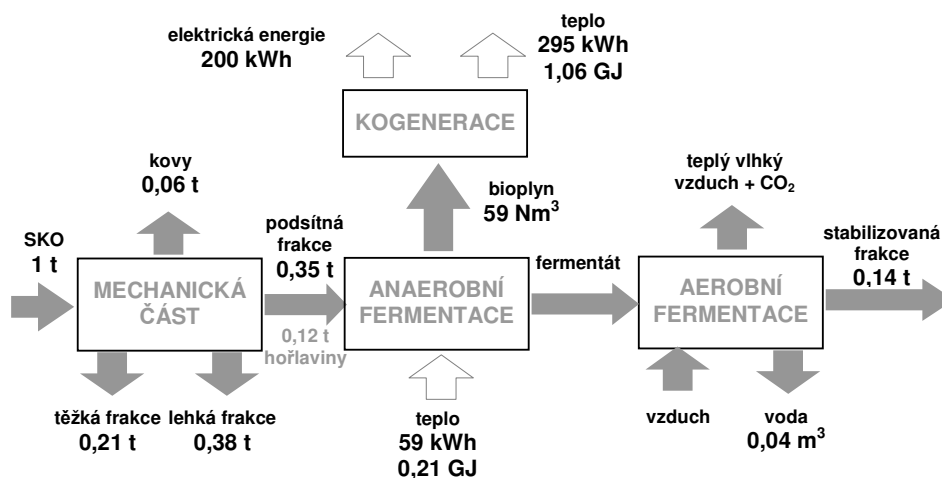
- kovové materiály,
- podsítná frakce SKO - PF, ve které je obsažena většina BRO,
- těžká frakce - TF, která je představována např. kusy cihel, kameny, hlínou atd.,
- lehká frakce - LF obsahující zejména papír, plasty, dřevo a textil, která představuje nejvíce výhřevnou složku SKO

Primárním účelem biologického stupně je potom stabilizace na mechanickém stupni vytríděného BRKO obsaženého v podsítné frakci především pomocí:

- řízené rychlé aerobní fermentace s nucenou aerací,
- suché anaerobní fermentace s produkcí bioplynu a následného dostabilizování BRKO pomocí řízené aerobní fermentace s nucenou aerací.

3.1 HMOTOVÁ A ENERGETICKÁ BILANCE MBÚ

Obr. 3.2 ukazuje hmotovou a energetickou bilanci biologické části jednotky MBÚ vztaženou na 1 t SKO vstupujícího do jednotky MBÚ pro variantu biologické části s kombinovanou ANF a AEF.

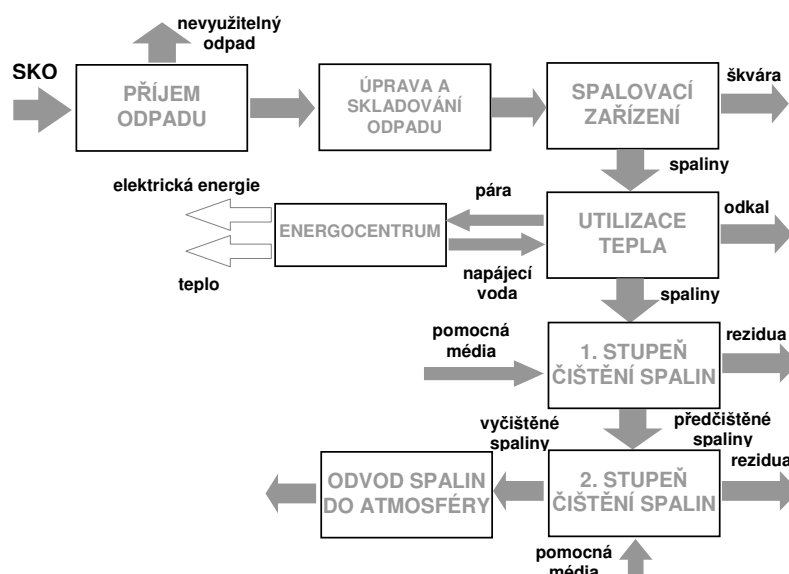


Obr. 3.2 Hmotová a energetická bilance biologické části jednotky MBÚ, varianta ANF s AEF

4 ENERGETICKÉ VYUŽITÍ SKO

Při termickém zpracování SKO, dochází k oxidaci spalitelných látek obsažených v odpadu za vzniku spalin. Ty se tak stávají nositelem většiny chemické energie vázané v odpadu. Hlavními produkty spalování jsou především konečné produkty oxidace obvykle nejvíce zastoupených prvků v odpadu - uhlíku a vodíku. Dále jsou ve spalinách přítomny menší měrou jiné sloučeniny a prvky typu CO, HCl, HF, těkavých uhlovodíků, PCCD/F a těžkých kovů. Prakticky všechny tyto uvedené sloučeniny a prvky jsou považovány za polutanty. Přičemž je snaha prostřednictvím vedení samotného spalovacího procesu a systému čištění spalin omezovat jejich tvorbu a neřízené uvolňování do okolního prostředí. Typické schéma technologického uspořádání jednotky termického zpracování SKO s využitím energie je znázorněno na obr. 4.1.

Provozní celky příjmu odpadu, úpravy a skladování odpadu, vlastního spalovacího zařízení a utilizace tepla jsou obecně známé. Proto je stručně popsán pouze provozní soubor čištění spalin v technologické a aparátové konfiguraci, jak je uvažována pro jednotky energetického využití (EV) SKO malých zpracovatelských kapacit do 25 kt/rok.



Obr. 4.1 Obecné schéma jednotky EV SKO

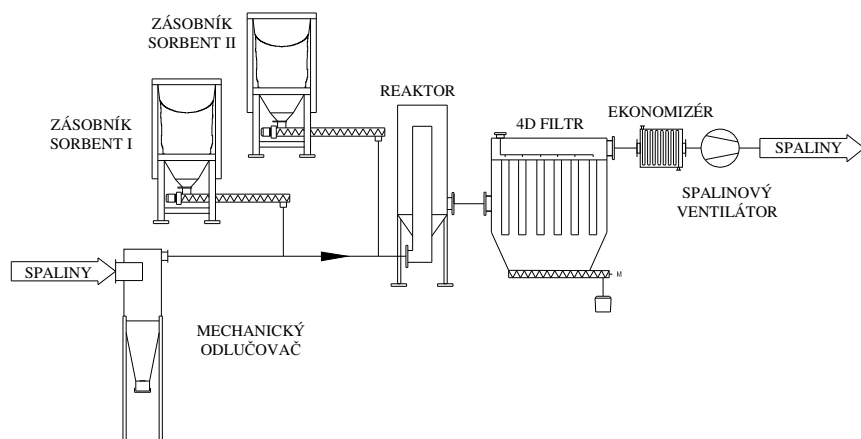
Tab. 4.1 uvádí přehled polutantů a metod jejich odstranění ze spalin, které jsou použity v rámci provozního souboru čištění spalin.

polutant	metoda	pomocné médium
TZL	mechanický odlučovač povrchová filtrace	
TOC	recirkulace spalin termická likvidace	
CO	recirkulace spalin, řízený přívod spalovacího vzduchu	
HCl, HF, SO ₂	suchá sorpce	NaHCO ₃
těžké kovy	suchá sorpce	aktivní uhlí
PCDD/F	Selective Catalytic Reduction	
NO _x	recirkulace spalin Selective Non-Catalytic Reduction Selective Catalytic Reduction	močovina

Tab. 4.1 Přehled znečišťujících látek a metod odstraňování

Odstraňovány jsou všechny polutanty, u kterých je legislativou stanoven emisní limit. Použitím SCR pro odstraňování NO_x je jednotka připravena i do budoucna na plnění jejich očekávaných přísnějších emisních limitů.

Spaliny mají na vstupu do mechanického odlučovače teplotu 230 °C. Ta zaručuje vhodné podmínky pro průběh suché metody čištění spalin a selektivních katalytických redukcí PCDD/F a NO_x. Zbývající využitelné teplo obsažené ve spalinách po jejich průchodu systémem čištění spalin je předáváno dle potřeby vodě (např. napájecí) nebo vzduchu (např. spalovacímu) ve výměníku zařazeném před spalinovým ventilátorem, viz obr. 4.2, na kterém je ukázána konfigurace systému čištění spalin.



