

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING

ANALÝZA MOŽNOSTÍ NAKLÁDÁNÍ S KOMUNÁLNÍMI ODPADY V RÁMCI MIKROREGIONU

ANALYSIS OF MUNICIPAL SOLID WASTE TREATMENT POSSIBILITIES IN MICROREGION

DISERTAČNÍ PRÁCE

PHD THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ING. VLADIMÍR UCEKAJ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

DOC. ING. LADISLAV BÉBAR, CSc.

BRNO 2010

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.

Klíčová slova

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

Abstrakt

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.

Keywords

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

Bibliografická citace práce

Ucekaj, V. *Analýza možností nakládání s komunálními odpady v rámci mikroregionu*. Brno, 2010. 153 s. Disertační práce na Vysokém učení technickém v Brně na Fakultě strojního inženýrství na Ústavu procesního a ekologického inženýrství. Vedoucí disertační práce doc. Ing. Ladislav Bébar, CSc.

Prohlášení

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

V Zábřehu dne 30. srpna 2010

Poděkování

Děkuji doc. Ing. Ladislavu Bébarovi, CSc za odborné vedení, cenné rady a předávání zkušeností během mého doktorského studia.

Stejně tak děkuji prof. Ing. Petru Stehlíkovi, CSc. za poskytnutí kvalitního studijní zázemí a pomoci během celého mého studia na Vysokém učení technickém v Brně.

Také bych rád poděkoval svým blízkým a rodině za jejich podporu a pomoc po dobu mého studia.

V neposlední řadě patří dík řediteli Ing. Jaroslavu Oralovi a mým kolegům ze společnosti EVECO Brno za poskytování cenných informací a zkušeností, bez kterých by dokončení této disertační práce nebylo možné.

OBSAH

1	ÚVOD	3
1.1	Legislativa	5
1.1.1	Směrnice Evropského parlamentu a rady 1999/31/ES	5
1.1.2	Nariadení vlády č. 197/2003 Sb.	7
1.1.3	Směrnice Evropského parlamentu a rady 2006/12/ES	7
1.1.4	Směrnice Evropského parlamentu a rady 2008/98/ES	7
1.1.5	Směrnice Evropského parlamentu a rady 2000/76/ES	8
1.1.6	Nariadení vlády č. 354/2002 Sb.,	9
1.1.7	Zákon č. 100/2001 Sb.	10
1.1.8	Zákon č. 185/2001	11
1.1.9	Zákon č. 565/1990 Sb.	11
1.1.10	Shrnutí	11
2	SLOŽENÍ KOMUNÁLNÍHO ODPADU A JEHO FRAKČÍ	13
3	MECHANICKO-BIOLOGICKÁ ÚPRAVA	18
3.1	Mechanická část	20
3.1.1	Drcení	21
3.1.2	Přesívání	22
3.1.3	Gravitační a větrné třídění	22
3.1.4	Magnetická separace	23
3.1.5	Hmotová a energetická bilance mechanické části MBÚ	24
3.1.6	Spotřeby energií a pomocných médií v mechanické části	24
3.2	Biologická část	25
3.2.1	Aerobní fermentace	25
3.2.2	Anaerobní fermentace	28
3.2.3	Hmotová a energetická bilance biologické části MBÚ	32
3.2.4	Spotřeby energií a pomocných médií v biologické části	34
3.3	Shrnutí bilancí a spotřeb jednotky MBÚ	35
4	ENERGETICKÉ VYUŽITÍ SKO	36
4.1	Termická oxidace	37
4.2	Jednotka Energetického využití SKO	39
4.2.1	Příjem a skladování SKO	39
4.2.2	Úprava a manipulace se SKO	40
4.2.3	Spalovací zařízení a utilizace tepla	40
4.2.4	Energocentrum	40
4.2.5	Čištění spalin	41
4.3	Hmotová a energetická bilance jednotky EV SKO	47
4.3.1	Spalovací zařízení	47
4.3.2	Utilizace tepla	48
4.3.3	Čištění spalin	50
4.3.4	Energocentrum	52

4.3.5	Spotřeby energií a pomocných médií jednotky EV SKO.....	54
4.4	Shrnutí bilancí jednotky EV SKO	55
5	ODHAD INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ TECHNOLOGIE	56
5.1	Investiční náklady Mechanicko-biologické Úpravy směsného komunálního odpadu	58
5.2	Investiční náklady jednotky EV SKO	60
5.3	Referenční jednotka MBÚ	61
5.4	Referenční jednotka jednotky EV SKO	64
5.5	Investiční náklady jednotky EV SKO nízké roční zpracovatelské kapacity	67
5.6	Investiční náklady Jednotky MBÚ nízké roční zpracovatelské kapacity	72
6	STANOVENÍ NÁKLADŮ A PŘÍJMŮ.....	74
6.1	Investiční náklady.....	76
6.2	Efektivní životnost jednotky.....	76
6.3	Náklady na údržbu.....	78
6.4	Reinvestice	80
6.5	Mzdové náklady	83
6.6	Náklady spojené se zpracováním odpadu.....	90
6.7	Náklady spojené s rezidui.....	93
6.8	Příjmy	95
6.9	Závislost roční zpracovatelské kapacity jednotky na poloměru svozové oblasti.....	102
6.10	Závislost dopravních nákladů na poloměru svozové oblasti	104
	6.10.1 Stanovení měrných nákladů na dopravu	105
	6.10.2 Stanovení koeficientu nepřímosti trasy.....	106
6.11	Zhodnocení celkových výdajů a příjmů	110
7	OPTIMALIZACE KAPACITY JEDNOTKY EV SKO Z HLEDISKA SVOZOVÉ VZDÁLENOSTI.....	114
7.1	Centrální svoz odpadu	116
8	OPTIMALIZACE KAPACITY JEDNOTKY MBÚ Z HLEDISKA SVOZOVÉ VZDÁLENOSTI.....	119
9	OPTIMALIZACE KAPACITY JEDNOTKY MBÚ S NAVAZUJÍCÍM ENERGETICKÝM VYUŽITÍM LEHKÉ FRAKCE.....	122
10	SROVNÁNÍ JEDNOTEK EV SKO A JEDNOTEK MBÚ	129
11	NÁKLADY NA ÚSPORU PRIMÁRNÍCH ENERGÍÍ	131
12	ZÁVĚR	136
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	138
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	146
	SEZNAM OBRÁZKŮ	149
	SEZNAM TABULEK	152

1 ÚVOD

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. Přitom do 1. ledna 2013 nezbyvá mnoho času. S uvážení všech běžných procedur nezbytných ke schválení, projekci a realizaci případných opatření k nakládání s BRKO, se dá konstatovat, že je skutečně nejvyšší čas. V opačném případě Česká republika svému závazku nedostojí. To kromě mezinárodní ostudy může přinést i finanční postihy.

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, stejně jako u ostatních odpadů, dle jistých pravidel. Evropský parlament schválil rámcovou směrnici o odpadech 2006/12/ES. Jedná se o zásadní předpis, který upravuje požadavky na nakládání s odpady v celé evropské sedmadvacítce. Tato rámcová směrnice přináší řadu novinek. Především poprvé na evropské úrovni v závazném právním předpisu jasně definuje hierarchii nakládání s odpady (viz obr. 1.1), kdy na prvním místě je prevence vzniku odpadů, poté jeho opětovné používání a dále recyklace následovaná energetickým využitím. Teprve odpady, které není možné již nijak využít, by měly být odstraňovány – spalováním či skládkováním. Tato pravidla jsou promítnuta do legislativy jednotlivých států EU a tedy i ČR.



Obr. 1.1 Hierarchie nakládání s odpady

Práce se bude zabývat směsným komunálním odpadem a jeho biodegradabilní složkou jako problémem, který je nezbytné v současnosti řešit. Podíváme-li se na hierarchii nakládání s odpady a zvážíme-li možnosti týkající se SKO pro jednotlivé stupně, musíme nutně dojít

k závěru, že prvním stupněm, který přichází v úvahu z hlediska možného řešení, je stupeň č. 3 - materiálové využití.

Stupeň č. 1 - předcházení vzniku odpadů může být ovlivněn, vzhledem původu SKO, pouze jednotlivými fyzickými osobami - občany ČR jako producenty odpadu nebo naopak silou, legislativně. To například zavedením zákonných pravidel v oblasti obalů potravin a jiného zboží, které tvoří nemalou část SKO.

Stupeň č. 2 - opětovné použití leží opět na bedrech občanů, protože, odhlédneme-li od „vybíračů popelnic“, lze v praxi jen těžko realizovat třídění a úpravu věcí ve směsném odpadu pro jejich opětovné použití.

Stupeň č. 3 - materiálové využití přichází jako první možnost systémového opatření prostřednictvím materiálového využití výstupů jednotky mechanicko-biologické úpravy (MBÚ) SKO. Ačkoli, jak bude ukázáno později, není ani tato možnost zcela jednoznačná a má omezené možnosti.

Stupeň č. 4 - energetické využití je již zcela jednoznačně plně uskutečnitelné programově. SKO je významným nositelem energie a pokud v něm není obsaženo velké množství vlhkosti jeho výhřevnost se obvykle pohybuje v rozmezí 8 až 11 MJ/kg, což postačuje na bezproblémové termické zpracování při legislativou požadované teplotě 850°C. Výstupy z energetického využití (EV) SKO je, za splnění legislativních podmínek, navíc možné využívat materiálově a posunout se tedy v hierarchii nakládání s odpady zpět výše ke stupni č. 3. Příkladem je použití škváry jako stavebního materiálu.

Stupeň č. 5 je představován konečným uložením odpadu do zemské kůry - skládkováním. S většinou SKO v ČR je v současnosti nakládáno tímto způsobem a je tak zcela mrháno veškerým jeho potenciálem, ať už materiálovým nebo energetickým. Upřednostňování skládkování je způsobeno relativně nízkými poplatky za skládkování a tlakem veřejnosti, která není dostatečně obeznámena se všemi riziky se skládkováním spojenými a prosazuje ho tak před ostatními možnostmi.

Práce je tedy zaměřena na posouzení možností nakládání se SKO v rámci hierarchických stupňů č. 3 a 4. Diskutována pak bude především ekonomická únosnost možností nakládání se SKO vzhledem k úrovni samosprávy, na které bude problematika SKO řešena. Tím je myšleno, zda je výhodné řešit problematiku SKO v rámci malých územních celků - mikroregionů, krajů nebo celého státu.

1.1 LEGISLATIVA

Úkolem této kapitoly je stručné seznámení s legislativou a nejdůležitějšími předpisy týkajícími se řešení problematiky. Zmíněny jsou především předpisy, ze kterých vyplývá nezbytnost řešit nakládání se SKO a které určují omezující podmínky v nakládání se SKO. Zájemce o hlubší rozbor legislativy v oblasti nakládání s odpady lze odkázat na příslušnou literaturu např. [1], zdroje na internetu, které se často podrobně zaměřují na problematiku legislativy ve specifických oblastech a tedy i v oblasti odpadů, a v neposlední řadě i na texty samotných legislativních předpisů.

1.1.1 Směrnice Evropského parlamentu a rady 1999/31/ES

o skládkách odpadů je z hlediska této práce zásadní předpis, který vstoupil v platnost dne 26. dubna 1999. Hlavním požadavkem vyplývajícím ze směrnice je omezení skládkovaného množství BRKO ve srovnání s množstvím skládkovaným v roce 1995 a to:

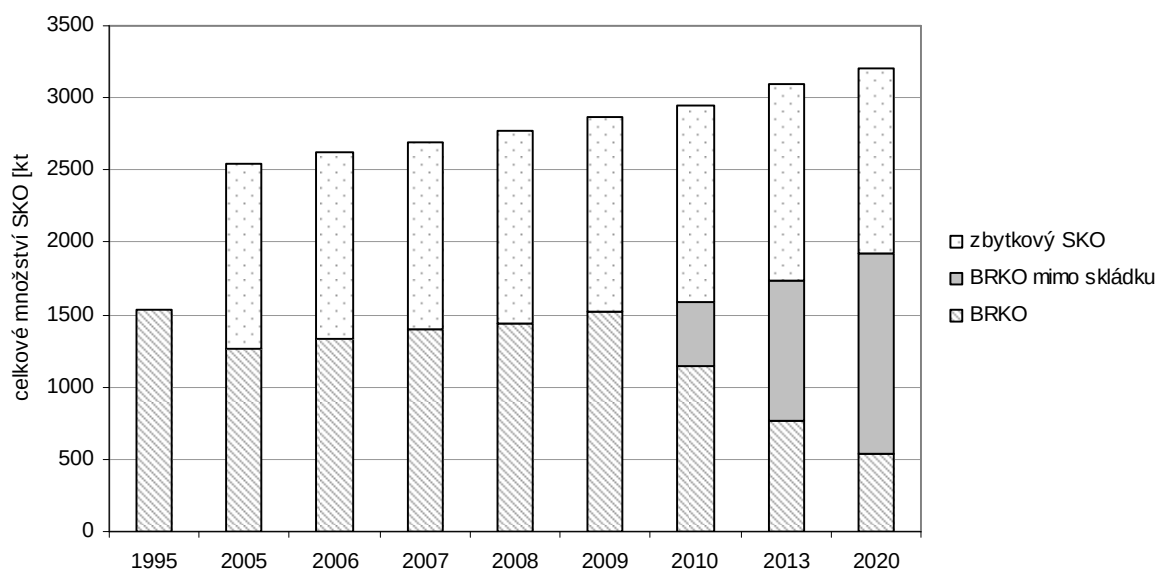
- na 75 % do 5 let ode dne účinnosti příslušného právního předpisu zajišťujícího dosažení souladu s touto směrnicí,
- na 50 % do 8 let ode dne účinnosti příslušného právního předpisu zajišťujícího dosažení souladu s touto směrnicí,
- na 35 % do 15 let ode dne účinnosti příslušného právního předpisu zajišťujícího dosažení souladu s touto směrnicí.

Přičemž členské státy, které v roce 1995 nebo v nejbližším roce předcházejícím roku 1995, a pro který jsou k dispozici normalizovaná data Eurostat, ukládaly více než 80 % svého komunálního odpadu na skládky, mohou splnění cílů odložit na ne více než čtyři roky. To je i případ ČR, pro kterou tedy konkrétní termíny a cíle jsou:

- do 1.1. 2010 odklonit od skládkování 25 % BRKO oproti množství z roku 1995,
- do 1.1. 2013 odklonit od skládkování 50 % BRKO oproti množství z roku 1995,
- do 1.1. 2020 odklonit od skládkování 75 % BRKO oproti množství z roku 1995.

Je nezbytné si uvědomit, že BRKO nejsou reprezentovány jen samostatně sbíranými složkami, jako je např. odpad z údržby zeleně, ale především biologicky rozložitelnou složkou obsaženou ve směsném komunálním odpadu. Tím je stanovení množství BRKO, které bude ve výsledku nezbytné odklonit, komplikované a nezbytně se tedy musí opírat o prognózy a odborné odhady [2]. Problematické je i stanovení samotného referenčního stavu v roce 1995. To je způsobeno matoucími definicemi v legislativě a nesourodou evidencí a vykazováním odpadů [3].

Obr. 1.2 ukazuje očekávaný vývoj produkce SKO a v něm obsaženého podílu BRKO. Šedě označená část BRKO po roce 2010 znázorňuje množství BRKO, které nebude moci být ukládáno na skládky. Pro rok 1995 je znázorněno pouze BRKO v množství 1 529 kt jako srovnávací základna.



Obr. 1.2 Predikce množství BRKO, zdroj [2]

Jak je z obr. 1.2 patrné, počítá se s rostoucím množstvím SKO a vyšším podílem BRKO v něm. Konkrétně autor [2] předpokládá v roce 2010 obsah BRKO v SKO 54 %hm., v roce 2013 56 % hm. a v roce 2020 60 % hm.

Tab. 1.1 na základě výše uvedených obsahů BRKO 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 [2]

Jak je ukázáno později v kapitole 5.4, v současné době je roční zpracovatelská kapacita jednotek schopných zpracovat SKO celkově 646 kt. Jedná se konkrétně o jednotky EV SKO. Je zřejmé, že bez vybudování nových jednotek zpracovávajících SKO nebo separátně sbíraný BRKO se ČR neobejde.

1.1.2 Nařízení vlády č. 197/2003 Sb.

o Plánu odpadového hospodářství České republiky, který implementuje požadavky na skládkování BRKO kladené směrnicí 1999/31/ES do právního rádu ČR. Navíc mimo jiné nařízení stanovuje:

- Upřednostňovat kompostování nebo anaerobní fermentaci (ANF) BRKO s následným využitím produktů v zemědělství, při rekultivacích, úpravách zeleně; pokud odpad nelze takto využít, potom ho upravovat na palivo nebo energeticky využít.
- Podpořit vytvoření regionální sítě pro nakládání s komunálními odpady tak, aby bylo dosaženo postupného omezení množství BRKO ukládaného na skládky; při vytváření regionální sítě se zaměřovat na výstavbu kompostáren, zařízení pro anaerobní rozklad a mechanicko-biologickou úpravu těchto odpadů.
- Nepodporovat výstavbu nových spaloven odpadů ze státních prostředků.
- Nepodporovat výstavbu nových skládek odpadů ze státních prostředků.

1.1.3 Směrnice Evropského parlamentu a rady 2006/12/ES

o odpadech, která definuje hierarchii nakládání s odpady tak, jak byla popsána v kapitole 1. Dále zavádí seznam procesů, které jsou považovány za odstraňování odpadů a které jsou považovány za využití odpadů. Z hlediska této práce jsou podstatné následující způsoby nakládání:

- odstraňování - D1 - ukládání na povrch nebo pod úroveň povrchu země (tzn. skládkování),
- odstraňování - D10 - spalování na pevnině,
- využití - R1 - použití jako paliva nebo jiným způsobem k výrobě energie,
- využití - R12 - předúprava odpadů před jiným způsobem využití.

Tato směrnice byla upravena směrnicí 2008/98/ES.