Obr. 4.2 Aparátová skladba souboru čištění spalin

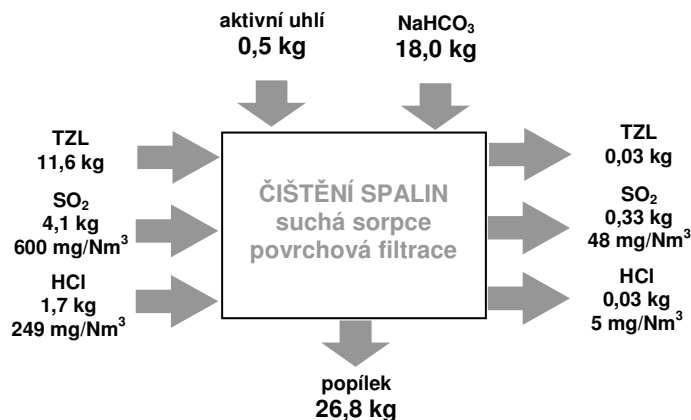
Hlavní technologií čištění spalin je tzv. „4D filtrace“ představovaná technologií Cerafil® TopKat společnosti Clear-Edge [4]. Tato technologie, slučuje více jednotkových operací do jednoho aparátu. Jedná se o následující operace:

- odloučení tuhých znečišťujících látek ze spalin (TZL) DeDusting
- snížení obsahu kyselých složek ze spalin DrySorption
- snížení obsahu oxidů dusíku DeNO_x
- snížení obsahu PCDD/F DeDiox

Jádrem technologie Cerafil® TopCat jsou filtrační elementy z mikroporézní keramiky, v jejíž matici je implementován nově vyvinutý katalyzátor společnosti Haldor-Topsoe na bázi V₂O₅/TiO₂ zajišťující možnost rozkladu PCDD/F, těkavých uhlovodíků i redukci oxidů dusíku. Spojení všech výše uvedených jednotkových operací v rámci jednoho aparátu přináší úspory investičních i provozních nákladů.

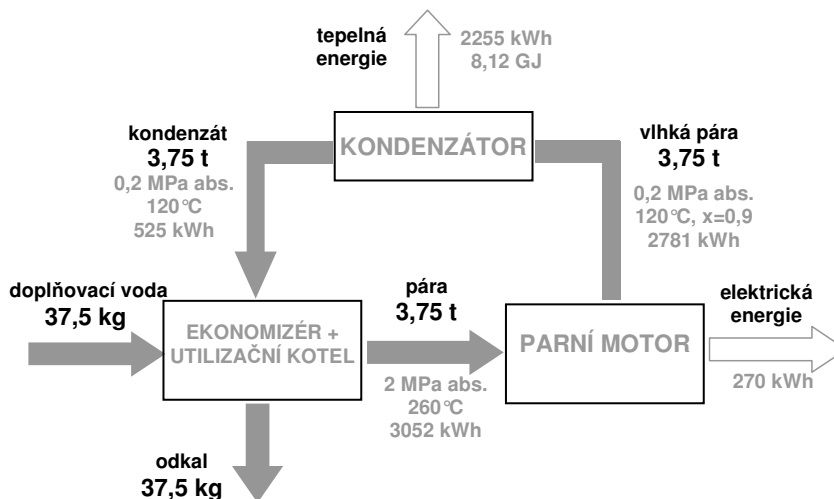
4.1 HMOTOVÁ A ENERGETICKÁ BILANCE JEDNOTKY EV SKO

Obr. 4.3 ukazuje hmotovou bilanci technologického uzlu suché sorpce vztaženou na 1 t SKO vstupující do jednotky EV SKO. Koncentrace polutantů ve spalinách jsou vztaženy na normální podmínky, suchý plyn a referenční obsah O₂ 11 % obj.



Obr. 4.3 Hmotová a energetická bilance suché sorpce a povrchové filtrace jednotky EV SKO
vztažená na 1 t SKO

Na ob. 4.4 uvedena celková energetická bilance energocentra jednotek EV SKO malých ročních zpracovatelských kapacit s generovanou elektrickou energií a množstvím tepelné energie, které je k dispozici v kondenzátoru. Bilance je vztažena na 1 t SKO vstupující do jednotky EV SKO.



Obr. 4.4 Celková bilance energocentra jednotky EV SKO s kapacitou do 20 kt/rok vztažená na 1 t SKO

Tab. 4.2 shrnuje hmotnostní bilanci jednotky EV SKO vztaženou na 1 t SKO vstupující do jednotky EV SKO.

	měrná produkce
škvára [kg/t]	200,0
popílek [kg/t]	26,8
odpadní voda [m ³ /t]	0,05
kovy	60,0

Tab. 4.2 Hmotová bilance jednotky EV SKO

Spotřeby energií a pomocných médií jednotky EV SKO vztažené na 1 t SKO vstupujícího do jednotky jsou shrnuty v tab. 4.3.

	měrná spotřeba
elektrická energie [kWh/t]	98,9
zemní plyn [kWh/t]	15,0
surová voda [m ³ /t]	0,1
HCl [kg/t]	0,12
NaOH [kg/t]	0,2
Na ₃ PO ₄ [kg/t]	0,018
hydrazin [kg/t]	0,011
aminy [kg/t]	0,01
Satamin (SNCR) [kg/t]	6,0
NaHCO ₃ [kg/t]	18,0
aktivní uhlí [kg/t]	0,5

Tab. 4.3 Měrné spotřeby energií a médií jednotky EV SKO

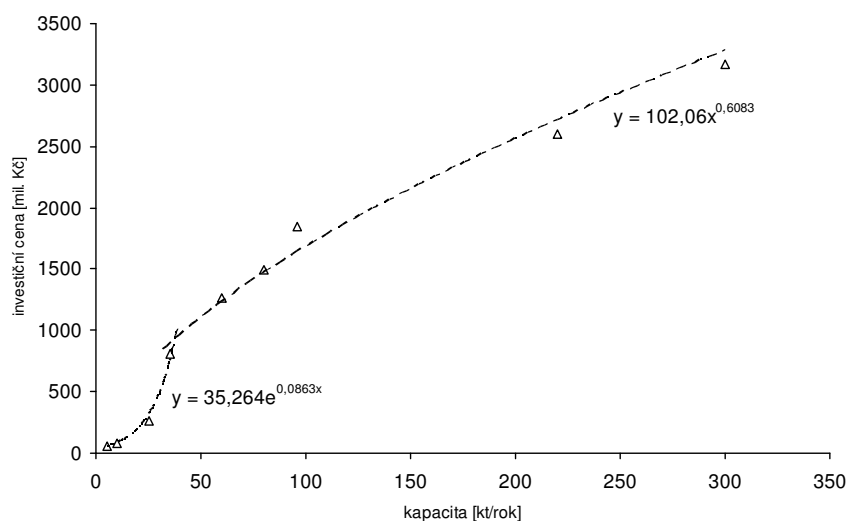
5 STANOVENÍ NÁKLADŮ A PŘÍJMŮ

Pro zahrnutí nákladů na dopravu do celkové rozvahy je nezbytné určit alespoň ty nejdůležitější náklady a příjmy spojené se zpracováním odpadu, jako jsou např.:

- investiční náklady,
- náklady na zpracování odpadu,
- mzdové náklady,
- náklady spojené s rezidui, atd.

5.1 INVESTIČNÍ NÁKLADY

Obr. 5.1 ukazuje investiční ceny jednotek EV SKO spolu s aproximačními funkcemi pro jednotky se zpracovatelskou kapacitou do 35 tk/rok a nad 30 kt/rok. Obdobně jsou vyjádřeny aproximační funkce i pro jednotky MBÚ, viz kap. 5.4.



Obr. 5.1 Závislost investičních nákladů jednotky EV SKO na roční zpracovatelské kapacitě

5.2 ZÁVISLOST ROČNÍ ZPRACOVATELSKÉ KAPACITY JEDNOTKY NA POLOMĚRU SVOZOVÉ OBLASTI

Obecně lze považovat produkci odpadů jako funkci místa a času. Pokud by tedy měla být produkce SKO obecně vyjádřena, mohla by být zapsána takto:

$$P_{odpad}^{S,t} = \iint_{S,t} f(S,t) dS dt \quad (5.1),$$

kde $P_{odpad}^{S,t}$ je produkce odpadu v dané ploše za určitý čas, S je daná plocha, t je čas a funkce $f(S, t)$ je obecné vyjádření produkce SKO v závislosti na lokalitě a času. Je zřejmé, že zcela obecné analytické řešení problému produkce SKO není tímto způsobem možné. Proto je nezbytné zavedení zjednodušujících předpokladů:

- počet obyvatel na jednotce plochy území a v průběhu času je konstantní,
- množství produkovaného odpadu na jednoho obyvatele v čase je konstantní.

Po aplikaci uvedených zjednodušení lze rovnici (5.1) vyjadřující produkci SKO na ploše území S zapsat takto:

$$P_{odpad}^S = \int_S p_{odpad}^{obyv} * \rho_{obyv} * dS \quad (5.2),$$

kdy výsledek je vztažený na časové údobí 1 roku, p_{odpad}^{obyv} je měrná produkce SKO v [kg/(obyv.rok)] a ρ_{obyv} je hustota zalidnění v [obyv./km²], která je považována v čase za konstantní.

Rovnice (5.2) může být přepsána do podoby:

$$P_{odpad}^S = \int_0^r p_{odpad}^{obyv} * \rho_{obyv} * 2\pi * x * dx = p_{odpad}^{obyv} * \rho_{obyv} * \pi * r^2 \quad (5.3),$$

výsledkem je rovnice popisující plochu kruhu v závislosti na jeho poloměru, tedy svozové vzdálenosti.

5.3 ZÁVISLOST DOPRAVNÍCH NÁKLADŮ NA POLOMĚRU SVOZOVÉ OBLASTI

Mimo předpokladů definovaných v předchozí kapitole týkajících se produkce SKO v místě a čase je tedy pro řešení nezbytné zavést doplňující předpoklady:

- trasa dopravy je daná ideální přímou spojnici místa produkce odpadu a polohou jednotky zpracování odpadu,
- cena za přepravu 1t SKO na vzdálenost 1 km je stejná pro všechny SKO dovážený do jednotky.

Nákladů na dopravu SKO z místa o infinitezimální ploše dS [km²] a vzdálenosti x [km] můžeme s přihlédnutím k výše uvedeným předpokladům vyjádřit takto:

$$dC_{doprava} = x * c_{doprava} * p_{odpad}^{obyv} * \rho_{obyv} * dS \quad (5.4),$$

kde $c_{doprava}$ jsou měrné cena dopravy SKO v [Kč/(km.t)], p_{odpad}^{obyv} je měrná produkce SKO v [kg/(obyv.rok)], ρ_{obyv} je hustota zalidnění v [obyv./km²] a x je vzdálenost místa od zpracovatelské jednotky.

Pro zjištění celkových nákladů na dopravu je nezbytné provést integraci po celé ploše S , která je zároveň územím, ze kterého je prováděn svoz. Výsledný vztah je:

$$C_{doprava} = c_{doprava} * p_{odpad}^{obyv} * \rho_{obyv} * 2 * \pi * \int_0^r x^2 * dx = \frac{2}{3} * \pi * c_{doprava} * 261 * 133 * r^3 \quad (5.5),$$

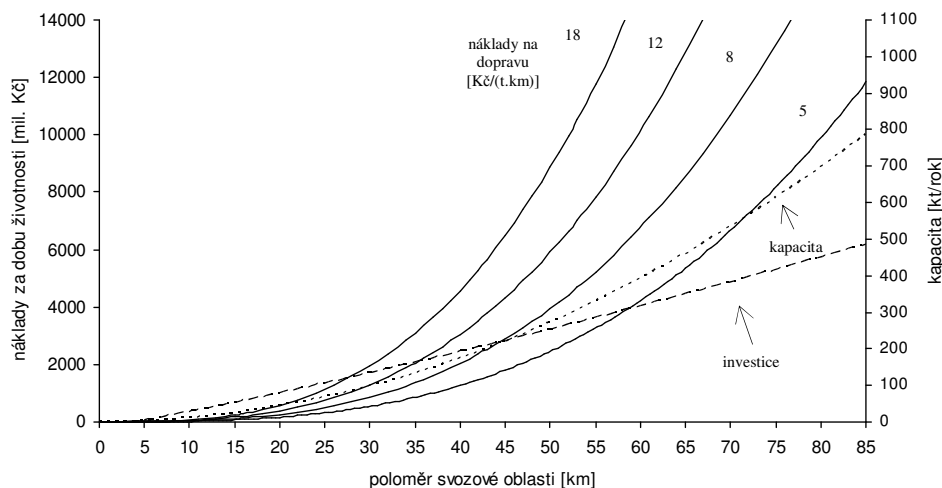
kde proměnné a konstanty mají stejný význam jako v rovnici (5.4), $C_{doprava}$ jsou náklady na svoz SKO v [Kč] a r je svozová vzdálenost [km].

S využitím rovnice (5.3) dávající do vztahu roční zpracovatelskou kapacitu jednotky a svozovou vzdálenost a s přihlédnutím ke skutečné zpracovatelské kapacitě, lze např. rovnici (5.5) přepsat do tvaru vyjadřujícího závislost celkových nákladů na dopravu pro jednotku EV SKO takto:

$$C_{doprava}^{EV} = 0,089577 * c_{doprava} * K_{rok}^{\frac{3}{2}} \quad (5.6),$$

kde $C_{doprava}^{EV}$ jsou náklady na dopravu za životnost jednotky EV SKO v [mil. Kč].

Obr. 5.2 znázorňuje závislost roční zpracovatelské kapacity, celkových investičních a dopravních nákladů za dobu životnosti (pro různé měrné náklady na dopravu) pro jednotku EV SKO na svozové vzdálenosti. Analogicky lze vše vyjádřit pro jednotku MBÚ.



Obr. 5.2 Závislost kapacity, investičních a dopravních nákladů na svozové vzdálenosti pro jednotku EV SKO

5.4 ZHODNOCENÍ CELKOVÝCH VÝDAJŮ A PŘÍJMŮ

Podobně jako náklady na dopravu byly pro jednotky EV SKO a MBÚ vyjádřeny závislosti i ostatních skupin nákladů a příjmů na roční zpracovatelské kapacitě. V tab. 5.1 jsou uvedeny výsledné vztahy pro jednotku EV SKO. Výsledné vztahy nákladů a příjmů pro jednotku MBÚ uvádí tab. 5.2.