1.1.4 Směrnice Evropského parlamentu a rady 2008/98/ES

Body zmíněné v rámci směrnice 2006/12/ES zůstaly beze změny. Směrnice však doplňuje, kdy je spalování paliva považováno za energetické využití. Do skupiny využití odpadu R1 bude zahrnuto zařízení spalující SKO v případě, že hodnota jeho energetické účinnosti bude rovna nebo vyšší než 0,65. Tato účinnost bude stanovena pomocí následujícího vzorce:

$$\eta_{\text{energ.}} = \frac{E_p - (E_f + E_i)}{0,97 * (E_w + E_f)} \quad (1.1),$$

kde E_p se rozumí roční množství vyrobené energie v [GJ/rok] ve formě tepla nebo elektřiny. Vypočítá se tak, že se energie ve formě elektřiny vynásobí faktorem 2,6 a teplo vyrobené pro komerční využití faktorem 1,1. E_f se rozumí roční energetický vstup do systému z paliv přispívajících k výrobě páry [GJ/rok]. E_w se rozumí roční množství energie obsažené ve zpracovávaných odpadech vypočtené s použitím výhřevnosti odpadů [GJ/rok]. E_i se rozumí roční spotřebovaná energie pro provoz bez E_w a E_f [GJ/rok]. 0,97 je součinitel k započtení energetických ztrát v důsledku vzniklého popela a vyzařování. Je nutné podotknout, že výše uvedený vzorec musí být použit v souladu s referenčním dokumentem o

nejlepších dostupných technikách pro spalování odpadu [4]. Problematikou energetické účinnosti se podrobně zabývá např. [5, 6].

1.1.5 Směrnice Evropského parlamentu a rady 2000/76/ES

o spalování odpadů stanovuje důležité podmínky, které je nezbytné splnit pro spalování a spoluspalování odpadů:

- Zařízení pro spalování nebo spoluspalování komunálního odpadu s kapacitou nad 3 t/hod spadá pod směrnici 1996/61/ES o integrované prevenci a omezování znečištění, neboli tzv. řízení EIA (viz podkapitola 1.1.7 - zákon 100/2001).
- Při spoluspalování odpadu v zařízeních původně určených ke spalování odpadu by neměly být povolovány vyšší emisní limity pro objem spalin vzniklý spoluspalováním odpadu, než jsou emisní limity povolené pro zařízení spalující odpad.
- Směsným komunálním odpadem (SKO) se rozumí odpad z domácností, stejně jako živnostenský, průmyslový odpad a odpad z úřadů, který je svou charakteristikou a složením podobný odpadu z domácností s výjimkou u zdroje odděleně sbíraných frakcí (separátně sbíraný papír, sklo, plasty, atd.).
- Spoluspalovacím zařízením se rozumí zařízení, jehož hlavním účelem je výroba hmotných produktů nebo energie a které využívá odpad jako normální nebo přídatné palivo, nebo ve kterém je odpad tepelně zpracováván za účelem jeho odstranění.
- Úroveň spalování musí dosahovat takové úrovně, aby obsah celkového organického uhlíku ve strusce byl max. 3 % hm. Dle potřeby musí být k naplnění tohoto cíle použity vhodné metody předběžné úpravy odpadu.
- Za posledním příívodem spalovacího vzduchu jak u spalovacího, tak i spoluspalovacího zařízení, musí být dosaženo stejnoměrné prohřátí vznikajících spalin i za nejvíce nepříznivých podmínek nejméně na teplotu 850°C a jejich setrvání na této teplotě po dobu nejméně dvou sekund.
- Každá spalovací linka musí být vybavena nejméně jedním pomocným hořákem, který se automaticky zapne v okamžiku, kdy teplota spalin za posledním příívodem spalovacího vzduchu klesne pod 850°C nebo bude použit v okamžiku uvádění zařízení do provozu nebo jeho odstavování tak, aby zajistil teplotu ve spalovací komoře nejméně 850°C v případě, že se v ní bude nacházet nespálený odpad.
- Spalovací a spoluspalovací zařízení musí být vybaveno takovým systémem podávání odpadu, který zaručí zastavení dávkování odpadu v případě, že teplota spalin za posledním příívodem spalovacího vzduchu poklesne pod 850°C nebo kdykoli, kdy jakékoli nepřetržité měření požadované touto směrnicí prokáží, že je v důsledku poruch nebo selhání čistících zařízení překročena jakákoli mezní hodnota emisí.
- Veškeré teplo vznikající při spalování nebo spoluspalování musí být v co největší míře využíváno.
- U spalovacích nebo spoluspalovacích zařízení musí být prováděno kontinuální měření emisí oxidů dusíku, oxidu uhelnatého, tuhých znečišťujících látek,

celkového organického uhlíku, kyseliny chlorovodíkové, kyseliny flourovodíkové a oxidu siričitého.

- U spalovacích nebo spalovacíh zařízení musí být prováděno kontinuální měření parametrů procesu a to teploty spalin ve spalovací komoře a dále koncentrace kyslíku, tlaku, teploty a vlhkosti vyčištěných spalin odváděných do atmosféry (tzv. „měření na komíně“).

Tato směrnice také stanovuje emisní limity pro spalování a spalování odpadu. Tyto jsou uvedeny v následující kapitole.

1.1.6 Nařízení vlády č. 354/2002 Sb.,

kterým se stanoví emisní limity a další podmínky pro spalování odpadu. Zcela vychází ze směrnice 2000/76/ES a implementuje ji tak do právního řádu ČR.

Ačkoli emisní limity nejsou pro tuto práci podstatné, tab. 1.2 uvádí přehled emisních limitů pro spalování odpadů spolu s emisními limity energetických zařízení spalujících různé druhy paliv. Použity jsou emisní limity dle nařízení vlády č. 354/2002 Sb. a nařízení vlády č. 352/2002 Sb., přičemž jsou uvažovány malé a střední zdroje do výkonu 50 MW. Emisní limity jsou pro možnost porovnání přepočteny na suchý plyn, normální stavové podmínky (273,15°C, 101 325 Pa) a obsah O₂ 11 % obj. V případě, že emisní limit dané znečišťující látky pro určitou technologii není stanoven, je příslušná kolonka nevyplněna. Emisní limity jsou uvedeny až na PCDD/F v mg/m³. PCDD/F jsou vedeny v ng TEQ/m³.

Nařízení také stanovuje specifické emisní limity pro konkrétní případy spalování odpadu. Mimo jiné např. pro spalování odpadu v cementářských pecích. V případech spalování odpadu, kdy není nařízením explicitně stanoven specifický emisní limit "C" příslušné znečišťující látky, určí se tento limit výpočtem podle vzorce směšovacího pravidla

$$C = \frac{(V_{odpad} \times C_{odpad}) + (V_{proc} \times C_{proc})}{V_{odpad} + V_{proc}} \quad (1.2),$$

kde:

V_{odpad}	objem spalin vzniklých spalováním pouze odpadu stanovený podle odpadu s nejnižší výhřevností specifikovaného v povolení a vztažený k normálním stavovým podmínkám, suchý plyn a 11 % O ₂ ve spalinách,
C_{odpad}	hodnoty specifických emisních limitů stanovené pro spalovny odpadu,
V_{proc}	objem spalin vznikajících v zařízení při spalování povolených paliv (bez spalování odpadů) vztažený k normálním stavovým podmínkám a referenčnímu obsahu kyslíku určenému podle druhu paliva,
C_{proc}	hodnoty specifických emisních limitů pro vybrané technologie pro spalování povolených paliv bez přítomnosti odpadů,
C	hodnota celkového emisního limitu příslušné znečišťující látky.

Tímto je v podstatě naplněn požadavek směrnice 200/76/ES nepovolovat vyšší emisní limity pro část spalin vznikajících spalováním odpadu, než jsou emisní limity pro samostatné spalování odpadu.

	spalování odpadu	uhelné kotle	kotle na dřevo	kotle na mazut	plynové kotle
TZL	10	100	250	55	28
TOC	10	-	50	-	-
SO _x jako SO ₂	50	1 667	2 500	945	19
No _x jako NO ₂	200	435	650	250	111
CO	50	267	650	650	55
HCl	10	-	-	-	-
HF	1	-	-	-	-
PCDD/F	0,1	-	-	-	-
Hg	0,05	-	-	-	-
Cd	0,05	-	-	-	-
ostatní těžké kovy	0,5	-	-	-	-

Tab. 1.2 Srovnání emisních limitů, převzato [7]

1.1.7 Zákon č. 100/2001 Sb.

o posuzování vlivů na životní prostředí. Mimo jiné určuje záměry podléhající zvláštnímu posuzovacímu řízení na základě tohoto zákona. Toto řízení je mezi laickou veřejností známé jako tzv. „EIA studie“. EIA je zkratka pocházející z anglického názvu Environmental Impact Assessment. V rámci řízení dochází k odbornému posouzení vlivů na obyvatelstvo, živočichy a rostliny, ekosystémy, půdu, horninové prostředí, vodu, ovzduší, klima a krajinu, přírodní zdroje, hmotný majetek a kulturní památky a na jejich vzájemné působení a souvislosti. Cílem je získat odborný objektivní podklad sloužící pro vydání dalších rozhodnutí a opatření za účasti široké veřejnosti. Kladné rozhodnutí v rámci tohoto řízení tak lze chápat jako podmínku nutnou, nikoli postačující pro další rozhodnutí týkající se záměru, např. vydání stavebního povolení.

Čistě z praktického hlediska s přihlédnutím ke lhůtám, které mají jednotlivé úřady k vyjádření, a k samotné délce projednávání, znamená pro záměr proces posuzování vlivů na životní prostředí v ideálním případě časový úsek půl roku, se kterým je nezbytné počítat v rámci délky projekční fáze.

Dle tohoto zákona do posuzovacího řízení spadají automaticky všechny záměry s roční zpracovatelskou kapacitou nad 30 kt/rok SKO. Záměry s roční zpracovatelskou kapacitou 1 až 30 kt/rok SKO podléhají nejprve zjišťovacímu řízení, na jehož základě se rozhodne, zda záměr bude podléhat regulérnímu posuzovacímu řízení. Vzhledem k obecně negativnímu postoji veřejnosti a z toho vyplývající opatrnosti úřadů a volených orgánů samosprávy lze předpokládat, že i záměry o této kapacitě spadnou do regulérního posuzovacího řízení.

1.1.8 Zákon č. 185/2001

o odpadech, je spolu s nařízením vlády 197/2003 sb., respektive směrnicí 1999/31/ES nejzásadnějším předpisem. Implementuje směrnici 2006/12/ES do právního řádu ČR. Jsou v něm definovány základní pojmy týkající se komunálního odpadu:

- Komunálním odpadem je veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob, s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání.
- Pro komunální odpady vznikající na území obce, které mají původ v činnosti fyzických osob, na něž se nevztahují povinnosti původce, se za původce odpadů považuje obec. Obec se stává původcem komunálních odpadů v okamžiku, kdy fyzická osoba odpady odloží na místě k tomu určeném; obec se současně stane vlastníkem těchto odpadů.

Mimo jiné také zákon definuje povinnost:

- předcházet vzniku odpadů a
- přednostní využívání odpadů.

Dále upravuje možnosti a povinnosti obce při nakládání s komunálním odpadem. Nejdůležitějšími z nich jsou:

- Obec může ve své samostatné působnosti stanovit obecně závaznou vyhláškou obce systém shromažďování, sběru, přepravy, třídění, využívání a odstraňování komunálních odpadů vznikajících na jejím katastrálním území, včetně systému nakládání se stavebním odpadem.
- Původci, kteří produkují odpad zařazený podle Katalogu odpadů jako odpad podobný komunálnímu z činnosti právnických osob a fyzických osob oprávněných k podnikání, mohou na základě smlouvy s obcí využít systému zavedeného obcí pro nakládání s komunálním odpadem. Smlouva musí být písemná a musí obsahovat vždy výši sjednané ceny za tuto službu.

Přičemž obec může za provoz systému nakládání s odpady vybírat poplatek, viz zákon č. 565/1990 Sb..

1.1.9 Zákon č. 565/1990 Sb.

o místních poplatcích stanovuje, že poplatek za provoz systému nakládání s odpady je složen za dvou sazeb:

- fixní ve výši 250 Kč za fyzickou osobu a rok,
- proměnné až do výše 250 Kč stanovené na základě skutečných nákladů obce za minulý rok.

Přičemž obec je povinna provést rozúčtování nákladů na sběr a svoz netříděného komunálního odpadu na osobu.

1.1.10 Shrnutí

Původcem komunálního odpadu je obec. Na obci tedy leží hlavní povinnost zajistit plnění plánu odklonění BRKO od skládkování. Možnosti, jak ovlivnit fyzické osoby, které ve skutečnosti SKO vytvářejí, má obec dvě. Jedna je prostřednictvím poplatku za provozování

systému nakládání s odpady. Ten je ale často už nyní vybírán ve své maximální možné výši, tedy 500 Kč na osobu a rok. Pokud nedojde ke změně zákona, je možnost ovlivnění chování fyzické osoby jeho prostřednictvím malá. Druhou možností obce je stanovení povinnosti třídění a odděleného ukládání BRKO přímo fyzickou osobou v rámci obecně závazné vyhlášky o systému shromažďování, sběru, přepravy, třídění, využívání a odstraňování komunálních odpadů, včetně systému nakládání se stavebním odpadem. Předpoklad, že veškerý komunální odpad bude sbírán pouze v jednotlivých využitelných složkách (zejména BRKO) a nebude tedy produkován SKO, je však nepravděpodobný. Stejně by tak pouze byla nahrazena nutnost zpracovávat větší množství SKO, nutností zpracovávat menší množství separátně sbíraného BRKO. Cestou zcela separátního sběru BRKO se však nakonec nevydaly ani v oblasti odpadového hospodářství rozvinutější státy jako Německo nebo Rakousko.

Další otázkou je, zda při všeobecném nezájmu zemědělců o kompost jako hnojivo, by bylo možné nalézt na trhu možnost jeho jiného využití (např. terénní úpravy). To platí i pro ostatní případně separátně sbírané složky. V případě, že by nebylo možné pro separátně sbírané složky nalézt materiálové využití, musela by obec v souladu s hierarchií nakládání s odpady upřednostnit jejich energetické využití před skládkováním. Prakticky však ani spalování ani skládkování není v rámci platného plánu odpadového hospodářství podporováno (viz zákon 197/2003 Sb.).

Zde je nutné poznamenat, že obecně často dochází k záměně pojmů „spalování odpadu“ a „energetické využití odpadu“ (pozn. spoluspalování odpadů může v zásadě spadat pod obojí možnost). Přitom spalování a energetické využívání jsou legislativně zásadně odlišné pojmy, kdy spalování je považováno za metodu odstraňování s označením D10 a energetické využití je metodou využívání odpadů s označením R1. Je tedy otázkou, co přesně znamená bod v plánu odpadového hospodářství ČR o nepodporování výstavby nových spaloven odpadu ze státních prostředků. Je myšleno to, že nebudou podporovány projekty uvažující s aplikací metody D10 nebo R1?

Obce se dostávají do obtížné situace, kdy není jasné, jak naložit s odpadem, o který nebude mít nikdo zájem. Ani jeden z koncových stupňů zpracování odpadů (tzn. energetické využití a skládkování) není totiž státem podporován a zároveň není reálné, že všechen vznikající odpad bude možné materiálově využít.

Poslední dobou však začíná být tento rozpor vyjasňován. Příkladem může být výzva Ministerstva životního prostředí v rámci prioritní osy 4 a 2 Operačního programu Životní prostředí, kdy podporovanými projekty jsou:

- regionální systémy pro mechanickou s biologickou úpravu komunálního odpadu,
- regionální systémy pro energetické využívání komunálního odpadu,
- úpravy kotlů za účelem splnění podmínek pro spoluspalování odpadů.

Nicméně jasná úprava legislativy týkající se nakládání s odpady bude pravděpodobně nezbytná. Mimo jiné i z toho důvodu, že současná legislativa ČR prakticky nezná a neoperuje s pojmem MBÚ. Jedinou výjimkou je definice procesu MBÚ ve vyhlášce č. 482/2005 Sb. o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy, což je relativně kuriózní situace.

2 SLOŽENÍ KOMUNÁLNÍHO ODPADU A JEHO FRAKCÍ

Z definice v zákoně 185/2001 Sb. vyplývá, že komunálním odpadem je veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob, s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání. Již z této definice je zřejmé, že pod pojem „komunální odpad“ tak bude patřit relativně široká skupina odpadů. Pohledu do katalogu odpadů, což je příloha č. 1 vyhlášky 381/2001 Sb., kterou se stanoví katalog odpadů, tuto domněnku potvrzuje a pod kódem 20 - Komunální odpady (odpady z domácností a jim podobné a podobné živnostenské, průmyslové odpady a odpady z úřadů) jsou uvedeny mimo jiné následující skupiny a podskupiny:

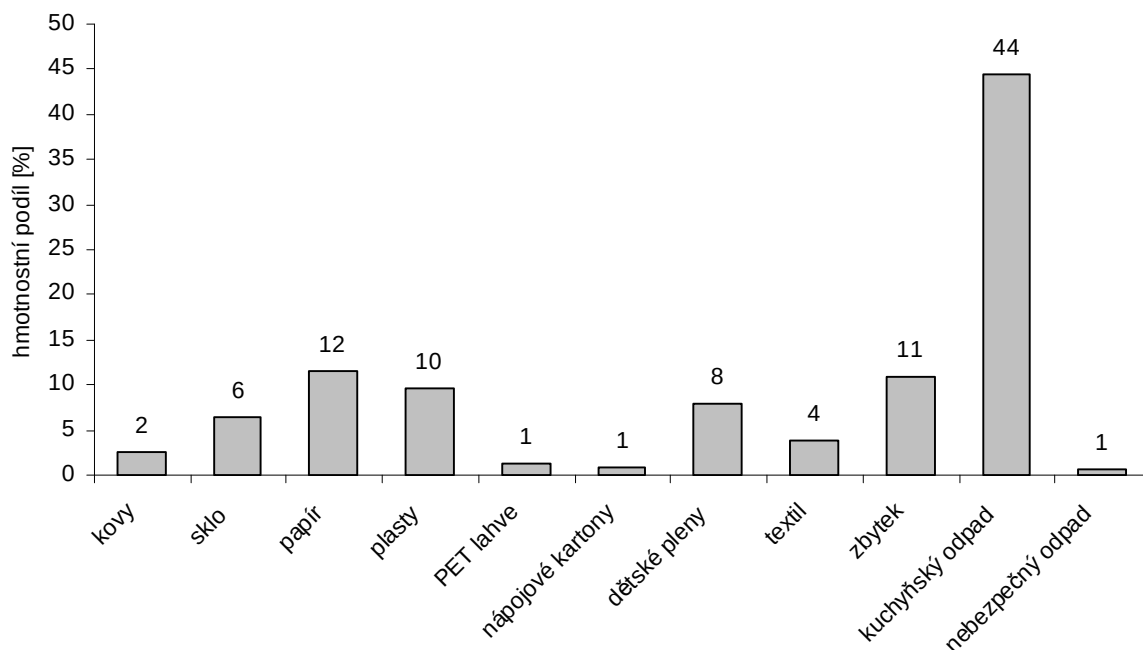
- složky z odděleného sběru,
 - papír,
 - lepenka,
 - plasty,
 - kovy atd.
- odpady ze zahrad a parků,
 - biologicky rozložitelný odpad,
 - zemina, kameny atd.
- ostatní komunální odpady
 - směsný komunální odpad,
 - uliční smetky,
 - kal ze septiků a žump atd.

Zcela specifickou podskupinou mezi komunálními odpady potom je směsný komunální odpad (SKO), který má katalogové číslo 20 03 01. Z hlediska této práce je tento odpad rozhodující a bude mu proto věnována další pozornost. Tento odpad představuje netříděnou složku komunálního odpadu pocházející převážně z domácností, případně od fyzických či právnických osob, jimiž produkováný odpad má vlastnosti podobné s odpadem produkováným domácnostmi. Tento odpad je obvykle ukládán a sbírán prostřednictvím běžně známých kontejnerů o různém objemu určenými právě na sběr směsného komunálního odpadu.

Z hlediska složení je SKO relativně problematickým odpadem. V závislosti na různých faktorech může být složení SKO proměnné poměrně v širokém rozsahu. Z tohoto důvodu se problematice jeho složení se věnuje mnoho autorů [8, 9]. 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.

Obr. 1.3 uvádí příklad složení směsného komunálního odpadu. Vzorek pochází ze Dvora Králové nad Labem, tedy ze zástavby městského typu. Rozbor byl proveden autory [9] dne 17. ledna 2008.

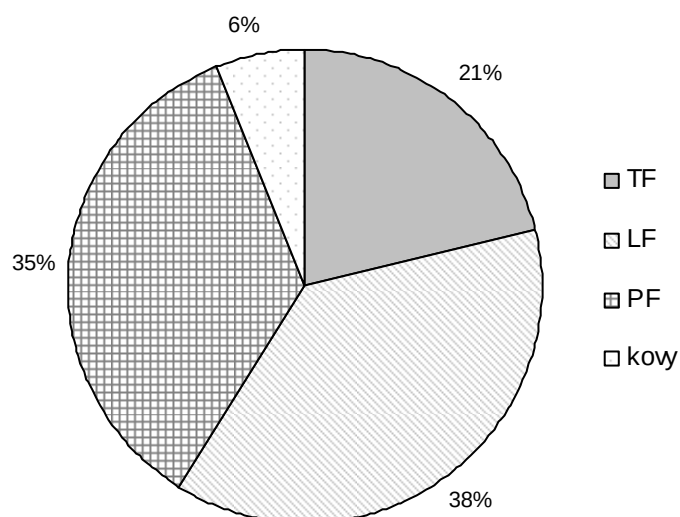


Obr. 1.3 Hmotnostní materiálové složení SKO, převzato z [9]

Pod kategorií „zbytek“ spadá mimo jiné např. minerální odpad (zemina, kameny), popel a drobné částice plastů, skla, dřeva atd. Tyto materiály jsou často uváděny i jako samostatné kategorie v případě, že je jejich obsah vyšší.

Za povšimnutí stojí dominantní kategorie „kuchyňský odpad“, což není nic jiného než BRKO. Obsah BRKO je v tomto případě téměř 45 % hm. Zde je však nutné poznamenat, že za BRKO by měl být správně považován i papír a částečně i textil, protože jde o látky také podléhající biologickému rozkladu [10].

Složení SKO tak, jak je uvedené v obr. 1.3, tedy 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. Na základě tohoto předpokladu a na základě vyhodnocení vícero dat týkajících se hmotnostního zastoupení materiálových složek v SKO, bylo pro účely práce stanoveno složení SKO z hlediska zastoupení jednotlivých frakcí následovně, viz obr. 1.4.



Obr. 1.4 Hmotnostní frakční složení SKO

Z hlediska spalování odpadu je však nezbytné stanovit tzv. palivářské složení SKO. Tento typ složení přináší informaci o výhřevnosti, obsahu popelovin, vlhkosti a zpravidla zastoupení následujících elementárních prvků - uhlíku, vodíku, dusíku, kyslíku, síry a chlóru, které představují spalitelnou část SKO, tj. hořlavinu. Toto složení je stejně jako, již zmiňované jiné typy složení SKO, závislé na mnoha faktorech. Nicméně pro potřeby práce a možnost srovnání jednotlivých technologií zpracování SKO postačí pouze jediné složení. Na základě know-how a dlouhodobých zkušeností společnosti EVECO Brno bylo nakonec přistoupeno k použití palivářského složení SKO uvedeného v tab. 1.3.

	[% hm.]
C	27,4
H	3,7
N	0,8
O	15,7
S	0,2
Cl	0,2
popeloviny	20,0
voda	32,0
výhřevnost [MJ/kg]	10,5

Tab. 1.3 Palivářské složení SKO

Pro orientaci tabulka 1.4 uvádí obvyklý rozsah palivářského složení SKO, se kterým se lze setkat v literatuře.

	[% hm.]
C	18 až 40
H	1 až 5
N	0,2 až 1,5
O	15 až 22
S	0,1 až 0,5
Cl	0,1 až 1
popeloviny	18 až 35
voda	15 až 40
výhřevnost [MJ/kg]	7 až 15

Tab. 1.4 Obvyklé rozsahy složení SKO

Jednou z posuzovaných variant v práci je energetické využití lehké frakce. Z tohoto důvodu je nezbytné stanovení palivářského složení i této frakce, které je uvedeno v tab. 1.5. Data v tabulce byla stanovena na základě porovnání dat získaných společnostmi EVECO Brno během reálných zkoušek spoluspalování LF jako alternativního paliva v rotačních kalcinačních pecích s daty dostupnými ve volně dostupných databázích [11]. Vzhledem k původu LF ze SKO je předpokládána její nižší výhřevnost oproti podobným tuhým alternativním palivům (TAP) připravovaným ze separátně sbíraných složek komunálního či jemu podobnému průmyslovému odpadu. Tento předpoklad vychází z předpokládaného vyššího obsahu méně výhřevných složek v LF a také z vyššího obsahu vlhkosti.

	[% hm.]
C	36,2
H	5,7
N	0,1
O	36,3
S	0,1
Cl	1,0
popeloviny	12,6
voda	8,0
výhřevnost [MJ/kg]	15,0

Tab. 1.5 Palivářské složení lehké frakce - LF

Relativně vysoký obsah chlóru je způsoben obsahem plastických hmot na bázi PVC. Vysoký obsah chlóru působí problémy při spalování nejen z hlediska emisních limitů HCl ve spalinách, ale také z hlediska provozního, kdy mimo jiné např. dochází ke korozi teplosměnných ploch kotle a nápekům ve spalovací komoře. Dalším problémem je vznik PCCD/F během spalovacího procesu, jejichž je chlór nezbytnou součástí. Proto je poslední

dobou vyvozován tlak na omezení používání plastů na bázi PVC. Podobně jako tomu bylo v minulosti v souvislosti s používáním rtuťových baterií.

Podsítná frakce SKO je v okamžiku jejího mechanického vytrídění ze SKO převážně směsí biologicky rozložitelných materiálů. PF prochází v jednotce MBÚ dalším zpracováním. To je závislé na zvolené konfiguraci jednotky. Jak je popsáno v kap. 3, tato práce uvažuje s aerobní fermentací (AEF) a s kombinací anaerobní fermentace (ANF) s AEF. Z hlediska AEF není nutné složení stabilizované frakce (SF) blíže specifikovat, nicméně pro úplnost je typické složení kompostu, tj. SF, pocházejícího z PF SKO uvedeno v tabulce 1.6.

	[% hm.]
C	15,4
H	3,0
N	0,8
O	13,1
S	0,5
Cl	0,2
popeloviny	33,0
voda	34,0
výhřevnost [MJ/kg]	4,1

Tab. 1.6 Palivářské složení stabilizované frakce - SF

Z hlediska ANF je ke stanovení produkce bioplynu, resp. metanu, nezbytné určit hmotnostní obsah hořlaviny v PF. Obvykle je totiž měrná produkce metanu vztahována na obsah hořlaviny v palivu a je tak udávána i většinou autorů [12, 13]. Tabulka 1.7 ukazuje uvažované palivářské složení PF.

	[% hm.]
C	19,4
H	2,5
N	0,8
O	13,3
S	0,19
Cl	0,11
popeloviny	8,7
voda	55,0
výhřevnost [MJ/kg]	6,4

Tab. 1.7 Palivářské složení podsítné frakce - PF

S dalším využitím těžké frakce se v práci neuvažuje a není tedy nutné blíže definovat její složení. Plně postačí její známé hmotnostní zastoupení v SKO, jak bylo definováno v obr. 1.4. Tímto jsou zcela definována složení SKO a jeho frakcí, která jsou nezbytná k dalšímu postupu prací.

3 MECHANICKO-BIOLOGICKÁ ÚPRAVA

Mechanicko-biologická úprava SKO je proces, k jehož hlavnímu rozvoji došlo v Německé spolkové republice v průběhu 90. let za účelem odklonění BRKO od skládkování. Vznik technologie MBÚ však je nutné hledat v dřívější době. Již v 70. letech vznikala řada závodů ve Spojených státech amerických a Velké Británii zpracovávajících SKO a zejména jeho lehkou nadsítnou frakci na alternativní palivo. Důraz byl v té době kladen především na zpracování a využití LF a to kvůli ropné krizi v 70. letech, která zapříčinila prudký nárůst cen ropy, a hledání alternativních zdrojů energie.

Nicméně i se zpracováním BRKO (tj. podsítné frakce) bylo uvažováno podobně jako tomu je dnes a to technologií aerobní a anaerobní fermentace. Lze konstatovat, že tehdy používané technologie prošly do dnešní doby vývojem evolučním a nedošlo k žádné zásadní změně v jejich provedení a způsobu nasazení. Přehled technologií a technických řešení, včetně ekonomiky provozu konkrétních závodů z konce 70. let je možné nalézt v [14].

S použitím definice z vyhlášky č. 482/2005 Sb. lze MBÚ 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.

Technologie MBÚ tak není jednotnou technologií, ale kombinací různých technologií spadajících do dvou větších skupin a to mechanických a biologických. Označení MBÚ by tak mělo být spíše chápáno jako souhrnné označení technologií kombinujících mechanické a biologické procesy úpravy SKO. Pokud by měla být terminologie zcela přesná je zapotřebí striktně rozlišovat následující kombinace a rozlišovat i řazení názvů:

- mechanicko-biologická úprava - MBÚ,
- biologicko-mechanická úprava - BMÚ,
- mechanicko-fyzikální úprava MFÚ.

Je však nutné poznamenat, že výše uvedeným přehledem nebyly možnosti kombinací vyčerpány a zcela obecně mohou být volně kombinovány postupy mechanické, fyzikální a biologické. Konkrétní kombinace technologií je potom otázkou zaměření jednotky na produkci konkrétních výstupů technologie nebo dosažení určitých cílů mimo jiné např.:

- produkce bioplynu,
- stabilizace BRKO,
- produkce kompostu,
- produkce LF jako alternativního paliva,
- produkování druhotných surovin k materiálovému využití.

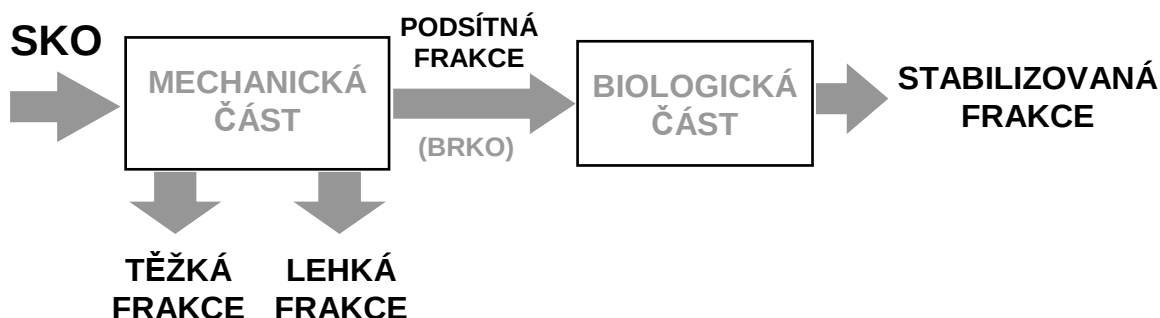
V neposlední řadě je uspořádání jednotky závislé také na kvalitě a množství vstupujícího odpadu.

Tab. 3.1 uvádí přehled základních jednotkových procesů pro mechanickou, biologickou a fyzikální část jednotek MBÚ, respektive BMÚ a MFÚ.

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

V práci je přednostně uvažováno s jednotkami v uspořádání, kdy mechanický stupeň předchází stupni biologickému a jejichž hlavní náplní je stabilizace BRKO, jakožto hlavní legislativní požadavek. Předřazení mechanického stupně stupni biologickému je dáno požadavkem na zpracování SKO. V dnešní době je značná část SKO zabalena v odpadkových pytlích, které je nezbytné rozrušit tak, aby mohly být úspěšně nasazeny další technologické operace. Obecné principiální schéma takové jednotky je zobrazeno na obr. 3.1.



Obr. 3.1 Obecné schéma MBÚ

Biologický stupeň je uvažován ve dvou variantách:

1. V čistě aerobní verzi, kdy je hlavním účelem jednotky pouze odklonění BRKO od skládkování. Tato varianta se však ukazuje, jak bude rozebráno později, jako ekonomicky a environmentálně nevýhodná.
2. V kombinaci anaerobní a aerobní fermentace, kdy je v první fázi nejprve pomocí ANF z BRKO vyráběn bioplyn využívaný ke kogeneraci elektrické a tepelné energie. V druhé fázi je dokončena stabilizace digestátu z ANF tzv. řízenou aerobní fermentací s nuceným provzdušňováním.

Vzhledem k obsáhlosti problematiky jednotek MBÚ, jejich možné technologické skladbě a obsažených mechanických, fyzikálních a biologických procesů je nutné odkázat zájemce o hlubší seznámení na literaturu, např. [14, 15, 16]. V rámci práce je provedeno pouze nezbytné seznámení s problematikou s důrazem na jednotku MBÚ výše uvedené technologické skladby.

3.1 MECHANICKÁ ČÁST

MBÚ je tedy nutné chápat jako dva na sebe navazující stupně zpracování SKO, kdy v mechanické části stavby je zajišťována úprava SKO. Úpravou je myšleno mechanické rozdělení složek v SKO dle fyzikálních vlastností, kterými jsou rozměr (granulometrie), měrná hmotnost, magnetické a případně jiné fyzikální vlastnosti. Dále linka mechanické části odpad roztríděný dle výše uvedených vlastností upravuje drcením, tedy mění granulometrii zpracovávaného odpadu na požadovanou hodnotu. Tato hodnota je dána požadavky vyplývajícími s následného využití. 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

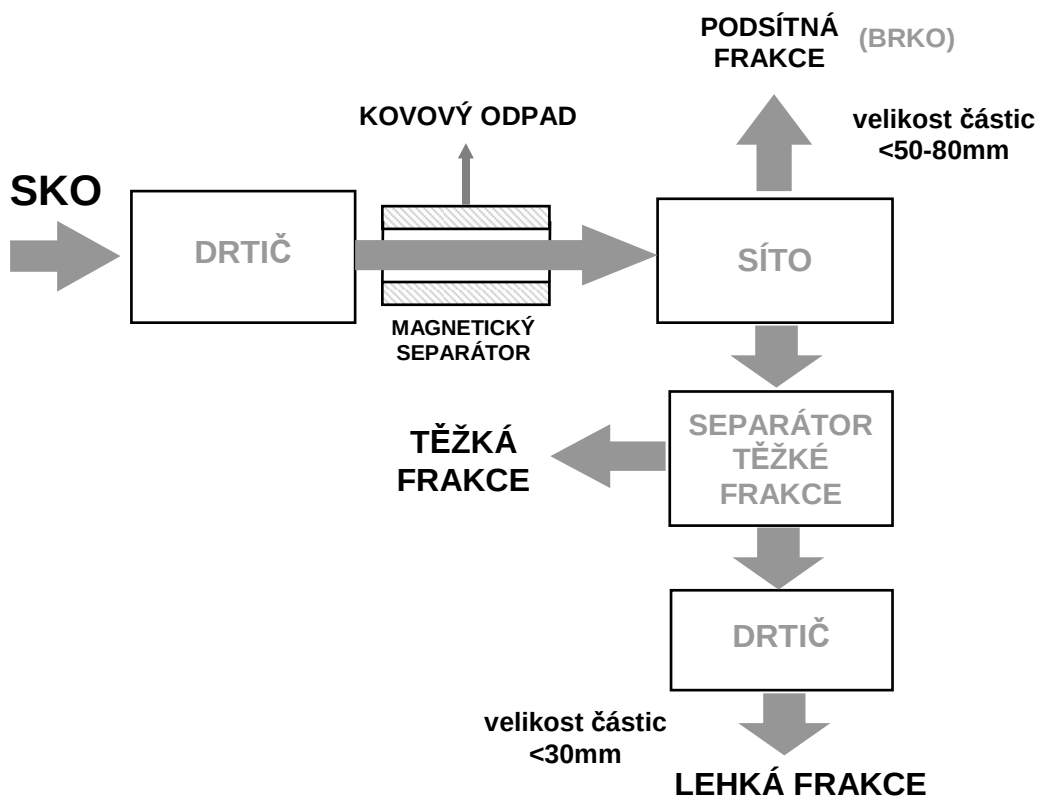
V mechanické části je možné mimo SKO zpracovávat i jiné druhy komunálních odpadu mimo jiné např.:

- uliční odpady a smetky,
- dřevěné odpady,
- pneumatiky,
- papírové a lepenkové odpady,
- objemný odpad,
- plasty.