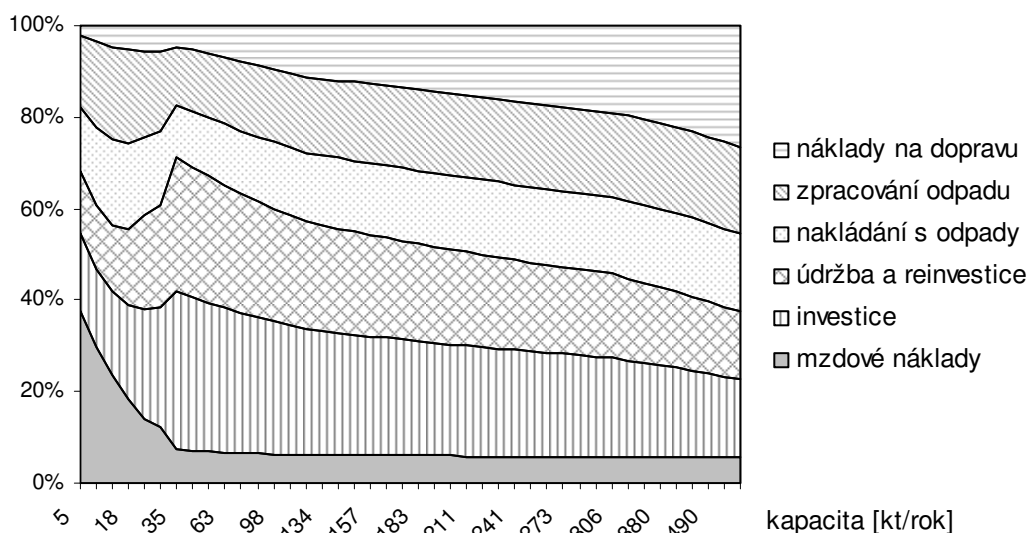
Náklady a příjmy jednotky EV SKO		
investiční	do 35 kt/rok	$C_{inv}^{EV, <35} = 35,264 * e^{0,0863 * K_{rok}}$
	nad 35 kt/rok	$C_{inv}^{EV, >35} = 102,06 * K_{rok}^{0,6083}$
údržba a reinvestice	do 35 kt/rok	$C_{udr, reinv}^{EV, <35} = 29,974 * e^{0,0863 * K_{rok}}$
	nad 35 kt/rok	$C_{udr, reinv}^{EV, >35} = 86,751 * K_{rok}^{0,6083}$
mzdové náklady		$C_{mzdy}^{EV} = 2,5537 * K_{rok} + 106,84$
zpracování odpadu		$C_{zprac}^{EV} = 9,324 * K_{rok}$
nakládání s rezidui		$C_{rezidua}^{EV} = 10,989 * K_{rok}$
prodej el. energie a kovového šrotu	do 20 kt/rok	$I^{EV, <20} = 10,168 * K_{rok}$
	nad 20 kt/rok	$I^{EV, >20} = 10,650 * K_{rok}^{1,0575} + 3,330 * K_{rok}$
náklady na dopravu		$C_{doprava}^{EV} = 0,1205348 * c_{doprava} * K_{rok}^{1,4805}$

Tabulka 5.1 Přehled vztahů pro příjmy a výdaje jednotky EV SKO

Náklady a příjmy jednotky MBÚ		
investiční	do 30 kt/rok	$C_{inv}^{MBÚ, <30} = 22,77 * e^{0,1074 * K_{rok}}$
	čistě s AEF	$C_{inv}^{MBÚ, AEF < 30} = 13,662 * e^{0,1074 * K_{rok}}$
	nad 30 kt/rok	$C_{inv}^{MBÚ, >30} = 59,32 * K_{rok}^{0,5403}$
údržba a reinvestice	čistě s AEF	$C_{inv}^{MBÚ, AEF > 30} = 35,592 * K_{rok}^{0,5403}$
	do 30 kt/rok	$C_{udr, reinv}^{MBÚ, <30} = 17,078 * e^{0,1074 * K_{rok}}$
	čistě s AEF	$C_{udr, reinv}^{MBÚ, AEF < 30} = 10,247 * e^{0,1074 * K_{rok}}$
mzdové náklady	nad 30 kt/rok	$C_{udr, reinv}^{MBÚ, >30} = 44,490 * K_{rok}^{0,5403}$
	čistě s AEF	$C_{udr, reinv}^{MBÚ, AEF > 30} = 26,694 * K_{rok}^{0,5403}$
		$C_{mzdy}^{MBÚ} = 2,7855 * K_{rok} + 66,04$
zpracování odpadu		$C_{zprac}^{MBÚ} = 3,885 * K_{rok}$
nakládání s odpady (TF, LF a SF)		$C_{rezidua}^{MBÚ} = 18,680 * K_{rok}$
nakládání s odpady (TF a SF)		$C_{rezidua}^{MBÚ, TF, SF} = 9,053 * K_{rok}$
prodej kovového šrotu (čistě AEF)		$I^{MBÚ, AEF} = 3,438 * K_{rok}$
prodej kovového šrotu a el. energie		$I^{MBÚ} = 8,480 * K_{rok}$
náklady na dopravu		$C_{doprava}^{MBÚ} = 0,1244559 * c_{doprava} * K_{rok}^{1,4805}$

Tabulka 5.2 Přehled vztahů pro příjmy a výdaje jednotky MBÚ

Obr. 5.3 udává procentuální zastoupení jednotlivých skupin nákladů jednotky EV SKO v závislosti na její roční zpracovatelské kapacitě. Procentuální zastoupení nákladů jsou vypočtena vzhledem k nákladům za celou dobu životnosti.



Obr. 5.3 Procentuální zastoupení skupin celkových nákladů za dobu životnosti v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě pro jednotku EV SKO

6 OPTIMALIZACE KAPACITY JEDNOTKY EV SKO Z HLEDISKA SVOZOVÉ VZDÁLENOSTI

V předchozích kapitolách byla definována závislost nejpodstatnějších skupin nákladů a příjmů jednotek EV SKO a jednotek MBÚ na roční zpracovatelské kapacitě. Nyní je tedy možné sestavit účelovou funkci vyjadřující celkové náklady a příjmy za dobu životnosti jednotky. Jako příklad je uvedena účelová funkce pro jednotku EV SKO s roční zpracovatelskou kapacitou nad 35kt:

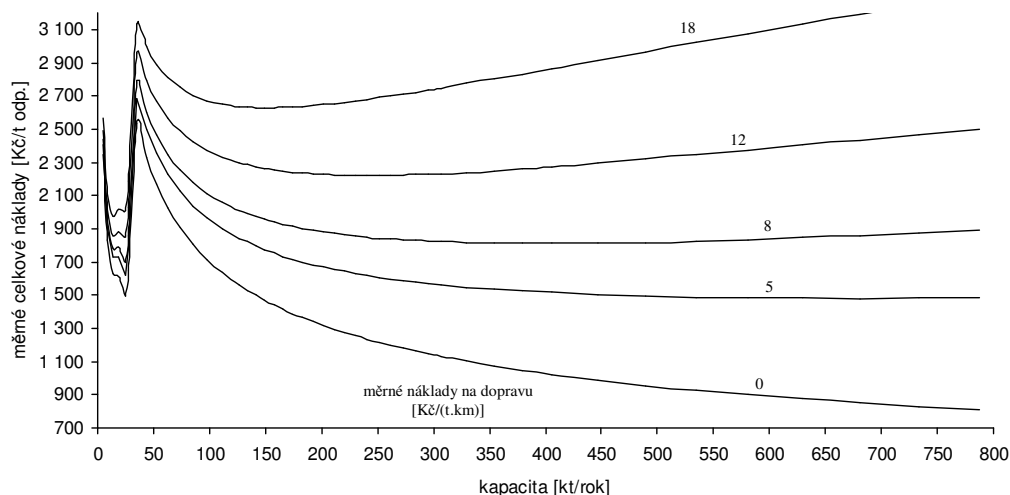
$$C_{>35}^{EV} = C_{inv,>35}^{EV} + C_{udr,reinv}^{EV,>35} + C_{mzdy}^{EV} + C_{zprac}^{EV} - I^{EV} + C_{doprava}^{EV} \quad (6.1)$$

Vzhledem k lepší názornosti a vhodnosti pro další práce však byla zvolena jiná účelová funkce. Touto funkcí jsou celkové náklady vztažené na celkové množství zpracovaného SKO za dobu životnosti jednotky, neboli celkové měrné náklady. Celkové měrné náklady lze s přihlédnutím ke skutečné celkové zpracovatelské kapacitě vyjádřit pro jednotku EV SKO takto:

$$c^{EV} = \frac{1000 * C^{EV}}{0,925 * 24 * K_{rok}} = \frac{C^{EV}}{0,0222 * K_{rok}} \quad (6.2),$$

kde c^{EV} jsou celkové měrné náklady v [Kč/t], C^{EV} jsou celkové náklady a příjmy za dobu životnosti jednotky v [mil. Kč] a K_{rok} je roční zpracovatelská kapacita jednotky v [kt]. Analogicky mohou být vyjádřeny celkové měrné náklady i pro jednotku MBÚ.