Obr. 3.2 ukazuje možnou konfiguraci mechanické části MBÚ. Jde o základní konfiguraci, kterou je zajištěno rozdělení SKO do tří základních frakcí a separaci kovového magnetického odpadu. V případě zvláštního požadavku na kvalitu některé z vystupujících frakcí je tato základní konfigurace rozšiřována o další potřebná zařízení, kterými může být mimo jiné např.:

- sekundární síto určené k přesívání primární podsítné či nadsítné frakce,
- separace nemagnetických kovových materiálů technologií vířivých proudů (tzv. „eddy current separation“),
- NIR (near infrared) separace různých druhů plastů,
- peletizace.

Samotná mechanická část MBÚ má podobu linky složené z potřebných aparátů zajišťujících základní jednotkové operace (drcení, přesívání atd.) propojené pásovými dopravníky.



Obr. 3.2 Obecné schéma mechanické části MBÚ

3.1.1 Drcení

je mechanický proces během kterého dochází ke zmenšování částic materiálu silovým působením drticích elementů. Hlavním účelem primárního drcení je připravit vstupující materiál (SKO) na další procesní operace, především přesívání, definováním jeho granulometrie a narušením větších konglomerátů odpadu (např. pytle s odpadem). Přičemž různé materiály podléhají procesu drcení odlišně, např. plastové fólie, papíry atd. procesu prakticky nepodléhají. Za účelem primárního drcení SKO se v dnešní době obvykle používá pomaluběžných drtičů s jednou hřídelí. Maximální velikost částic vystupujících z drtiče se pohybuje v rozmezí 100 až 300 mm, viz [17].

Sekundární drcení slouží ke konečné úpravě granulometrie dané frakce, nejčastěji LF. Požadavky na menší maximální velikost částic (obvykle pod 60 mm) vyžadují mírně odlišné konstrukční uspořádání sekundárních drtičů spolu s požadavkem na menší zastoupení materiálů nevhodných k drcení ve zpracovávané frakci (minerální odpad, střepy skla). Čistota frakce vstupující do sekundárního drtiče je nejčastěji zajišťována pomocí separátorů těžké frakce.

3.1.2 Přesívání

Je ve své podstatě nejzákladnější operací mechanické části, kterou dochází k oddělení jednotlivých hlavních frakcí SKO. Velikost ok sít se obvykle pohybuje dle požadavků na výstupy v rozsahu 50 až 200 mm [14]. Přičemž je využíváno faktu, že frakce SKO s velikostí částic:

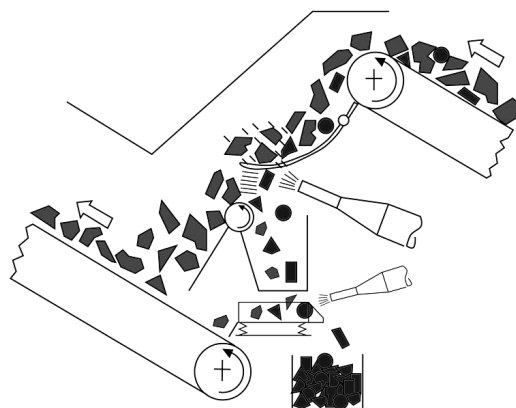
- pod 80 mm je představována většinou BRKO spolu s popelem, malými skleněnými střepy s dalšími drobnými částicemi, jde tedy o primární podsítnou frakci SKO,
- nad 80 mm je představována především plasty, papírem, většími kusy skla, keramiky a kovů a nápojovými obaly (kartony).

Síta jsou obvykle realizována jako rotační nebo vibrační. Výhodou rotačních sít je samočisticí schopnost, kdy oproti vibračním sítům nedochází k zachytávání vláknitých materiálů na přesívacích plochách. Na druhou stranu mají rotační síta vyšší provozní spotřebu elektrické energie.

U obou druhů sít lze efektivně řídit přesívací proces sklonem bubnu, respektive přesívací plochy a otáčkami bubnu, respektive intenzitou a frekvencí vibrací. Ideální nastavení těchto parametrů je však většinou otázkou provozních zkoušek zařízení.

3.1.3 Gravitační a větrné třídění

Je zpravidla operací následující za přesíváním, která má za úkol odstranit z nadsítné frakce tzv. těžkou frakci. Ta je představována částicemi s vysokou měrnou hmotností, jako jsou části skla, keramiky a kameniva. V dnešní době je obvykle separace TF realizována v rámci jednoho zařízení využívajícího kombinaci více principů. Nejčastěji jsou společně využívány principy gravitačního (tj. balistického) a větrného (tj. aerodynamického) třídění, viz obr 3. 3.



Obr. 3.3 Separátor TF, převzato [18]

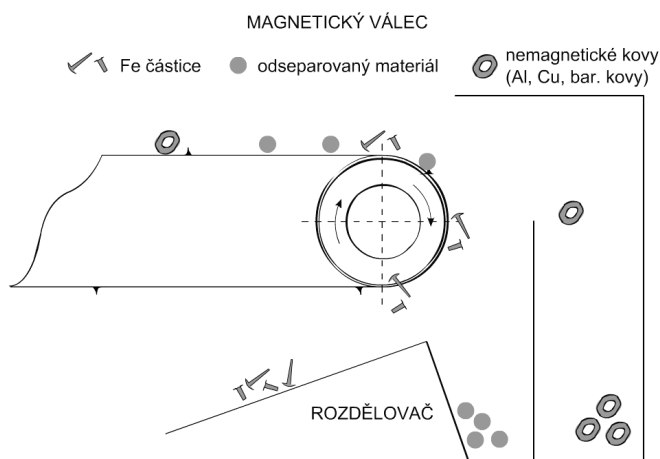
Gravitační a větrné třídění je ovlivněno jak měrnou hmotností částic, tak i jejich tvarem a velikostí. Separační proces je díky tomu možné řídit změnou rychlostí a sklonu dopravních pásů a průtočným množstvím a rychlostí proudu vzduchu.

3.1.4 Magnetická separace

Úkolem magnetické separace je odstranění magnetických (tzn. feritických kovů) z dané frakce. Děje se tak silovými účinky magnetického pole zpravidla vyvozovaným pomocí elektromagnetu či permanentního magnetu.

Nové generace magnetických separátorů jsou však schopny odstraňovat z frakcí i nemagnetické vodivé kovy (nejčastěji hliník a měď). Princip těchto separátorů je založen na indukci vířivých proudů ve vodivých materiálech pomocí proměnlivého magnetického pole. To může být vyvozováno např. pomocí rotujícího permanentního magnetu. Princip separace je znázorněn na obr. 3.4. Separátor je tvořen dopravníkem, na jehož konci je umístěn magnetický indukční válec. Metoda separace vychází z rozdílných magnetických vlastností a vodivosti jednotlivých kovů, kdy nemagnetické vodivé kovy jsou odpuzovány od dopravníku. Nevodivý nekovový materiál z dopravníku přirozeně odpadává. Magnetické kovy jsou pásem vynášeny za magnetický válec, kde odpadávají po oslabení silového účinku magnetického pole. Dochází tak rozdělení proudu na tři frakce:

- nemagnetický, nevodivý materiál (např. plast, dřevo, sklo, organický materiál atd.),
- magnetické kovy,
- nemagnetické vodivé materiály tj. neferitické kovy.



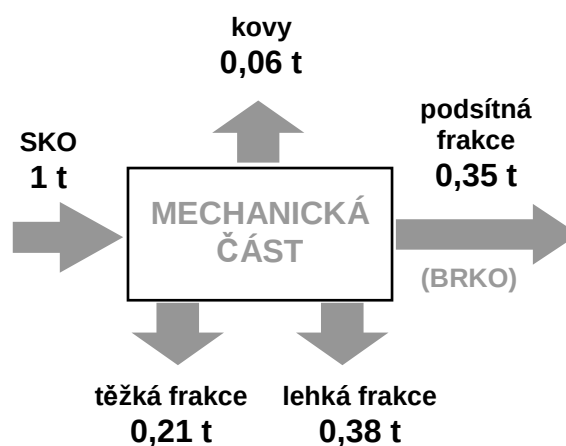
Obr. 3.4 Separátor kovů, převzato [19]

3.1.5 Hmotová a energetická bilance mechanické části MBÚ

Hmotová a energetická bilance mechanické části jednotky MBÚ je vypracována na základě následujících předpokladů:

- SKO vstupující do mechanické části má frakční složení dle obr. 1.4.
- Procesy separace SKO na jednotlivé frakce mají účinnost 100 %.
- Nedochází ke ztrátám vlhkosti odparem či jinými procesy.
- BRKO nepodléhá během mechanické separace rozkladným procesům.
- Protože nedochází ke změně entalpie proudů vlivem přiváděného či odváděného tepla a také nedochází k chemickým reakcím, v jejichž důsledku by bylo teplo vyvíjeno či spotřebováváno, je energetická bilance mechanické části nulová (tj. neutrální).

Obr. 3.5 ukazuje hmotovou bilanci mechanické části jednotky MBÚ vztaženou na 1 t vstupujícího SKO.



Obr. 3.5 Hmotová a energetická bilance mechanické části jednotky MBÚ

3.1.6 Spotřeby energií a pomocných médií v mechanické části

V mechanické části jednotky MBÚ je spotřebovávána pouze elektrická energie a to pro pohon mechanismů, tzn. drtičů, dopravních pásů, třídičů atd. Ze samotného procesu nevystává spotřeba žádné další energie nebo pomocného média. Spotřeba elektrické energie je stanovena na základě dat poskytnutých výrobcí příslušných zařízení a byla porovnána s dalšími zdroji [20, 21].

Spotřeba nafty je dána spotřebou dopravních mechanismů, tzn. čelních nakladačů, které jsou nezbytné pro manipulaci se SKO a jeho frakcemi. Spotřeby energií a pomocných médií mechanické části MBÚ vztažené na 1 t SKO vstupujícího do mechanické části jsou shrnuty v tab. 3.2.

	měrná spotřeba
elektrická energie [kWh/t]	55,7
nafta [l/t]	1,3

Tab. 3.2 Měrné spotřeby energií a médií mechanické části MBÚ

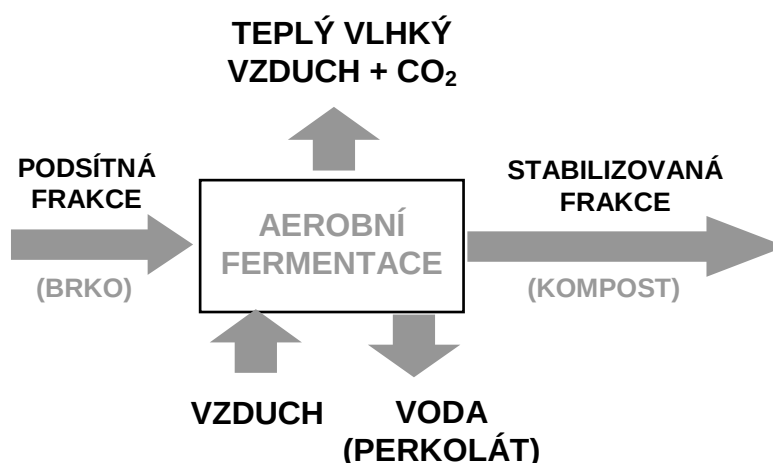
3.2 BIOLOGICKÁ ČÁST

Primárním účelem biologického stupně je stabilizace na mechanickém stupni vytříděného BRKO obsaženého v podsítné frakci. A to, jak již bylo zmíněno, za pomoci dvou technologií, respektive jejich kombinace:

- řízené rychlé aerobní fermentace s nucenou aerací– tzv. horké kompostování.
- suché anaerobní fermentace s produkcí bioplynu a následného dostabilizování BRKO pomocí řízené aerobní fermentace s nucenou aerací.

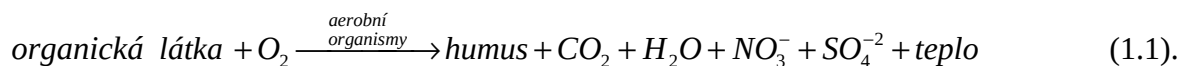
3.2.1 Aerobní fermentace

Aerobní fermentace (AEF), nebo také kompostování, je proces, ke kterému dochází působením enzymů aerobních organismů (aerobních bakterií, hub, kvasinek atd.) v prostředí obsahujícím kyslík. Kompostováním je u odpadu redukována hmotnost (obvykle na 40 % [20, 22, 23]) a objem a dochází k přeměně organických sloučenin (cukry tuky, bílkoviny) na jednodušší sloučeniny typu, aminokyselin, dusičnanů a oxidu uhličitého. Živiny obsažené v těchto látkách potom během tzv. zrání fáze kompostu přecházejí až do své minerální (humusové) podoby a kompost tak získává novou významnou vlastnost, kterou je schopnost být použitý jako hnojivo (tj. hnojivost). Obecné schéma AF je znázorněno na obr. 3.6



Obr. 3.6 Obecné schéma aerobní fermentace

AEF lze také definovat jako pomalou biologickou oxidaci organických látek obsažených v materiálu a velmi zjednodušeně lze proces AEF popsat pomocí následujícího reakčního schématu [24]:



Ze schématu jde odvodit, že při dobře vedeném procesu AEF nedochází ke vzniku anaerobních podmínek a produkci sirovodíku ani amoniaku. Vznik těchto látek je vázán na anaerobní podmínky. Vzniku tzv. anaerobních kapes, způsobených hromaděním vlhkosti nebo zhutněním materiálu v určitých místech, nelze v praxi zcela zabránit a určité malé množství H₂S i NH₃ vždy vzniká. Zároveň z reakčního schématu vyplývá, že během AEF jsou uvolňovány produkty oxidace uhlíku a vodíku tzn. CO₂, H₂O a teplo, podobně jako tomu je

při běžném termickém spálení dané organické látky. Voda vznikající při procesu AEF je odváděna ze zakládky ve formě vodní páry nebo ve formě perkolátu. Perkolát musí mít zajištěn spolehlivý odvod z paty zakládky. Tím se zabraňuje vzniku kaluží a případnému vzniku již zmiňovaných anaerobních kapes. Množství vznikajícího perkolátu je přibližně $0,11 \text{ m}^3/\text{t}$ materiálu vstupujícího do AEF, tedy podsítné frakce [22, 23].

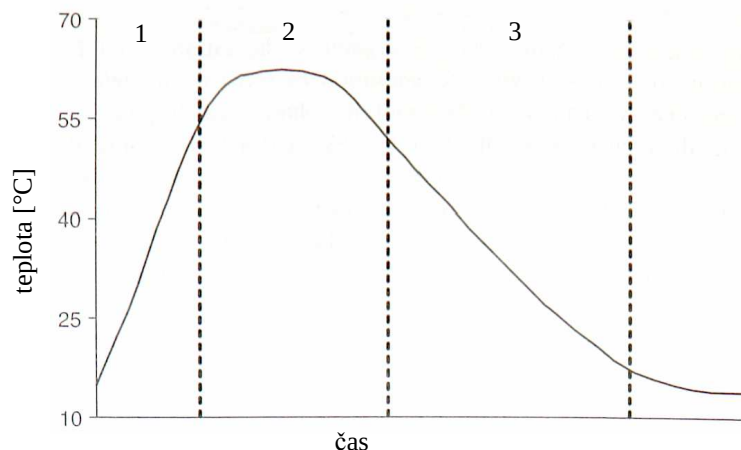
Je nutné poznamenat, že AEF je exotermickou reakcí. Z pohledu energetické a hmotové bilance lze také konstatovat, že běžná termická oxidace se v principu od aerobní fermentace v podstatě neliší. Podstatný rozdíl spočívá v rychlosti přeměny a v teplotě, na které přeměna probíhá.

K nastartování a průběhu procesu AEF je nezbytné zajistit následující předpoklady:

- Poměr organicky rozložitelného uhlíku vůči dusíku, tzv. poměr C : N, by se měl ideálně pohybovat v rozmezí 20 : 1 až 30 : 1. Toho je dosahováno vhodnou zakládkou materiálů majících různé poměry C : N. S hodnotou poměru C : N okolo 20 : 1 se PF nachází na spodní hranici tohoto rozsahu a vykazuje tak stále dobré vlastnosti ke kompostování [25].
- Obsah vlhkosti materiálu k AEF by se měl optimálně pohybovat v rozmezí 50 až 60 % hm. Tento předpoklad PF splňuje, viz tab. 1.7. Protože se obsah vlhkosti v průběhu AEF snižuje vlivem odparu, je nezbytné zakládku definovaně zavlažovat. Voda je nezbytná pro metabolické procesy aerobních mikroorganismů. Na druhou stranu vysoký obsah vlhkosti znamená nebezpečí vytvoření anaerobních podmínek a přerušení procesu AEF.
- Obsah fosforu je nezbytný pro metabolismus aerobních organismů. Jeho minimum je 0,2 % hm. ve formě P_2O_5 v sušině. Tento předpoklad je pro PF obvykle dodržen.
- Dostatečnou aeraci k zajištění aerobních podmínek. Ta je dána vlastním technickým řešením procesu. V tomto případě je uvažováno s nucenou podtlakovou aerací pomocí ventilátorů.

Teplo uvolňované během procesu AEF postupně ohřívá zakládku a její teplota může dosáhnout až maximální hranice 70°C [23]. Ta je dána teplotní odolností aerobních mikroorganismů. Nad touto teplotou dochází k jejich úhynu, tzn. poklesu rozkladné aktivity, a tím pádem k menšímu uvolňování tepla a snižování teploty zakládky. AEF lze tedy z hlediska teploty zakládky označit do jisté míry za samoregulační proces.