Obr. 6.1 ukazuje průběh celkových měrných nákladů v závislosti na zpracovatelské kapacitě pro různé hodnoty měrné ceny dopravy pro jednotku EV SKO.

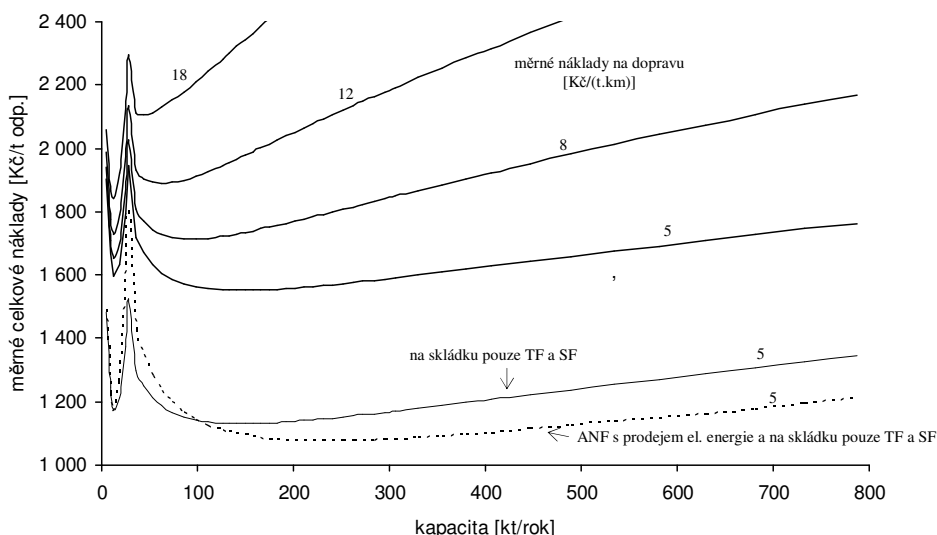


Obr. 6.1 Závislost celkových měrných nákladů jednotky EV SKO na roční zpracovatelské kapacitě s vlivem dopravy

7 OPTIMALIZACE KAPACITY JEDNOTKY MBÚ Z HLEDISKA SVOZOVÉ VZDÁLENOSTI

V případě jednotek MBÚ je celková situace mírně odlišná. Díky nižším investičním nákladům je vliv nákladů na dopravu na celkové měrné náklady vyšší. Což lze pozorovat i v obr. 7.1 jako posunutí minim. celkových měrných nákladů k nižším kapacitám. Obrázek udává závislost celkových měrných nákladů s vlivem dopravy v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě pro jednotky MBÚ vybavené technologií AEF a pro různé hodnoty měrné ceny dopravy. Obrázek také udává průběh celkových měrných nákladů pro následující varianty při měrné ceně za dopravu 5 Kč/(t.km):

- Na skládku bude ukládána těžká frakce a stabilizovaná frakce SKO.
- V biologické části bude použita technologie suché ANF a bude tak generována elektrická energie ve výši 200 kWh/t SKO vstupujícího do jednotky MBÚ. Na skládku bude následně ukládána pouze těžká a stabilizovaná frakce (kompost).



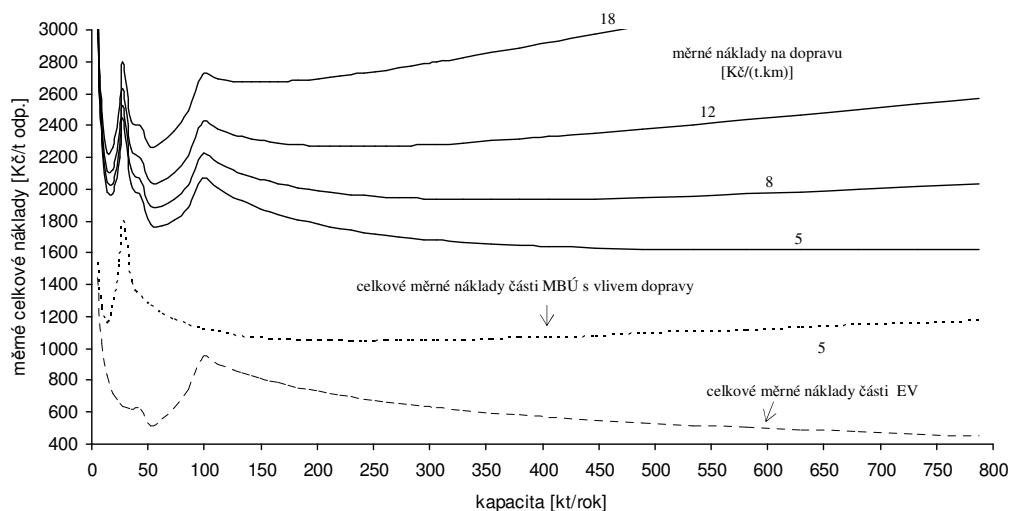
Obr. 7.1 Závislost celkových měrných nákladů jednotky MBÚ na roční zpracovatelské kapacitě s vlivem dopravy

8 OPTIMALIZACE KAPACITY JEDNOTKY MBÚ S NAVAZUJÍCÍM ENERGETICKÝM VYUŽITÍM LF

Velkým problémem provázejícím jednotku MBÚ je uplatnění lehké výhřevné frakce vytríděné ze SKO. Přitom, jak bylo ukázáno v předcházející kapitole (viz obr. 7.1), je vliv případného ukládání LF na skládky velice významný.

Prakticky jediným možným způsobem využití LF je její energetické zužitkování. Při budování jednotky MBÚ je tedy nezbytné hledat primárně možnosti stabilního a dlouhodobého uplatnění LF ve formě zařízení, kde by bylo umožněno energetické využití LF. Nicméně jedinou zcela jistou variantou je vybudování zařízení na energetické využití LF bezprostředně spojeného s jednotkou MBÚ. Obr. 8.1 udává závislost průběhu celkových měrných nákladů s vlivem dopravy na roční

zpracovatelské kapacitě kombinované jednotky MBÚ a EV pro různé měrné ceny dopravy. Zároveň jsou v obrázku znázorněny průběhy celkových měrných nákladů zvláště pro jednotku MBÚ a EV. Náklady na dopravu jsou v tomto případě uvažovány pouze u jednotky MBÚ a to pro měrnou cenu dopravy 5 Kč/(t.km). Jednotka MBÚ je vybavena ve své biologické části technologií ANF.



Obr. 8.1 Závislost celkových měrných nákladů kombinované jednotky MBÚ a EV na roční zpracovatelské kapacitě s vlivem dopravy

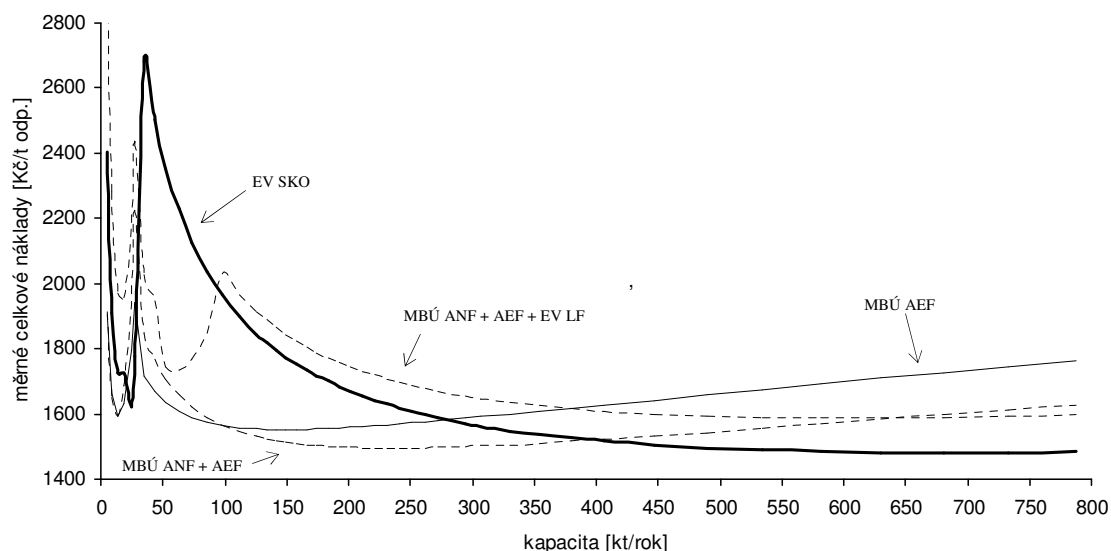
9 SROVNÁNÍ JEDNOTEK ENERGETICKÉHO VYUŽITÍ SKO A JEDNOTEK MBÚ