Vlivem vyšší teploty také dochází k postupnému odpařování vlhkosti ze zakládky. Jelikož voda je pro aerobní mikroorganismy metabolicky nezbytná, lze po určité době pozorovat pokles teploty daný jejich nižší aktivitou (viz obr. 3.7). Po dodání vlhkosti dochází k opětovnému nárůstu rozkladných pochodů, vzrůstu teploty, opětovnému snížení obsahu vlhkosti atd. Takto může proběhnout několik cyklů až do požadované úrovně rozkladu organické hmoty.



Obr. 3.7 Závislost teploty zakládky na čase, převzato [24]

Na obr. 3.7 je možné rozpoznat čtyři fáze ve vývoji teploty zakládky:

1. Mezofilní fáze středních teplot zakládky s trváním v rozsahu několika hodin až do několika dnů v závislosti na stupni a intenzitě provzdušňování.
2. Termofilní fázi vysokých teplot v délce trvání několika dní až měsíců v závislosti na stupni a intenzitě provzdušňování.
3. Fáze chladnutí, kdy dochází k poklesu aktivity mikroorganismů. A to buď vlivem poklesu obsahu vlhkosti (v tom případě je možné zavlažením zakládky nastartovat nový cyklus) nebo vlivem vysokého stupně rozkladu organických látek, kdy je celý proces dokončen. Tato fáze opět v závislosti na provzdušňování může trvat od několika dnů do několika týdnů.
4. Poslední fází je fáze zrání kompostu, která při volném kompostování (např. zahradní kompostování na hromadě) trvá minimálně několik měsíců. Při intenzivním kompostování s překopáváním trvá maximálně několik týdnů. Během ní dochází ke konečné mineralizaci zbylé organické složky.

Z důvodu závislosti trvání jednotlivých fází na intenzitě provzdušňování není záměrně uvedena jednotka a dělení časové osy na obr. 3.7.

BRKO podrobený AEF již nadále není považován za biologicky rozložitelný odpad ve smyslu směrnice 1999/31/ES a může být případně uložen na skládku, protože vlivem aerobního fermentačního procesu v něm byla většina biologicky rozložitelných látek přeměněna na produkty dále nepodléhající rozkladným procesům.

Hodnocení biologické stability materiálů prozatím není legislativou ČR konkrétně řešeno. Nicméně předpokládá se, že pro hodnocení biologické stability bude převzata metodika dynamického respiračního indexu uplatňovaného v Německé spolkové republice, viz [22,26,27].

Jak již bylo uvedeno, pro tuto práci je uvažováno s použitím kompletně řízeného procesu AEF. To znamená s nucenou aerací, sledováním teploty a vlhkosti zakládky, vlhčením zakládky a s použitím biologických preparátů urychlujících fermentační proces. Při použití výše uvedených postupů dochází k významnému zkrácení doby celého procesu AEF, kdy délka doby od založení po dozrání kompostu je 6 až 8 týdnů, viz [22]. Při běžném krechťovém kompostování na volném prostranství s prostým mechanickým překopáváním kompostu je

tato doba dvoj až trojnásobná. Při zcela volném kompostování (tzn. domácí kompostování na zahrádkách) je pohybuje doba zrání kompostu až v řádů několika let. Proces zcela řízené aerobní fermentace tak umožňuje významnou úsporu plochy zabrané pro kompostovací hromady, respektive haly nebo reaktory. Celkově má řízený proces AEF následující výhody [28]:

- umožňuje optimální vedení AEF a tím redukcí pachových emisí,
- zrychlený proces tlení,
- bezpečný průběh procesu,
- možnost dokumentace průběhu procesu,
- zlepšenou a zaručenou kvalitu kompostu.

Kompostování probíhá v zcela krytých uzavřených halách s řízenou ventilací nebo v reaktorech (v případě kombinace ANF a AEF) a je tedy zabráněno volnému úniku vzdušiny obsahující zápašné látky (pozn. problematika emisí z AEF BRKO z SKO je rozebírána např. [29]). Aerace kompostových hromad nebo reaktorů probíhá v podtlakovém režimu, kdy je vzduch nasáván aeračními ventilátory přes zakládku kompostu, respektive reaktor, a vypouštěn do atmosféry přes biofiltr, ve kterém dochází k odstranění látek způsobujících zápach na vrstvě substrátu tvořeného zpravidla fermentovanou kůrou a inertní výplně mající za úkol udržet poréznost filtrační vrstvy. Účinnost odstranění zápašných látek na biofiltrech se ukazuje jako dostatečná [29]. Hala a reaktory jsou také vybaveny skrápěcím zařízením určeným k řízení vlhkosti zpracovávaného odpadu.

Další informace a detaily týkající se AEF lze nalézt např. v[24, 30] a s konkrétním zaměřením na BRKO SKO např. zde [31].

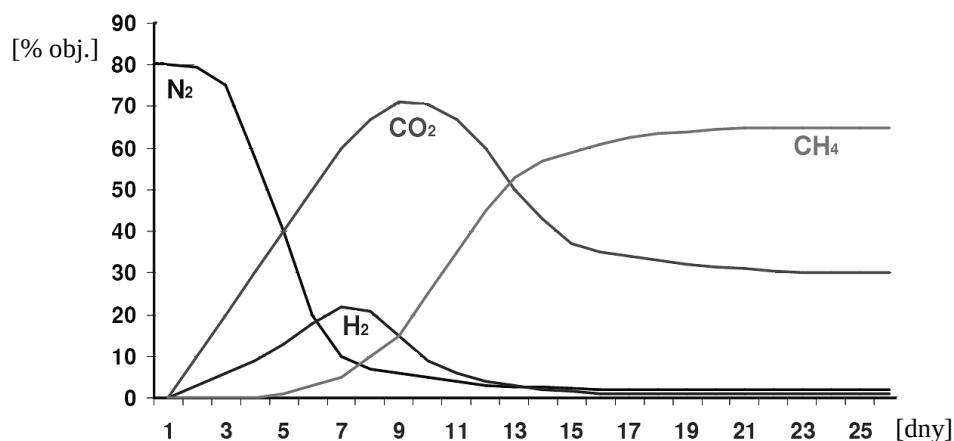
3.2.2 Anaerobní fermentace

Anaerobní fermentace (ANF) je proces, kterým dochází ke štěpení složitých organických látek na jednodušší působením anaerobních mikroorganismů v prostředí převážně bez přítomnosti kyslíku. Anaerobní fermentace je souborem na sebe navazujících procesů, v nichž vlastní metanogenní organismy a s nimi spojená tvorba metanu představují až poslední článek v řetězu biochemické konverze. Anaerobní fermentace probíhá ve třech odlišitelných fázích, ve kterých se uplatňují různé druhy mikroorganismů [12]:

1. Hydrolýza - v této fázi probíhají rozklady makromolekulárních látek, především lipidů, proteinů a polysacharidů. Tato fáze může probíhat i za přítomnosti kyslíku činností fakultativních anaerobů a později i ryzích anaerobů v acidogenní fázi. Primárním štěpením lipidů, proteinů a polysacharidů vznikají především jednoduché cukry, alifatické kyseliny a alkoholy.
2. Acidogenní fáze - v této fázi jsou jednoduché cukry, alifatické kyseliny a alkoholy společenstvy acidogenních mikroorganismů dále zpracovávány na kyseliny s kratšími řetězci (mimo jiné octovou a propionovou), alkoholy a plyny - CO_2 a H_2 . Tato fáze je uskutečňována mikroorganismy schopnými činnosti v plně anaerobním prostředí. V jejím průběhu se vytvářejí podmínky pro současný rovnovážný rozvoj symbiotických metanogenů, přičemž i počáteční hydrolytické procesy se v ní již realizují plně v anaerobním prostředí.

3. Metanogenní fáze - v ní fakultativní anaeroby, představované početnými hydrolytickými a acidogenními mikroorganismy, schopnými činnosti v přítomnosti i nepřítomnosti kyslíku, zajistí poměrně rychlé vytvoření plně anaerobního prostředí, v němž se pak mohou rozvíjet také metanogeny. Acidogeny přitom produkují oba hlavní substráty pro tvorbu metanu – kyselinu octovou, která je zpracovávána na metan acetotrofními metanogeny, a směs oxidu uhličitého a vodíku, která je zpracovávána na metan hydrogenotrofními metanogeny.

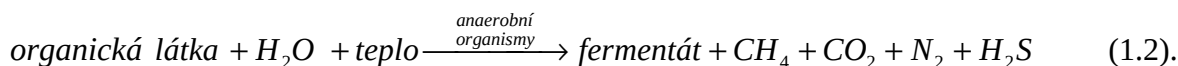
Z uvedeného vyplývá, že produkce metanu, respektive bioplynu není okamžitá a nastává až po určitém časovém úseku, tzv. zdržné době. Během tohoto časového úseku dojde k vytvoření plně anaerobního prostředí a ke tvorbě prekurzorů metanu - kyseliny octové, oxidu uhličitého a vodíku, které jsou zpracovávány na metan. Obr. 3.8 ukazuje závislost složení bioplynu na zdržné době pro mezofilní dávkový proces ANF (pozn. bude vysvětleno později).



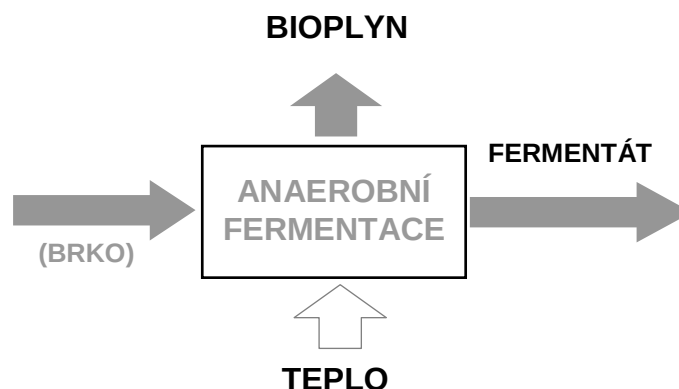
Obr. 3.8 Složení bioplynu v závislosti na zdržné době, převzato [32]

Tvorba metanu je rovnovážným procesem, kde trvale spolupracují acidogenní a metanogenní organismy, a proto je produkovaný bioplyn vždy směsí metanu a oxidu uhličitého. Obsah metanu se může pohybovat v rozmezí 50 až 85 % obj. [12], přičemž zbytek je téměř výlučně tvořen oxidem uhličitým. Kvalitní bioplyn obsahuje jen zlomky procenta sirovodíku, dusíku, téměř žádný vodík a žádný kyslík.

U výsledného fermentátu je potom možné pozorovat úbytek organických látek, především pak organického uhlíku, který je konvertován do podoby metanu a oxidu uhličitého. Podobně jako AEF lze ANF velmi zjednodušeně zapsat pomocí reakčního schématu následovně [33]:



Z reakčního schématu je zřejmé, že proces ANF je endotermní reakcí a je tedy nutné do procesu dodávat teplo. Tato spotřeba tepla je většinou kryta teplem ze spalování vznikajícího metanu v kogeneračních jednotkách. Přičemž obvykle stačí na krytí spotřeby tepla procesem ANF 20 % tepla vznikajícího při kogeneraci [12]. Obecné schéma ANF ukazuje obrázek 3.9.



Obr. 3.9 Obecné schéma anaerobní fermentace

Tvorba dusíku a sirovodíku je především spjata s rozkladem bílkovin, kterých je dusík a síra součástí jako esenciální složky aminokyselin. Při správně vedeném procesu se vyskytují v bioplynu pouze stopová množství amoniaku a sirovodíku.

Sirovodík je problematickou složkou bioplynu, která způsobuje korozi kovů (rozuměj kogeneračních jednotek) a proto je potřeba ji z bioplynu odstraňovat i přes to, že je obvykle sirovodík zastoupen pouze stopově. K tomu se např. používají železné piliny nebo aktivní uhlí. V poslední době se do popředí dostává metoda tzv. mikroaerace, spočívající ve vytvoření selektivních podmínek pro biologickou redukci síranů a sulfidů na elementární síru [34].

Mikroorganismy podílející se na procesu ANF lze rozdělit do teplotních skupin psychofilů, mesofilů a termofilů. Z tohoto rozdělení mikroorganismů vyplývá i teplotní rozdělení procesů ANF, které probíhají při různých teplotních úrovních, viz tab. 3.3.

mikroorganismy	rozsah teplot [°C]
psychofilní	0 až 20
mezofilní	15 až 45
termofilní	45 až 70

Tab. 3.3 Rozdělení anaerobních mikroorganismů, převzato z [12]

V praxi nejčastěji nachází uplatnění ANF mezofilní a termofilní [30]. Psychofilní stabilizace s výjimkou některých skládek odpadu není v praxi provozována z důvodu nízké aktivity psychofilních organismů a tedy i nízké výtěžnosti bioplynu.

Termofilní procesy dosahují rychle vysoké účinnosti rozkladu zpracovávaného materiálu a tím i vyšší produkce bioplynu. Obvyklá doba fermentace se v termofilním režimu ANF pohybuje v rozmezí 20 až 30 dnů. Pozitivní efekt termofilní ANF je však na druhou stranu provázen pro praxi nemalými negativy a to:

- vyššími náklady na ohřev vsádky a reaktorů, případně jejich izolaci,
- vyšší citlivostí procesu ANF na řízení, respektive termofilních mikroorganismů na životní podmínky (např. výkyvy teploty, hodnota pH vsádky).

Mezi další pozitiva, kromě výše zmiňovaného hlubšího rozkladu, dále patří vysoká destrukce patogenů, tedy dosažení vysokého stupně hygienizace, což je z hlediska stabilizace podsítné frakce SKO významný činitel.

Proces ANF může být mimo teplotní úrovně, na které probíhá, rozdělen i dle obsahu sušiny ve vstupujícím materiálu a to na:

- tzv. mokrou ANF, kdy koncentrace sušiny ve vstupujícím materiálu je pod 15 % hm.
- tzv. suchou ANF, kdy se koncentrace sušiny pohybuje v rozmezí 25 až 40 % hm.

Pro účely práce je uvažováno s použitím suché ANF v termofilním dávkovém režimu. Použitím suché fermentace je částečně kompenzována velká spotřeba tepla na ohřev vsádky tím, že není nutné ohřívat velké množství vody jinak do procesu vstupující spolu se sušinou. V porovnání s mokrou ANF také dochází ke snížení potřebného objemu reaktorů a je dosahováno lepší kvality bioplynu s koncentrací metanu až 80 % obj. [32]. Podrobně se suchou ANF zabývá např. [13].

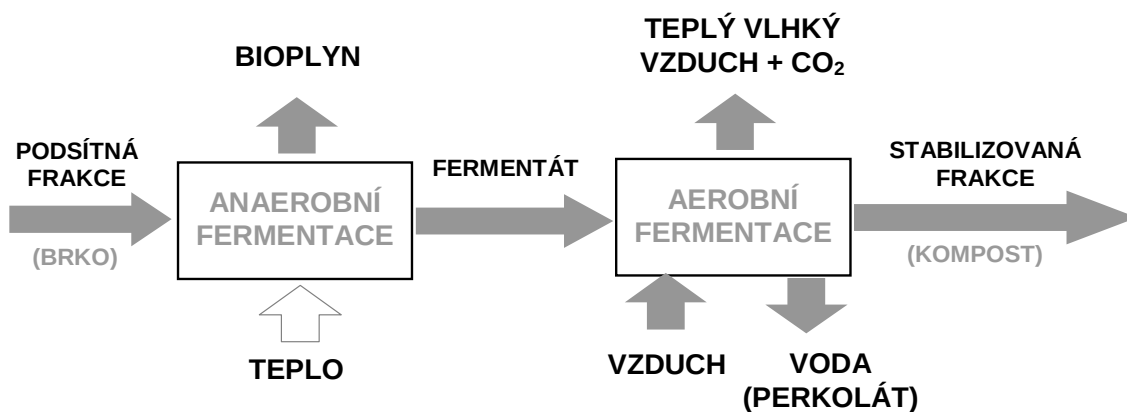
Při dávkové ANF je obvykle kontinuální provoz kogeneračních jednotek umožněn několika paralelně řazenými reaktory, které jsou navázeny s časovým odstupem tak, aby produkce metanu byla souvislá a stálá.

Při kontinuálním režimu je do reaktoru souvisle či v pravidelných relativně krátkých intervalech přiváděn čerstvý materiál. Odváděné množství fermentátu je potom rovno množství přiváděného materiálu zmenšené o množství produkovaného bioplynu. Produkce bioplynu je tak v tomto případě stálá a souvislá za předpokladu, že složení vstupního materiálu se nemění. Objem reaktoru je určen tak, aby bylo při daném průtočném množství dosaženo potřebné zdržné doby.

Podobně jako u AEF je u ANF nezbytné zajistit vhodný poměr C : N. Ten by se měl ideálně pohybovat podobně jako u AEF v rozmezí 20 : 1 až 30 : 1. Toho je opět možno dosáhnout vhodnou skladbou materiálů majících různé poměry C : N. BRKO se svojí hodnotou poměru C : N okolo 20 : 1 nachází na spodní hranici tohoto rozsahu. Tento problém je v praxi řešen tzv. inokulací, kdy v je v reaktoru ponechána část fermentátu zajišťujícího vnesení mikrobiálních kultur z předcházejícího procesu ANF [13].

Z hlediska hmotové a energetické bilance je nejdůležitější tzv. stanovení konverzního faktoru bioplynu, který udává jaké množství bioplynu je vytvářeno na vztažné množství hořlaviny obsažené ve vstupujícím materiálu. Ten je pro různé materiály odlišný. Pro účely této práce je uvažováno s konverzním faktorem 0,35 kg CH₄ na 1 kg hořlaviny, nebo-li 0,49 Nm³ CH₄ na 1 kg hořlaviny. Tato hodnota byla stanovena na základě údajů získaných z [13, 20, 22, 35].

Protože fermentát vystupující z ANF není zcela biologicky stabilní [27] je v práci uvažováno s následnou AEF fermentátu vystupujícího z ANF. Reálně fáze AEF probíhá v tom samém reaktoru, ve kterém proběhla ANF. Není tedy nutné převážení materiálu do jiného reaktoru a proces AEF je zahájen a realizován nuceným podtlakovým provzdušňováním reaktoru. Schéma tohoto technologického uspořádání je znázorněno na obr. 3.10.