Celkové srovnání je provedeno pro jednotky ve variantách zajišťujících maximalizaci využití SKO. Případně je v rámci celkových nákladů na zpracování odpadu uvažováno s konečným uložením všech reziduí a dalších z jednotky vystupujících hmotových proudů na skládku. Uvažované varianty nakládání se SKO jsou:

- jednotka MBÚ s AEF a ukládáním všech frakcí na skládku,
- jednotka MBÚ s kombinací ANF a AEF a s ukládáním všech frakcí na skládku,
- jednotka MBÚ s kombinací ANF a AEF a navazující jednotkou EV LF,
- jednotka EV SKO.

Není uvažováno s prodejem tepelné energie. Výkupní cena elektrické energie je pro všechny výše uvedené varianty stejná.

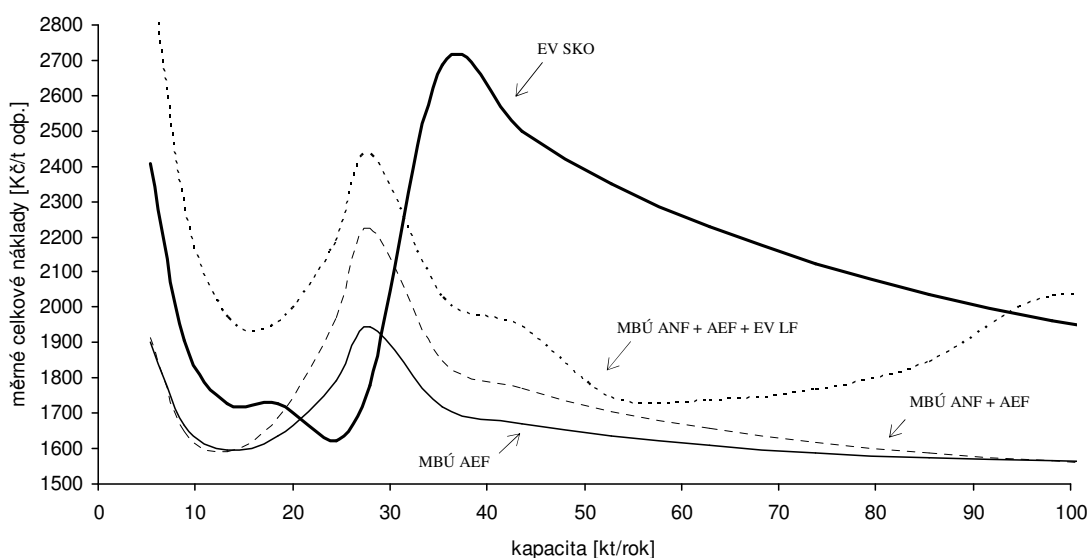
Na obr. 9.1 jsou znázorněny závislosti celkových měrných nákladů s vlivem dopravy na roční zpracovatelské kapacitě pro výše uvedené jednotky a pro měrnou cenu dopravy 5 Kč/(t.km).



Obr.

9.1 Srovnání závislosti celkových měrných nákladů na roční zpracovatelské kapacitě s vlivem dopravy

Obr. 9.2 ukazuje v detailu průběh celkových měrných nákladů s vlivem dopravy pro jednotky malých a středních kapacit. Měrná cena dopravy je 5 Kč/(t.km).



Obr. 9.2 Závislost celkových měrných nákladů různých jednotek na roční zpracovatelské kapacitě s vlivem dopravy pro jednotky malých a středních kapacit

10 NÁKLADY NA ÚSPORU PRIMÁRNÍCH ENERGIÍ

V předchozích kapitolách nebylo uvažováno s prodejem tepla nebo s odlišnými výkupními cenami elektrické energie. Pro vzájemné posouzení jednotek té samé technologie se princip porovnávání celkových měrných nákladů ukázal jako použitelný. Avšak porovnání mezi jednotkami různých technologií je po ekonomické stránce neuvážením možného prodeje tepla značně zkresleno. Proto je navržen odlišný přístup hodnocení navrhovaných technologií a to pomocí měrných nákladů na úsporu primární energie. Princip tohoto hodnocení vychází z konceptu úspor tzv. „primární energie“, jak byl navržen v [5].

Primární energií jsou myšleny dva druhy energie:

- elektrická energie,
- tepelná energie.

Tyto dvě energie si nejsou ve svém využití rovnocenné. Elektrická energie představující prakticky čistou exergii [6] je z tohoto pohledu cennější než tepelná energie. Tento rozdíl je zohledněn zavedením referenčních účinností samostatné výroby elektrické a tepelné energie. Kvalita energie je potom zohledněna vynásobením jejího množství koeficientem, který je převrácenou hodnotou těchto účinností.

Koeficient výroby elektrické energie je roven:

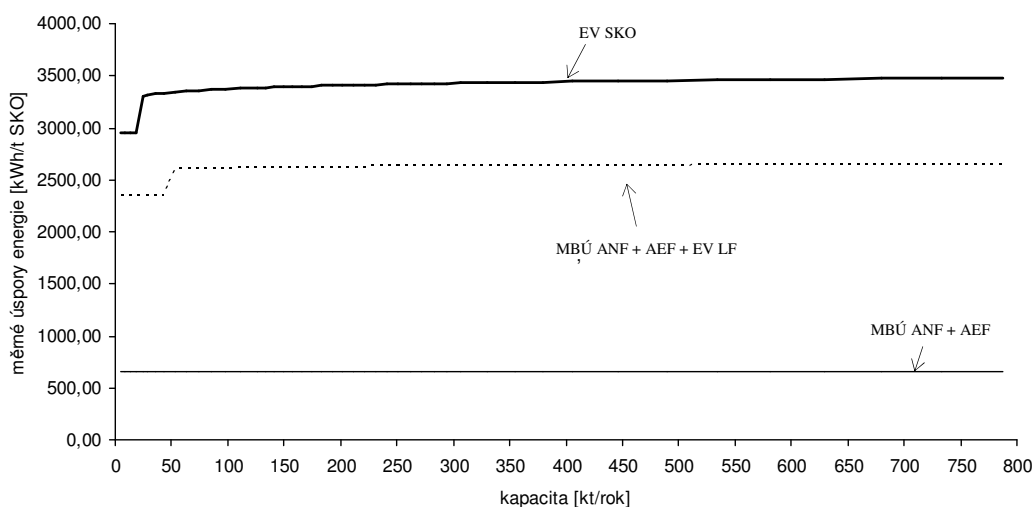
$$k_{el}^{ref} = \frac{1}{\eta_{el}^{ref}} = \frac{1}{0,385} \approx 2,6 \quad (10.1)$$

a koeficient výroby tepla je tedy roven:

$$k_{tep}^{ref} = \frac{1}{\eta_{tep}^{ref}} = \frac{1}{0,909} \approx 1,1 \quad (10.2).$$

Pomocí těchto koeficientů je možné stanovit množství primární energie, které je zapotřebí vynaložit na získání daného množství elektrické nebo tepelné energie.

Závislost měrných úspor primární energie pro jednotlivé technologie v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě jednotky je ukázána na obr. 10.1.



Obr. 10.1 Závislost měrných úspor primární energie pro různé technologie na roční zpracovatelské kapacitě

Lze odvodit, že celková měrná čistá generovaná energie pro danou technologii je vždy konstantní:

- jednotky MBÚ ANF - 423 kWh/t SKO,
- jednotky MBÚ ANF + EV LF - 1804 kWh/t SKO,
- jednotky EV SKO - 2426 kWh/t SKO.