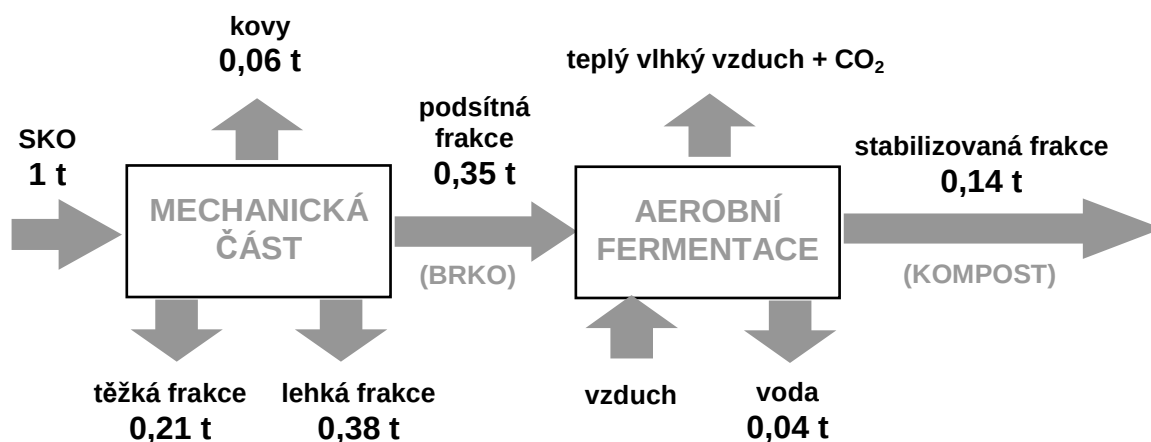
Obr. 3.10 Schéma kombinované anaerobní a aerobní fermentace

3.2.3 Hmotová a energetická bilance biologické části MBÚ

Hmotová a energetická bilance biologické části jednotky MBÚ je vypracována na základě následujících předpokladů:

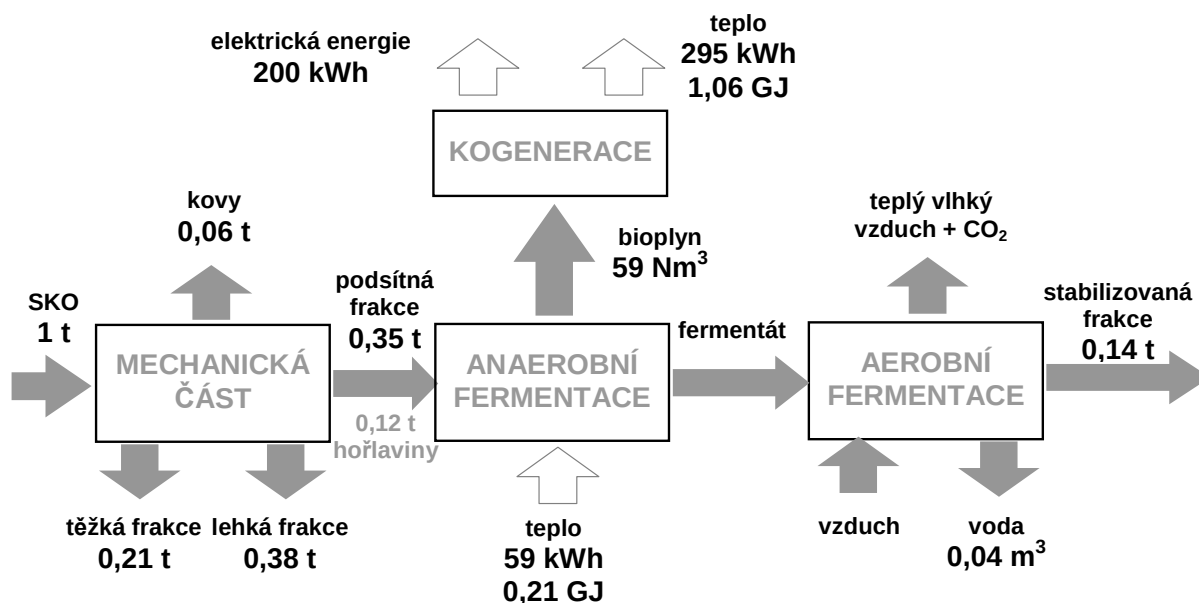
- Materiálem vstupujícím do biologické části je podsítná frakce o složení dle tab. 1.7.
- Bioplyn je používán ke kogeneraci elektrické energie a tepla. Účinnost generování elektrické energie kogeneračními jednotkami je na základě údajů poskytnutých výrobcí stanovena na 34 %. Tepelná účinnost kogenerační jednotky je opět na základě údajů výrobců stanovena na 50 %.
- Na ohřev vsádky a reaktorů je uvažováno s 20 % tepla generovaného kogeneračními jednotkami.
- Hmotnostní redukce PF vlivem snížení vlhkosti (odpar + perkolát) a úbytku hořlaviny při AEF je 60 %.
- Konverzní faktor bioplynu je $0,35 \text{ kg CH}_4/\text{kg hořlaviny}$, respektive $0,49 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{kg hořlaviny}$.
- Výhřevnost metanu je uvažována 36 MJ/Nm^3 .

Obr. 3.11 ukazuje hmotovou bilanci biologické části jednotky MBÚ vztaženou na 1 t SKO vstupujícího do jednotky MBÚ pro variantu biologické části pouze s AEF. Pro přehlednost je znázorněn i mechanický stupeň MBÚ.



Obr. 3.11 Hmotová a energetická bilance biologické části jednotky MBÚ, varianta pouze s AEF

Obr. 3.12 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. Pro přehlednost je znázorněn i mechanický stupeň MBÚ.



Obr. 3.12 Hmotová a energetická bilance biologické části jednotky MBÚ, varianta ANF s AEF

3.2.4 Spotřeby energií a pomocných médií v biologické části

V biologické části jednotky MBÚ je u obou variant uvažováno se spotřebou pouze elektrické energie pro pohon provzdušňovacích ventilátorů. Je uvažováno, že u obou variant bude měrná spotřeba elektrické energie přibližně stejná.

Protože se v celé práci, jak bude vysvětleno později v kapitole 6.8, neuvažuje s prodejem generované tepelné energie, počítá se pro ohřev reaktorů ANF s teplem z kogenerace. Přičemž toto teplo bude v rámci jednotky zdarma k dispozici a neuvažuje se tedy do spotřeby energií. Spotřeba elektrické energie ventilátory je stanovena na základě dat poskytnutých výrobcí příslušných zařízení a byla porovnána s dalšími zdroji [20, 21].

Spotřeba nafty je podobně jako v mechanické části dána spotřebou dopravních mechanismů, tzn. čelních nakladačů, které jsou nezbytné pro manipulaci se PF a SF. Spotřeba enzymatických prostředků je zjištěna z údajů výrobců. Spotřeby energií a pomocných médií biologické části MBÚ vztahované na 1 t SKO vstupujícího do mechanické části jsou shrnuty v tab. 3.4.

	měrná spotřeba
elektrická energie [kWh/t]	19,5
nafta [l/t]	0,46
biopreparáty [ml/t]	0,7

Tab. 3.4 Měrné spotřeby energií a médií biologické části MBÚ

3.3 SHRNUTÍ BILANCÍ A SPOTŘEB JEDNOTKY MBÚ

Tab. 3.5 pro přehlednost udává celkově měrné spotřeby energií a pomocných médií pro celou jednotku MBU vztažené na 1 t SKO.

	měrná spotřeba
elektrická energie [kWh/t]	75,2
nafta [l/t]	1,76
biopreparáty [ml/t]	0,7

Tab. 3.5 Měrné spotřeby energií a médií jednotky MBÚ

Tab. 3.6 shrnuje hmotovou a energetickou bilanci jednotky MBÚ ve variantě pouze s AEF vztaženou na 1 t SKO vstupujícího do jednotky.

	měrná produkce
těžká frakce [kg/t SKO]	210
lehká frakce [kg/t SKO]	380
stabilizovaná frakce [kg/t SKO]	140
odpadní voda [l/t SKO]	40
kovy [kg/t SKO]	60

Tab. 3.6 Hmotová a energetická bilance jednotky MBÚ s AEF

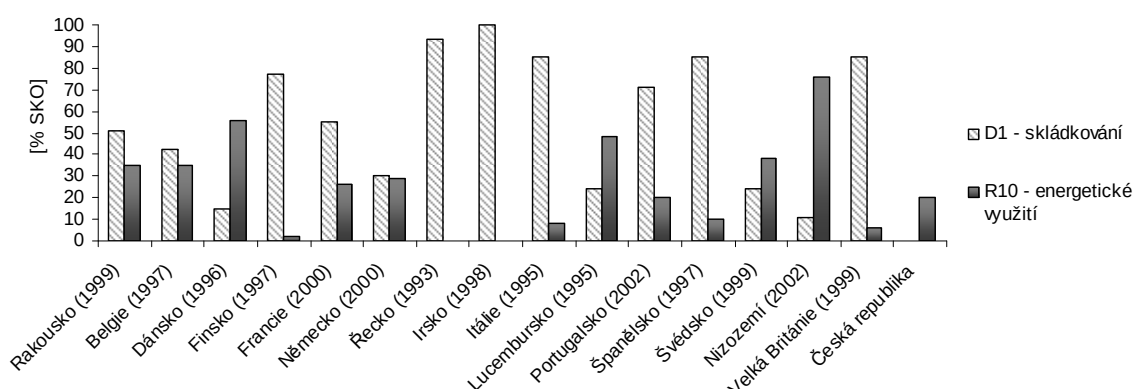
Tab. 3.7 shrnuje hmotovou a energetickou bilanci jednotky MBÚ ve variantě ANF s AEF vztaženou na 1 t SKO vstupujícího do jednotky.

	měrná produkce
těžká frakce [t/t SKO]	210
lehká frakce [t/t SKO]	380
stabilizovaná frakce [kg/t SKO]	140
odpadní voda [l/t SKO]	40
kovy [t/t SKO]	60
elektrická energie [kWh/t]	200

Tab. 3.7 Hmotová a energetická bilance jednotky MBÚ s ANF a AEF

4 ENERGETICKÉ VYUŽITÍ SKO

Termické zpracování odpadů spolu se skládkováním a případně kompostováním patří k nejrozšířenějšímu a nejstaršímu způsobu nakládání s odpady. Česká republika v současnosti v porovnání se většinou států západní části Evropy v termickém zpracování odpadů (zejména SKO) zaostává a většinu SKO skládkuje. Tabulka 4.1 udává procentuální zastoupení skládkování (způsob odstranění odpadu - D1) a energetického využívání SKO (způsob využití odpadu - R10) pro různé státy Evropy oproti jiným metodám nakládání. V případě ČR je uveden pouze očekávaný procentuální podíl energetického využívání SKO pro rok 2013. V této době by měla být celková kapacita jednotek EV SKO 626 kt/rok (viz kapitola 5.4) a množství vzniklého SKO 3100 kt/rok (viz kapitola 1.1).

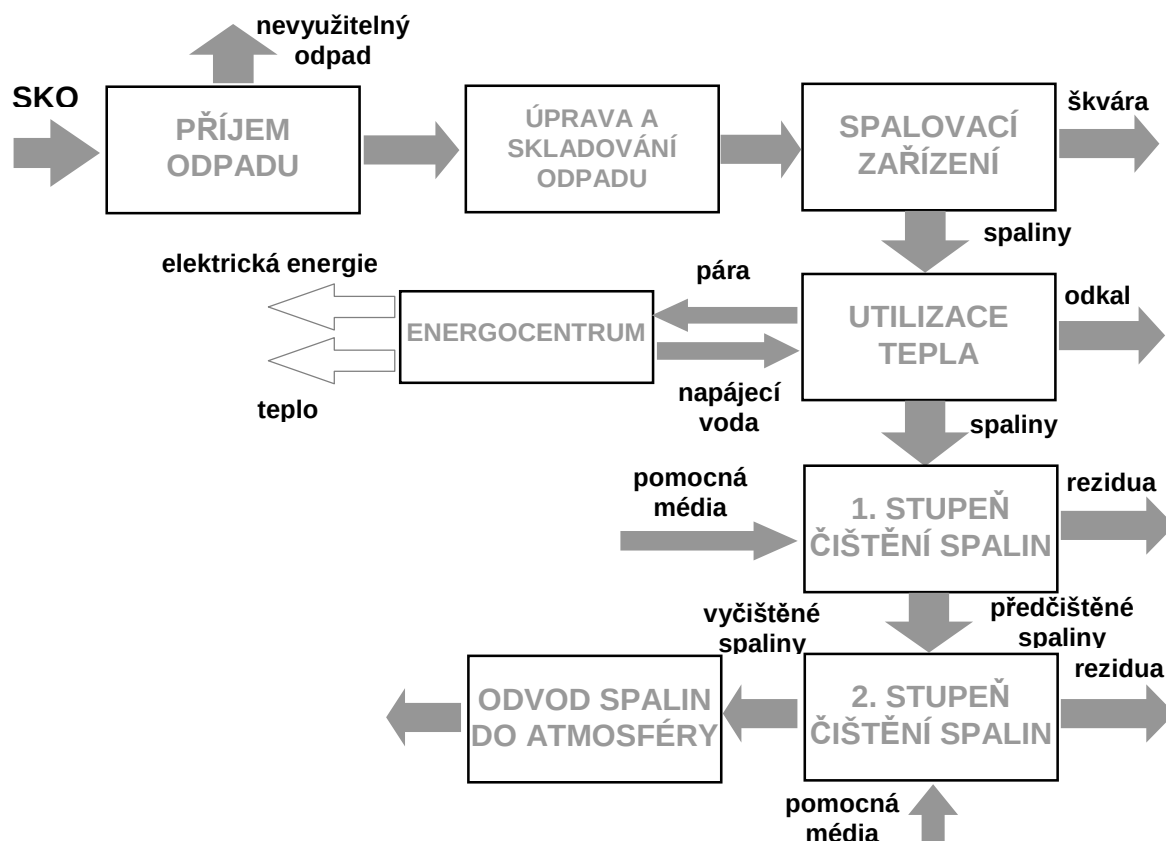


Obr. 4.1 Procentuální zastoupení spaloven SKO a skládkování SKO ve státech Evropy, převzato [4]

Přitom termické zpracování SKO má ČR velmi dlouhou historii. Již v roce 1905 byla v Brně otevřena první spalovna SKO, ve které byl odpad využíván i ke generování elektrické energie. Byla to vůbec první spalovna odpadu v tehdejším Rakousko-Uhersku. Ke generování elektrické energie v ní byla použita Parsonova parní turbína napojená na třífázový generátor. Generovaný elektrický výkon byl 220 kW [36].

Na tuto spalovnu, nebo přesněji řečeno, jednotku energetického využívání odpadů navázala spalovna SKO v pražských Vysočanech postavená v letech 1930 až 1933. Ve své době patřilo toto zařízení k nejmodernějším v Evropě. Byla v něm produkováána pára, která byla jednak dodávána okolním podnikům a také byla využívána ke generování elektrické energie [36].

Již u obou těchto jednotek lze pozorovat obvyklé technologické uspořádání jednotky termického zpracování SKO tak, jak ho známe v dnešní době. Výjimkou je čištění spalin, které v minulosti nebylo aplikováno. Typické schéma technologického uspořádání jednotky termického zpracování SKO s využitím energie prostřednictvím parního okruhu je znázorněno na obr. 4.2.



Obr. 4.2 Obecné schéma jednotky EV SKO

Jak již bylo popsáno v kapitole 1.1.4 a 1.1.5, rozdílem mezi spalovnou SKO a jednotkou EV SKO spočívá ve využití energie uvolněné během spalovacího procesu. V případě, že je energie obsažená v palivu využívána s malou účinností, je pohlíženo na zařízení jako na spalovnu SKO a jedná se o odstraňování odpadu D10 - spalování na pevnině. V případě, že je energie využívána dostatečně účinně, je na zařízení pohlíženo jako na jednotku energetického využívání SKO a jedná se o využití odpadu R1 - použití jako paliva nebo jiným způsobem k výrobě energie. Z tohoto důvodu je v práci rozlišováno mezi spalovnou SKO a jednotkou EV SKO.

4.1 TERMICKÁ OXIDACE

Při termickém zpracování SKO, který je směsí materiálů organické a minerální povahy s vodou, dochází k oxidaci spalitelných látek obsažených v odpadu za vzniku spalin. Ty se tak stávají nositelem většiny chemické energie vázané v odpadu.

Spalitelné látky odpadu začínají prudce oxidovat, tj. hořet, jakmile je dosaženo jejich zápalné teploty a jsou v kontaktu s kyslíkem jako oxidačním médiem. Samotný proces hoření se odehrává ve zlomku sekundy spolu s uvolněním určitého množství energie. Pokud je uvolněné množství energie dostatečné dochází k řetězové reakci, kdy k dalšímu hoření není zapotřebí dodávat jinou energii, než tu, která je uvolněná hořením. Tento stav se nazývá autarkní hoření.

Samotný proces hoření se potom skládá ze tří hlavních fází, které probíhají ve skutečnosti současně a není vždy možné je během spalovacího procesu odlišit.

- Sušení a odplynění, v této fázi dochází k odpaření těkavého podílu odpadu (tzn. vody a uhlovodíků) za teplot v rozmezí 100 až 300°C. Tato fáze je závislá čistě na dodávaném teple a nevyžaduje oxidační činidla.
- Pyrolýza a zplyňování - pyrolýza je rozkladem organické hmoty bez přítomnosti oxidačního činidla za teplot v rozmezí 250 až 700°C. Zplyňování je reakce uhlíkatého zbytku s vodní parou a CO₂ za rozmezí teplot 500 až 1 000°C. Organická hmota je tímto procesem převáděna do plynné fáze.
- Oxidace je fází samotného spalování hořlavých plynů uvolněných během předchozích fází.

Průběh těchto fází je možné do jisté míry ovlivnit konstrukcí spalovacího zařízení, jako jsou např. přívody spalovacího vzduchu (jako oxidačního činidla).

Hlavními produkty spalování jsou především konečné produkty oxidace obvykle nejvíce zastoupených prvků v odpadu - uhlíku a vodíku. Těmito produkty jsou oxid uhlíčitý a vodní pára. Dále jsou ve spalinách přítomny menší měrou jiné sloučeniny a prvky typu CO, HCl, HF, těkavých uhlovodíků, PCDD/F a těžkých kovů. Prakticky všechny tyto posledně jmenované 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 - atmosféry, podpovrchových vod atd.

Termickým zpracováním SKO se dosáhne odstranění nežádoucích fyzikálních vlastností odpadů (redukce objemu, hmotnosti). Některé biologicky nebo chemicky aktivní odpady, nelze jinou cestou zneškodnit. K úplnému nebo částečnému odstranění nebezpečných vlastností odpadu dochází termickou a oxidační destrukcí jak na molekulární, tak i na buněčné úrovni (různé chemické, převážně oxidační přeměny látek způsobujících nebezpečnost odpadu).

Termická oxidace odpadů má řadu pozitivních vlastností mimo jiné např.:

- Termická oxidace odpadů je prakticky ověřená, dlouho používaná technika zneškodňování odpadů.
- Tepelná přeměna odpadů (v porovnání např. se skládkováním nebo kompostováním) probíhá ve velmi krátké době. Organická hmota obsažená v odpadech se při spalování přeměňuje na konečné produkty oxidace, převážně CO₂ a vodní páru.
- Tuhé zbytky po spalování jsou většinou inertní a lze je tedy skládkovat na skládkách inertního odpadu (S-IO), případně je materiálově využít jako stavební materiál.
- Objem většiny odpadů se spalováním zmenší na přibližně 1 až 15 % původního objemu spolu s redukcí hmotnosti obvykle na úroveň 15 až 25 %. Tím je minimalizován prostorový nárok na uložení reziduí (tj. škvára, popel). Životnost skládek se tím v porovnání s ukládáním termicky nezpracovaného SKO významně prodlužuje.
- Na rozdíl od některých jiných způsobů zneškodňování, lze při spalování odpadů celý proces dokonale kontrolovat a efektivně řídit.
- Většina odpadů má vysokou výhřevnost a dá se použít pro výrobu tepla, případně i elektrické energie. Tím dochází k úspoře primárních ušlechtilých paliv.

- Termická oxidace odpadů umožňuje cílené odstraňování škodlivin z ekologického oběhu a jejich koncentrování do relativně malého objemu materiálu.

4.2 JEDNOTKA ENERGETICKÉHO VYUŽITÍ SKO

Jak již bylo ukázáno na obr. 4.1., většina jednotek energetického využití obsahuje následující zařízení a provozní soubory:

- Zařízení pro příjem, skladování a úpravu odpadů (váha, analýza složení, kontejnery, odsávané boxy a bunkry, drcení odpadů, míchání odpadů atd.).
- Zařízení na dopravu a dávkování odpadů do spalovacího zařízení (jeřáb, manipulátory, mechanické nebo hydraulické dávkovací zařízení atd.).
- Vícestupňové spalovací zařízení odpadů (spalovací komory, rošty, termoreaktor, hořákový systém, vynašeč popela, havarijní komín atd.).
- Zařízení pro utilizaci tepla (výroba syté nebo přehřáté páry, ohřev vody, předehřev spalovacího vzduchu atd.).
- Soubor zařízení na vícestupňové čištění spalin (filtrace, zařízení na vícestupňový mokrý způsob čištění, zařízení na polosuché a suché metody čištění spalin, zařízení na dočištění spalin adsorpcí atd.).
- Soubor měření a řízení procesu (čidla na měření technologických veličin, víceúrovňový řídicí systém, sběr a archivace dat, automatické zabezpečení havarijních stavů, monitoring procesu atd.).
- Zařízení pro pomocné operace (čistírna vody, odparka zasolené vody, turbogenerátor el. energie, záložní zdroj el. energie, zpracování popílku, kontinuální monitoring, laboratoře atd.).

Úkolem této kapitoly je stručné seznámení s technologií uvažovanou pro jednotky EV SKO malých zpracovatelských kapacit do 25 kt/rok, které jsou pro tuto práci důležité. Důraz je kladen zejména na systém čištění spalin tak, aby byla doložena schopnost i u malých jednotek dodržet požadované emisní limity bez vysokých investičních a provozních nákladů, které jsou obvykle s účinnými systémy čištění spalin spojovány.

Popisované technologie a principy jsou však plně použitelné i u jednotek větších ročních kapacit a de facto tak mohou být uvedené popisy považovány za obecný popis jednotky EV SKO. Zevrubné technické a technologické popisy jednotek EV SKO a ostatních typů spaloven odpadů lze nalézt [4, 37, 38]

Přednostně byla zvolena za způsob odstranění tzv. kyselých polutantů suchá metoda čištění spalin, která má až třikrát nižší investiční náklady, než metoda mokrá [39, 40].

4.2.1 Příjem a skladování SKO

SKO je do areálu jednotky přivážen pomocí nákladních automobilů. Příjem SKO a výjezd vozidel z areálu je prováděn přes vrátnici - váhovnu. Každý automobil je po příjezdu zvážen a je případně provedena analýza složení odpadu. Pro případ, že do areálu přijede více aut současně, je za vrátnicí uvažováno s prostorem pro stání více nákladních automobilů.

4.2.2 Úprava a manipulace se SKO

Protože jednotka zpracovává SKO je nutné jej z důvodů výhřevnosti i chemického složení homogenizovat. Za tímto účelem je použit systém zásobníků doplněných drtičem. Homogenizace odpadu je realizována přímo v zásobnících pomocí jeřábu s drapákovým nakladačem. Tímto jeřábem je také odpad dávkován do násypky podávacího zařízení. Zásobníky odpadů jsou vybaveny hasícím zařízením pro případný vznik požáru.

Prostoru zásobníků je odsáván. Tím je zabráněno úniku zápachu a případných toxických látek. Ventilátorem odsávaná vzdušina je použita jako spalovací vzduch ve spalovacím procesu.

4.2.3 Spalovací zařízení a utilizace tepla

Spalovací zařízení se skládá ze spalovacího zařízení a utilizačního parního kotle. Ve spalovacím zařízení dochází ke spalování SKO a v utilizačním parním kotli je vyráběna přehřátá pára o parametrech 2,0 MPa abs., 260 °C, za současného ochlazení spalín na teplotu okolo 230 °C.

Konstrukce roštu zajišťuje vytvoření dostatečné zásoby SKO, jeho dosušení, zapálení od sálavého tepla a vyhoření v topeništi za vzniku spalín. Nadávkovaný hořící SKO je na roštu posouván působením pohyblivých roštnic, které jsou opatřeny hydraulickým pohonem. Pod rošt je přiváděn ve více regulovatelných zónách přehřátý spalovací vzduch a recirkulované spaliny. Škvára padá do odpopelňovacího zařízení a je hrablovým vynašečem dopravována do kontejneru.

Spalovací komora je opatřena vyzdívkou s šikmou klenbou a hořákem na zemní plyn tak, aby vyhověla nařízení vlády č. 354/2002 Sb. Dále je vybavena dvěma systémy rozvodů vzduchu v plášti spalovací komory pro přívod primárního a sekundárního spalovacího vzduchu. Ventilátory spalovacího vzduchu jsou umístěny společně s výměníkem pro přehřev vzduchu v objektu kotelny.

Množství spalovacího vzduchu je řízeno automaticky pomocí frekvenčních měničů příslušných ventilátorů. Dostatečný spalovací prostor a optimalizované přívody spalovacího vzduchu a recirkulujících spalín jsou primárním opatřením ke snížení emisí CO a NO_x a TOC. Na spalovací komoru přímo navazuje parní vícetahový žárotrubný kotel. Podrobně bylo uvažované spalovací zařízení popsáno v [41].

4.2.4 Energocentrum

Technické řešení kogenerace vychází z Rankinova oběhu vodní páry, viz [42]. U jednotek malých ročních zpracovatelských kapacit je uvažováno s použitím parního motoru, který má v tomto případě výhodnější termodynamickou účinnost, než parní turbína (viz kapitola 6.8). Pára expandující v parním motoru pohání připojený elektrický generátor. Výstupní pára ze sekce výroby elektřiny následně předává své teplo topné vodě ve výměníkové stanici a kondenzátoru. Alternativou může být přímé využití páry pro technologické účely. Zkondezovaná pára je vedena do napájecí nádrže a z ní zpět do kotle.

Napájecí voda je termicky a chemicky upravovaná na kvalitu potřebnou pro výrobu páry úpravnou vody. Chemická úprava vody sestává z automatického ionexového a latexového filtru, potrubního síťového filtru a dávkovací stanice chemikálií.

Termická úprava vody sestává z napájecí nádrže, parního tlakového odplynovače, redukční stanice páry a bloku přehřevu.

4.2.5 Čištění spalin

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

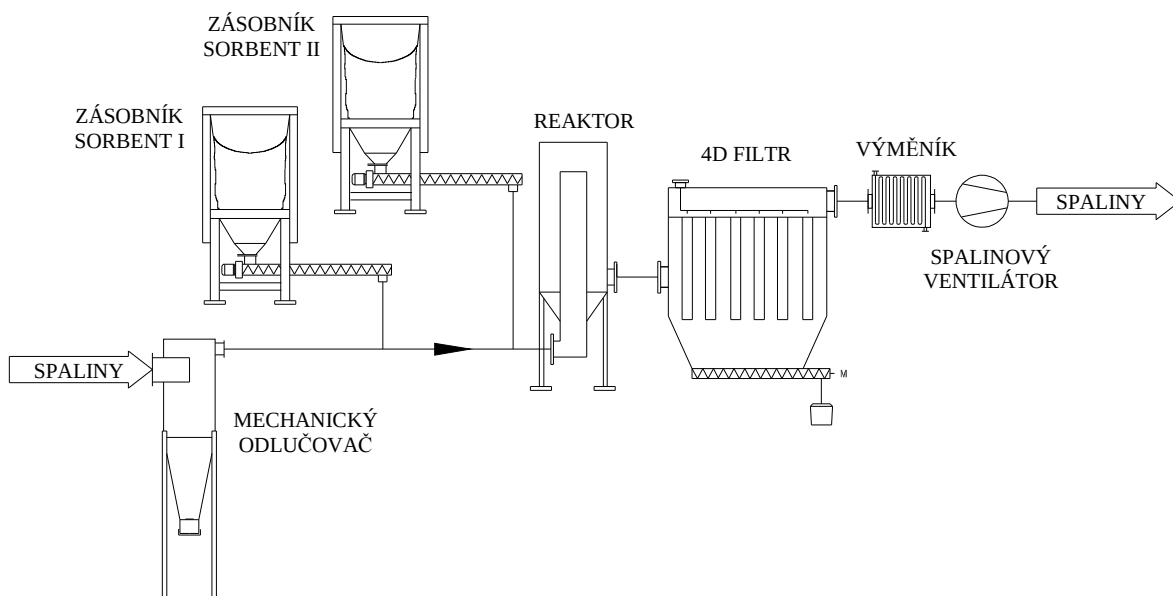
Tab. 4.1 Přehled znečišťujících látek a metod odstraňování

Jednotka počítá s odstraňováním všech hlavních polutantů, 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. Na tomto místě je nutné zmínit, že pro každé nové zařízení spalující odpad je velmi vysoká pravděpodobnost, že v rámci EIA řízení dle zákona 100/2001 Sb. budou zainteresované orgány státní správy vyžadovat dosažení emisních limitů nikoli na úrovni v současné době platné legislativy, ale takových emisních limitů, které budou v souladu s BREF/BAT dokumenty [4]. Tedy na úrovni zhruba o 30 % nižší. V případě již zmiňovaných emisních limitů NO_x to znamená až o 50 % nižších. Aparátová skladba souboru čištění spalin je uvedena na obr. 4.3.

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 je po jejich průchodu systémem čištění spalin předáváno dle potřeby vodě (např. napájecí) nebo vzduchu (např. spalovacímu) ve výměníku zařazeném před spalinovým ventilátorem.

V následujících podkapitolách budou stručně popsány pouze nejzajímavější metody, případně způsoby jejich nasazení či aparáty souboru čištění spalin. Zbývající metody čištění

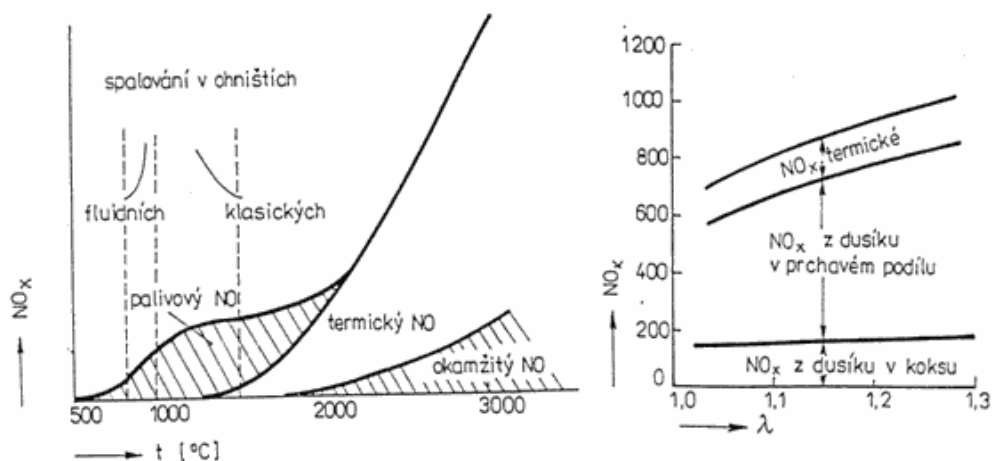
spalin jako povrchová filtrace, SCR PCDD/F a recyklace spalin jsou relativně běžné a popsané např. v [4, 40, 43, 44].



Obr. 4.3 Aparátová skladba souboru čištění spalin

Redukce oxidů dusíku

V primárních produktech spalování se vyskytují oxidy dusíku převážně ve formě oxidu dusnatého - NO (asi 90 až 95 % z celkového množství NO_x) a pouze menší část oxidů dusíku je přítomna ve formě oxidu dusičitého - NO_2 [43]. Množství vzniklých oxidů dusíku a jejich vzájemný poměr závisí na řadě faktorů a na podmínkách spalování, viz obr. 4.4.



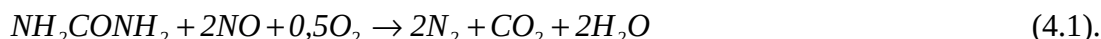
Obr. 4.4 Vliv teploty a součinitele přebytku spalovacího vzduchu na tvorbu jednotlivých typů oxidů dusíku, převzato z [44]

Oxidy dusíku vznikají nejen reakcí přítomného dusíku s kyslíkem (termické NO_x), ale rovněž při oxidaci spalované hořlaviny reakcemi chemicky vázaného dusíku s kyslíkem nebo kyslíkatými radikály (palivové NO_x). Na velikost tvorby oxidů dusíku má výrazný vliv teplota

spalování v jádru hoření. Z tohoto hlediska není rozhodující průměrná teplota ve spalovacím prostoru, ale rozhodující vliv má teplota přímo v plameni.

Pro snížení koncentrací oxidů dusíku ve spalínách je primárně navrženo použití selektivní nekatalytické redukce (SNCR) založené na vstřikování redukčního činidla do spalín v prostoru spalovací komory kotle. K nástřiku jsou použity speciální velmi jemně rozprašující dýzy, umístěné na nosných vstřikovacích kopích.

Účinkem redukčního činidla jsou NO_x vzniklé během spalovacího procesu rozloženy na elementární N_2 a O_2 . V závislosti na použití redukčního činidla - buď na bázi močoviny nebo čpavku - probíhá redukce dle následujících stechiometrických rovnic:

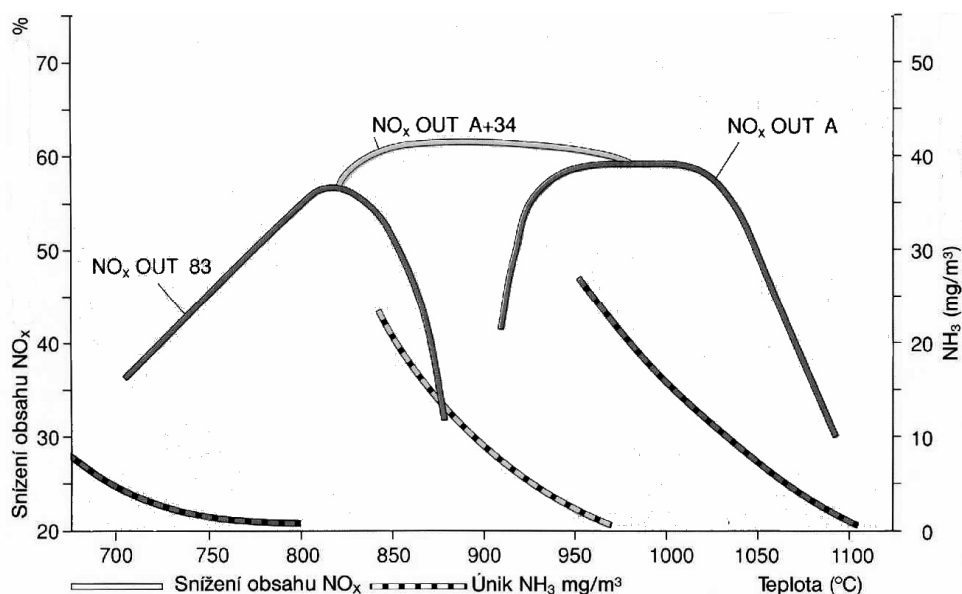


V případě uvažované jednotky je redukční roztok tvořen 45 % roztokem technické močoviny se surovou filtrovanou vodou, obohacenou speciálním koncentrátem. Tato přísada, nesoucí obchodní název carbamin 5745 má multifunkční účinek [45]. Mezi její hlavní úkoly patří:

- Pomocí volných $(\text{OH})^\cdot$ radikálů prodloužit trvání vlastní denitrifikační reakce až do pásma teplot v rozsahu 850 až 1 080°C a zabezpečit tak vyšší stupeň redukce NO_x .
- Snižovat povrchového napětí kapaliny (redukčního roztoku), která tak při vstřikování do kotle bude vytvářet minimální kapénky (prakticky až na molekulární úrovni), čímž je maximalizována reakční plocha mezi redukční kapalinou a spalínami.
- Obsahuje přísady snižující možnost vzniku koroze teplosměnných ploch.