Proměnná však může být úspora primární energie vlivem poměru generované elektrické a tepelné energie. Tento poměr je u jednotek vyšších zpracovatelských kapacit daný vnitřní termodynamickou účinností parní turbíny. U jednotek nižších kapacit je uvažováno s použitím parního motoru s prakticky konstantní vnitřní termodynamickou účinností a proto je také měrná úspora primárních energií konstantní podobně jako u jednotky MBÚ ANF.

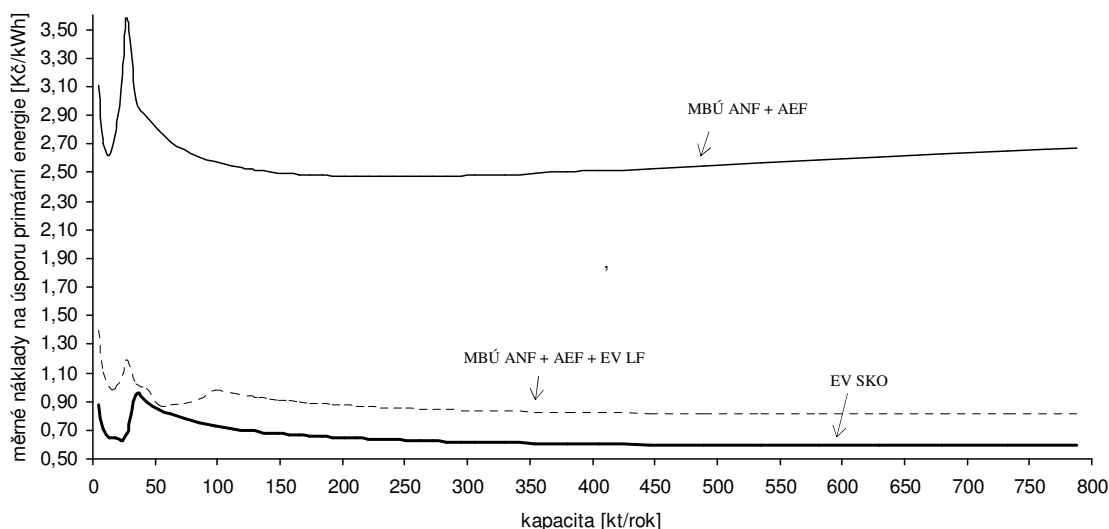
Celkové měrné náklady s vlivem dopravy pro různé technologie nakládání se SKO jsou po úpravě použity k vyjádření tzv. měrných nákladů na úsporu primární energie. Účelová funkce měrných nákladů na úsporu primární energie může být tedy obecně zapsána ve tvaru:

$$c_{\text{prim.en.}} = \frac{c}{e_{\text{prim}}} \quad (11.2),$$

kde c v [Kč/t SKO] jsou celkové měrné náklady pro danou technologii, jak byly definovány rovnicemi (6.1) a (6.2), e_{prim} jsou měrné úspory primární energie pro danou technologii v [kWh/t SKO] a $c_{\text{prim.en.}}$ jsou měrné náklady na úsporu primární energie v [Kč/kWh].

Měrné náklady na úspory primární energie lze také chápat jako nejmenší prodejní cenu, za kterou by bylo nutné prodávat energii produkovanou jednotkou, přičemž jednotka ekonomická bilance na konci životnosti jednotky by byla neutrální.

Obr. 10.2 ukazuje závislost měrných nákladů na úsporu primární energie v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě pro různé technologie.

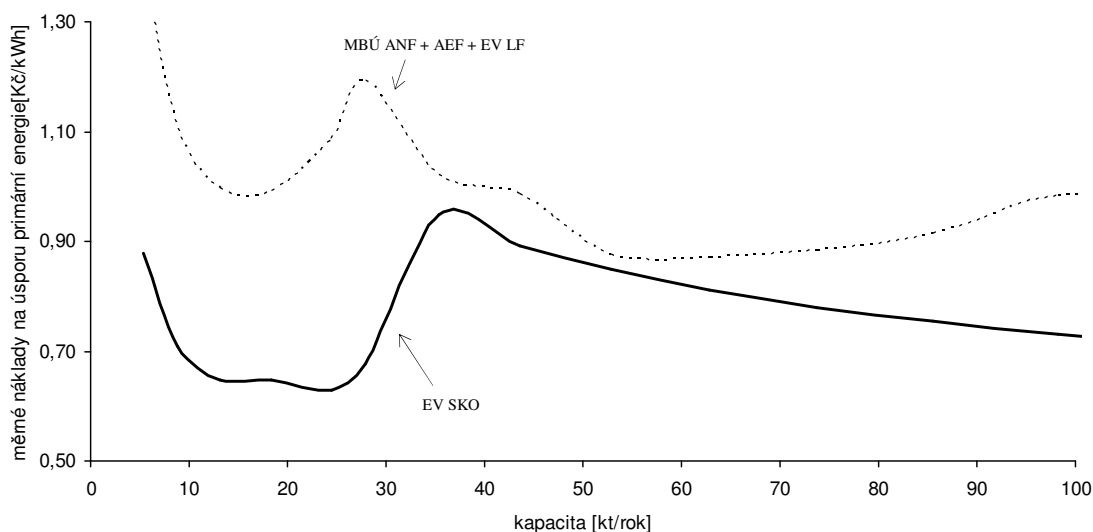


Obr. 10.2 Závislost měrných nákladů na úsporu primární energie pro různé technologie na roční zpracovatelské kapacitě

Z průběhu závislosti vyplývá, že z pohledu měrných nákladů na úsporu primární energie jsou jednotky MBÚ ANF s ukládáním všech frakcí na skládku neudržitelným konceptem. To je dáno relativně malou mírou využití energie v palivu, tj. ve SKO, kdy velká část energie je ukládána ve formě LF na skládku bez využití spolu s částí energie obsažené v SF. Proto byly z obr. 11.3, na kterém je

zobrazena tatáž závislost avšak pro jednotky malých a středních kapacit, vypuštěny kvůli lepší přehlednosti.

Obr. 11.3 ukazuje závislost měrných nákladů na úsporu primární energie v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě pro jednotky malých kapacit.



Obr. 11.3 Závislost měrných nákladů na úsporu primární energie na roční zpracovatelské kapacitě pro jednotky malých kapacit

11 ZÁVĚR

V práci byly předloženy dva koncepty hodnocení technologií nakládání se SKO, které jsou v ČR zvažovány jako možná řešení odklonění BRKO od skládkování. Těmito technologiemi jsou:

- jednotky mechanicko - biologické úpravy SKO s různými variantami biologické části,
- jednotky energetického využití SKO.

První koncept hodnocení technologií vychází z celkových měrných nákladů vynaložených na zpracování SKO s vlivem dopravy. S jeho pomocí se ukazuje, že v případě uvážení nákladů na dopravu jsou jednotky nízkých ročních zpracovatelských kapacit všech technologií konkurenceschopné v porovnání s jednotkami větších kapacit.

Srovnání různých technologií nakládání se SKO pomocí celkových měrných nákladů s vlivem dopravy se však ukázalo jako obtížné. To je způsobeno nemožností provést obecné posouzení možností prodeje tepla. Možnost prodeje tepla i jeho cena má silně lokální charakter oproti prodeji elektrické energie, která je transportovatelná na velké vzdálenosti a díky rozvětvené elektrické síti je její prodej prakticky vždy zaručen.

S uvážením prodeje pouze generované elektrické energie vycházejí nejvýhodněji jednotky MBÚ s prostou aerobní stabilizací nebo kombinací anaerobní s aerobní fermentací. Zejména díky jejich nižším investičním nákladům a nákladům na zpracování odpadu jsou jejich celkové měrné náklady s uvážením dopravy nejnižší

až do vysokých ročních zpracovatelských kapacit okolo 400 kt/rok, kdy díky vyšší měrné produkci elektrické energie mají nejnížší celkové měrné náklady jednotky EV SKO. Zde je však nutné opětovně upozornit, že u jednotek MBÚ AEF a jednotek MBÚ s kombinací ANF s AEF se počítá s ukládáním všech frakcí SKO na skládku, což v konečném důsledku odporuje hierarchii nakládání s odpady. Energetické využití odpadu by mělo mít vždy přednost před jeho uložením na skládku.

Z důvodu nemožnosti ekonomicky posoudit prodej tepla byl proto v práci navržen druhý způsob posuzování technologií nakládání se SKO. Ten uvažuje s měrnými náklady na úsporu primární energie. Uvažuje se v něm s exportem veškeré elektrické i tepelné energie produkované jednotkou. Přičemž díky vyjádření jejich ceny formou nákladů je potlačen vliv reálné prodejní ceny, která může být velmi proměnná.

V okamžiku použití této srovnávací metody se zcela jasně ukazuje převaha jednotek EV SKO, které jsou schopny využít větší část energie obsažené v SKO než ostatní uvažované technologie. Technologie MBÚ s aerobní fermentací v biologické části potom z hlediska této metody zcela postrádá smysl, protože neprodukuje žádnou energii, naopak je jejím pouhým konzumentem. Jednotka MBÚ s AEF by tedy byla odůvodnitelná pouze v případě materiálového využití stabilizované frakce - kompostu. To je však z důvodu jeho pravděpodobné kontaminace komplikované.

Srovnání jednotek různých kapacit v rámci jedné technologie ukazuje ještě ve větší míře konkurenceschopnost jednotek malých kapacit. To je způsobeno právě uvážením produkované tepelné energie, která byla v měrných celkových nákladech zanedbána. Uvážením produkované tepelné energie v celkových měrných nákladech na úsporu primární energie je vyvážena vyšší měrná produkce elektrické energie jednotek větších kapacit.

Na základě provedených srovnání lze konstatovat, že v případě uvážení nákladů na dopravu by jednotky malých ročních zpracovatelských kapacit (tzn. 10 až 25 kt/rok) měly být reálně zvažovány jako možné řešení.

Na základě provedených srovnání lze konstatovat, že z hlediska naplňování hierarchie nakládání s odpady a tedy maximalizace využití energie odpadu, by uvažovanými technologiemi mělo být energetické využívání odpadu spolu s mechanicko-biologickou úpravou odpadu za použití suché anaerobní fermentace. Jednotky MBÚ ANF by však měly být uváženy pouze v případě zajištění trvalé a spolehlivé možnosti spoluspalování lehké frakce.

Producenti odpadu (tj. primárně obce) by neměli podlehnout možnosti prosté stabilizace BRKO pomocí technologie MBÚ s aerobní fermentací, ačkoli zejména z hlediska počátečních investičních nákladů jde o nejméně náročnou technologii.

SEZNAM LITERATURY

- [1] Hřebíček J. (2009) Prognóza nakládání s biodegradabilním odpadem v ČR do roku 2020, Biom.cz, aktualizováno [2009-05-13], cit. [2010-08-16], dostupné z <biom.cz/cz/odborne-clanky/progniza-nakladani-s-biodegradabilnim-odpadem-v-cr-do-roku-2020>, ISSN: 1801-2655
- [2] Hnatůková H. Benešová L. Černík B. Kotoulová Z. (2009) Changes in MSW (Municipal Solid Waste) Composition in the Czech Republic in Period from 2000 to 2008, In 24th International conference on solid waste technology and management, March 2009, Philadelphia, cit. [2010-6-8], dostupné z <www.komunalniodpad.eu/download/P1_cast1.pdf>, <www.komunalniodpad.eu/download/P1_cast2.pdf>, <www.komunalniodpad.eu/download/P1_cast1.pdf>
- [3] Kropáček I. Přikryl T. (2008) Výsledky rozborů složení odpadů ve Dvoře Králové nad Labem, Hnutí Duha (2010), cit. [2010-7-16], dostupné z <http://www.hnutiduha.cz/pics/obce/rozb主_Dvur_Kralove.pdf>
- [4] Clear Edge (2010) Cerafil TopKat [online], cit. [2010-7-20], dostupné z <www.clear-edge.com/cerafil_topkat/>
- [5] Pavlas M. Bébar L. Stehlík P. (2010) Waste-to-Energy zdroj čisté a spolehlivé energie, In mezinárodní konference Spalovny (komunálního) odpadu 2010, přednáška, 25. března 2010, Praha, All for Power agency (2010)
- [6] Kolarčík K. (2009) Parní a plynové turbíny v redukčních stanicích, Česká energetická agentura, cit. [2010-8-6], dostupné z <www.mpo-efekt.cz/dokument/98_893.pdf>

Citované právní předpisy a normy

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 1999/31/ES ze dne 26. dubna 1999 o skládkách odpadů (1999) Úřední věstník Evropské unie L 182

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2006/12/ES ze dne 5. dubna 2006 o odpadech (2006) Úřední věstník Evropské unie L 114

ABSTRAKT

Česká republika se ke dni 1. ledna 2013 na základě směrnice Rady evropské unie 1999/31/ES, implementované vyhláškou č. 294/2005 Sb., zavázala odklonit od skládkování 50 % biodegradabilního materiálu obsaženého ve směsném komunálním odpadu (BRKO) v porovnání s množstvím ukládaným v roce 1995. Mnohým obcím, jako původcům odpadu, tím vzniknou nemalé problémy, protože otázka nakládání se směsným komunálním odpadem (SKO) není prakticky řešena a to na žádné úrovni státní správy.

Disertační práce se zabývá otázkou, na jaké úrovni státní správy je účelné nastalou situaci řešit. Respektive, zda je účelné a možné, ať již z hlediska ekonomického či z hlediska životního prostředí, řešit situaci v rámci celého státu, krajů nebo menších územních celků typu mikroregionu či samotných měst a obcí.

ABSTRACT

In accordance with Council Directive 1999/31/EC implemented by Regulation number 294/2005 Sb., Czech Republic has agreed to reduce landfilling of biodegradable material contained in mixed municipal waste (BDMW) by 50 % in comparison with 1995 starting January 1, 2013. This causes several problems to municipalities as the issue of mixed municipal waste (MMW) treatment is not handled at any level of state administration.

PhD thesis tackles the question which level of state administration - national, regional, or microregional or municipal - should be responsible for waste treatment and whether it is economical and efficient, or not.

CURRICULUM VITAE AUTORA

Ing. Vladimír Ucekaj

Narozen: 3. 3.1980, Zábřeh

Bydliště: Kosmonautů 4, Zábřeh

Vzdělání

Ing. (procesní a ekologické inženýrství, 2003)

Téma diplomové práce: Snížení exhalací uhlovodíků vznikajících při těžbě ropy

Zaměstnání:

odborný asistent ÚPEI VUTBR (2004)

technolog – projektant EVECO Brno, s.r.o. (2006 doposud)

Oblast odborných zájmů:

energetické využití biomasy a odpadů, čištění spalin, problematika emisí VOC.

Publikační činnost:

12 původních prací, 1 průmyslový vzor

Seznam nejvýznamnějších projektů za poslední roky

2004	Feasibility study Central WWTP Prague - Sludge disposal Evaluation expert
2004 – 2010	Výzkumný záměr: Ekologicky a energeticky řízené soustavy zpracování odpadů a biomasy, č. projektu MSM 0021630502
2005 – 2006	Slovnaft, a.s. Bratislava, Incineration of sludge from waste water treatment plant Extensive retrofit and modernisation of sludge incinerator Junior Technologist and project assistant
2006 – 2008	Research and Development project Prototype of modern technological unit for combustion of various types of biomass Technologist
2008 - 2009	MITAS a.s., Praha, Czech Republic VOC emission reduction Project manager, projectant and technologist
2009	MND Storage Gas a.s., Hodonín, Czech Republic Technological and technical consultancy Drying unit for Underground natural gas storage reservoir Uhřetice Head expert
2010	České lupkové závody a.s., Ekologie s.r.o., Nové Strašecí, Czech Republic Technological and technical consultancy Integrated waste treatment centre - feasibility study Head expert