Použití redukčního prostředku s močovinou představuje z hlediska hygieny a bezpečnosti práce vhodnější volbu než použití redukčního činidla na bázi čpavku.

Na obrázku 4.5 je znázorněna provázanost tzv. čpavkového skluzu na účinnosti odstranění NO_x a teplotní hladině, při které je činidlo dávkováno do spalovacího prostoru. Čpavkový skluz je nedílnou součástí metody SNCR v případě, kdy jsou požadovány vyšší účinnosti.



Obr. 4.5 Čpavkový skluz a účinnost redukce NO_x pro různé teplotní hladiny, převzato [46]

Z obr. 4.5 také vyplývá, že metoda SNCR má relativně dobrou účinnost redukce NO_x okolo 60 % v případě, že nástrík redukčního činidla je prováděn do teploty 1 000°C ve spalovacím prostoru. Nad touto teplotou účinnost prudce klesá díky zpětné oxidaci močoviny nebo čpavku obsažených v redukčním činidle na oxidy dusíku.

Sekundární metodou navrženou pro redukci oxidů dusíku je metoda selektivní katalytické redukce (SCR). Jde o katalytický proces, kdy je jako redukční činidlo používán čpavek nastříkávaný do proudu spalin. Ten ve směsi s oxidy dusíku a přechodem přes katalyzátor zajišťuje redukci NO_x dle následujících stechiometrických rovnic:



Aby mohly výše uvedené reakce efektivně probíhat je zapotřebí, aby se teplota směsi NO_x a činidla (tzn. teplota spalin) na katalyzátoru pohybovala v rozsahu teplot 180 až 450°C. Obvyklé operační rozmezí v praxi je 230 až 320°C. Při teplotách pod 250°C je k dosažení jinak obvyklé vysoké účinnosti metody SCR okolo 90 % zapotřebí větší objem katalyzátoru [4]. Protože SCR je v případě uvažované jednotky nasazena jako sekundární metoda, není nižší účinnost na závadu. Naopak, vzhledem ke způsobu aplikace SCR je jinak negativní čpavkový skluz pozitivně využit, viz výše uvedené rovnice katalytické redukce.

Suchá sorpce

Tento stupeň čištění je realizován autonomním kontinuálním dávkováním dvou sorbentů - sorbentu I - NaHCO_3 a sorbentu II - aktivní uhlí. Oba sorbenty jsou velmi jemně mleté, prachové konzistence. Sorbenty jsou v hmotnostně řízených množstvích nezávisle dávkovány do spalin.

Díky malé spotřebě sorbentů vlivem nízké roční zpracovatelské kapacity jednotky EV SKO mohou být provozní zásoby obou sorbentů uloženy přímo v přepravních vacích (tzv. „Big-Bag“) - zásobnících. Není nutné budovat zásobní sila a systém pneudopravy sorbentů. Dávkovací zařízení se potom skládá z rámu na zavěšení vaku, násypky a dávkovacího šneku. Pohon šneku je řízen pomocí frekvenčního měniče.

Dokonalého rozptýlení sorbentů po proudovém průřezu a potřebné délky trvání kontaktní doby se zajišťuje zařazením reaktoru, tzv. kontaktoru. Kontaktor je ocelový válcový samostatně stojící aparát s jednoduchou vnitřní vestavbou, který zajistí delší zdržnou dobu, důkladnou homogenizaci spalin a důkladné promíchání, tj. požadovaný kontakt jednotlivých částic sorbentu s molekulami škodlivin.

Sorbent I je zaměřen na omezování emisí znečišťujících látek kyselého charakteru. Ideální teplota spalin pro účinnou funkci sorbentu se pohybuje v rozsahu 160 až 230°C.

NaHCO_3 se při teplotách nad 140°C velmi rychle rozkládá na uhličitán sodný (viz rovnice 4.7), čímž vzrůstá jeho zásaditost a zejména se zvětšuje jeho reakční povrch, viz obr 4.6. Při následném postupu kontaktem dochází k promísení spalin a sorbentu a kyselé znečišťující látky jsou aktivní látkou (Na_2CO_3) vzniklou termickým rozpadem původního sorbentu nejen

chemicky vázány, ale i adsorbovány na její povrch. Dochází k zachycování zejména kyselé reagujících složek odpadních plynů (HCl, HF, SO₂) a těžkých kovů. Chemické reakce probíhají při stechiometrickém poměru sorbentu a znečišťující látky obvykle v rozsahu $\alpha=1,2 \div 1,5$ (viz obr. 4.5). Proces suché sorpce je popsán následujícími rovnicemi:

1. termická aktivace - kalcinace



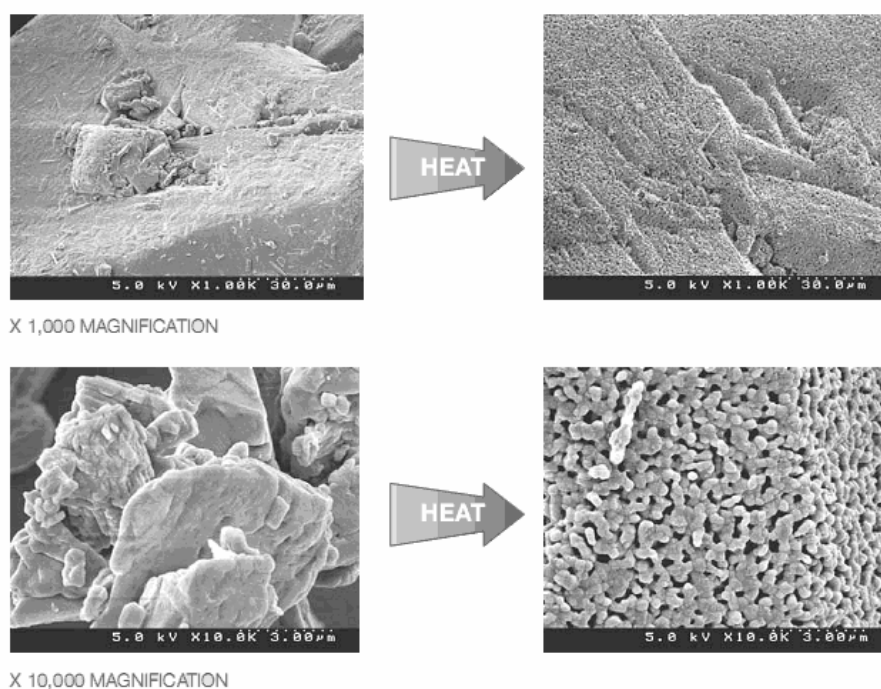
2. neutralizační reakce



3. oxidace

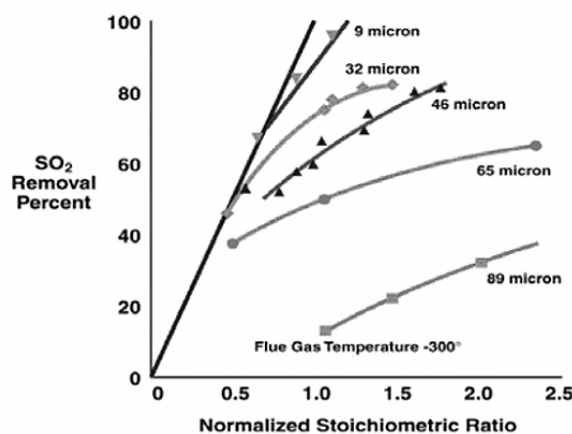


Kalcinace jako proces tvorby Na₂CO₃ není důležitá. Důležitý je její vedlejší efekt, kterým je vytvoření porézního a tedy podstatně zvětšeného povrchu částice sorbentu, viz obr. 4.6.



Obr. 4.6 Vliv kalcinace na povrch částice, převzato [47]

Aby byla metoda suché sorpce účinná, je kromě dostatečné teploty k provedení kalcinace důležitá i velikost částic. Vliv velikosti částic sorbentu na účinnost odstranění SO₂ je znázorněna na obr. 4.7.



Obr. 4.7 Vliv velikosti částice na účinnost odstranění SO₂, převzato [47]

Ideální je mletí sorbentu na požadovanou granulometrii přímo bezprostředně před jeho dávkováním do spalín. Nicméně je možné používat i předemletý sorbent bez velkého vlivu na účinnost procesu.

V druhém fázi je do spalín kontinuálně dávkován a rozprašován sorbent II - aktivní uhlí, na jehož povrch se adsorbují těžké kovy a PCDD/F.

Uvedenými postupy jsou znečišťující látky obsažené ve spalínách v plynném stavu a ve formě aerosolu převedeny do tuhé fáze a je možné realizovat jejich odloučení ze spalín mechanickým způsobem.

Výše uvedené reakce pro neutralizaci spalín patří mezi všeobecně známé. Nicméně přítomnost sorbentu NaHCO₃ ve spalínách má také malou měrou vliv na redukci NO_x. Účinnost redukce NO_x se v tomto případě pohybuje okolo 5 %. Stejně jako v případě využití NaHCO₃ pro odstraňování kyselých složek má velký vliv granulometrie částic sorbentu. K tomu, aby se redukce NO_x pomocí NaHCO₃ projevila, musí být velikost částic sorbentu nejvýše do 10 μm.

Redukce NO_x způsobená NaHCO₃ je v přímé závislosti na množství odstraněného SO₂ a probíhá ve dvou krocích:

1. NO je oxidován na NO₂, viz rovnice (4.12),
2. NO₂ je neutralizován na NaNO₃, viz rovnice (4.13).

Přičemž část NO může být redukována přímo na N₂. Konverze NO na NO₂ probíhá v přímé souvislosti s neutralizací SO₂ a vyžaduje také přítomnost kyslíku, viz rovnice (4.12).

Výše popsané procesy jsou shrnuty do následující stechiometrických rovnic:



4D filtrace

4D filtrace je představována technologií Cerafil® TopKat společnosti Clear-Edge [48]. Tato technologie, označovaná jako tzv. „4D filtrace“, 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 | DeNOx |
| • 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 V_2O_5/TiO_2 zajišťující možnost rozkladu PCDD/F, těkavých uhlovodíků i redukci oxidů dusíku. Významnou výhodou je také vysoká odolnost keramických elementů vůči teplotám až do 900°C. U běžných tkaninových filtračních materiálů mají tyto teploty zcela destruktivní účinky a jsou naprosto nepřijatelné. Spojení všech výše uvedených jednotkových operací v rámci jednoho aparátu přináší nemalé úspory investičních i provozních nákladů.

4.3 HMOTOVÁ A ENERGETICKÁ BILANCE JEDNOTKY EV SKO

Hmotová a energetická bilance jednotky EV je uvedena pro jednotlivé funkční celky jednotky, konkrétně pro:

- spalovací zařízení,
- utilizace tepla,
- čištění spalin,
- energocentrum.

Při výpočtech byly použity běžné postupy a vztahy pro výpočty hmotových a energetických bilancí, které lze nalézt např. v [49]. U každého celky jsou uvedeny předpoklady, na základě kterých byl řešen. Pokud nebude uvedeno jinak jsou všechny děje považovány za izobarické.

4.3.1 Spalovací zařízení

Hmotová a energetická bilance spalovacího zařízení byla řešena s uvažováním následujících předpokladů:

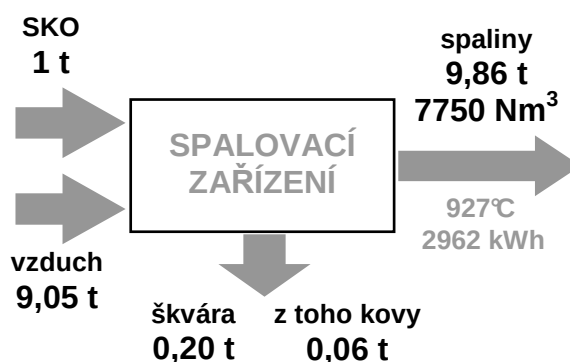
- SKO má složení a výhřevnost dle tab. 1.3,
- ve škváře je uvažován nedopal hořlaviny paliva ve výši 2 %,
- přebytek spalovacího vzduchu je brán $\alpha=2,4$ a odpovídá objemové koncentraci O_2 ve spalinách ve výši 11 %,
- kromě nedopalu hořlaviny ve škváře je uvažováno s úplnou oxidací hořlaviny na konečné produkty spalování,
- spalovací vzduch má teplotu 20°C a složení dle tab. 4.2.
- není uvažována ztráta tepla ve škváře,
- není uvažována entalpie vstupujícího paliva,

- ztráty tepla radiací a konvekcí jsou zavedeny prostřednictvím vyšší teploty spalin odcházejících z ekonomizéru (150°C), respektive spalin vypouštěných do atmosféry oproti obvyklým 120°C, to odpovídá celkovým ztrátám tepla radiací a konvekcí na úrovni 2 %,
- ze škváry jsou získávány kovy pro materiálové využití,
- popílek odloučený v mechanickém odlučovači je zahrnut do škváry, (pozn. podrobněji je hmotová bilance popílku rozebrána v kapitole 4.3.3).

složka	% obj.
H ₂ O	1,15
CO ₂	0,03
O ₂	20,75
N ₂	77,13
Ar	0,94

Tab. 4.2 Složení spalovacího vzduchu

Obr 4.8 ukazuje hmotovou a energetickou bilanci spalovacího zařízení vztaženou na 1 t vstupujícího SKO. Z hlediska energetické bilance je uvedena pouze entalpie spalin a jejich teplota jako nejdůležitější položky.



Obr. 4.8 Hmotová a energetická bilance spalovacího zařízení jednotky EV SKO

4.3.2 Utilizace tepla

Tento provozní soubor jednotky EV SKO je obvykle představován utilizačním kotlem na výrobu páry a bilanci tohoto celku je tedy možné označit čistě jako energetickou. Pro účely této práce je uvažováno s generováním páry o dvou různých tlacích a teplotách a to v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě.

- U všech jednotek EV SKO s roční zpracovatelskou kapacitou nad 20 kt je produkována přehřátá pára o tlaku 4,3 MPa abs. a teplotě 400°C, která expanduje na tlak 0,08 Mpa abs. v parní turbíně
- U jednotek s roční zpracovatelskou kapacitou do 20 kt je produkována pára o tlaku 2 MPa abs. a teplotě 260°C expandující na tlak 0,2 Mpa abs. v parním motoru.

V tabulce 4.3 jsou uvedeny parametry páry pro výše uvedené podmínky.

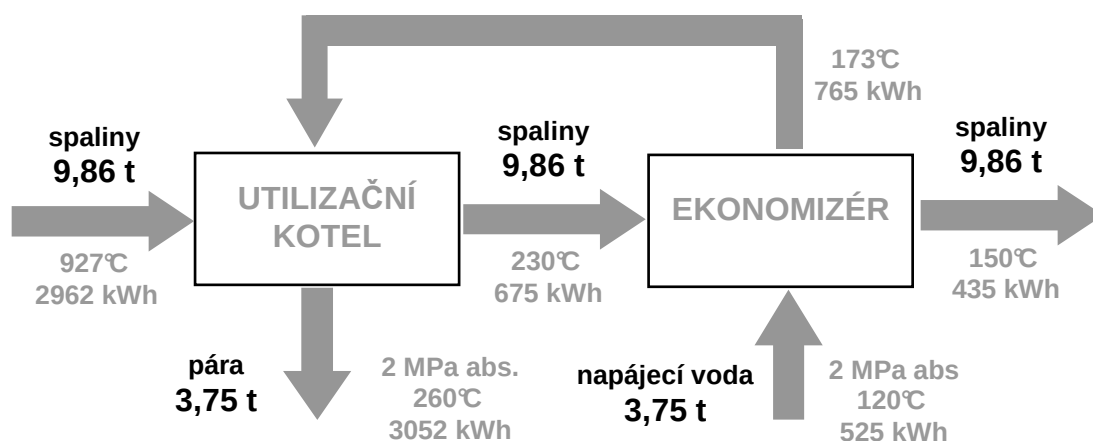
Pára	teplota [°C]	entalpie [kJ/kg]	entropie [kJ/(kg.K)]	saturační teplota [°C]
tlak 4,3 MPa abs.	400,0	3 211	6,734	254,7
tlak 0,08 MPa abs.	93,5	2 409	6,734	93,5
tlak 2,0 MPa abs.	260,0	2 928	6,594	212,4
tlak 0,2 MPa abs.	120,2	2 497	6,594	120,2

Tabulka 4.3 Parametry páry

Dalšími doplňujícími předpoklady pro výpočet energetické bilance utilizace tepla jsou:

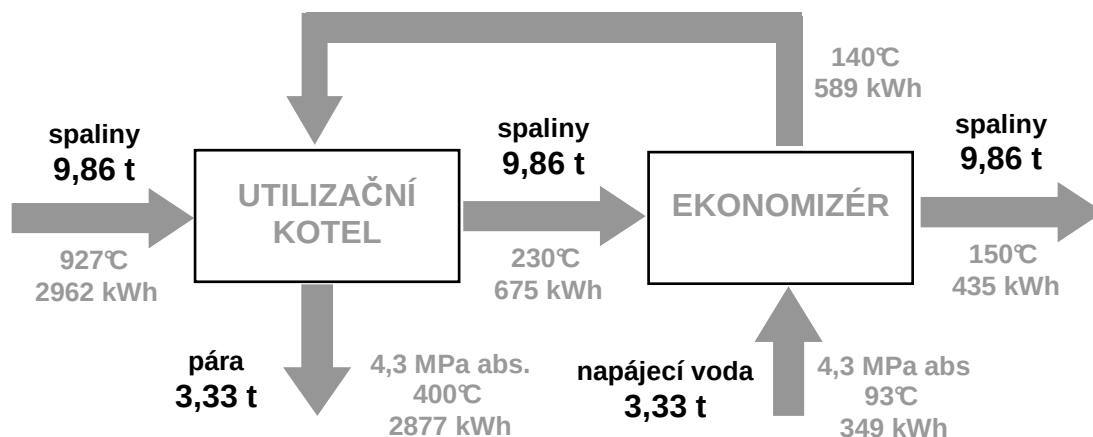
- teplota spalin na výstupu z kotle je 230°C,
- ekonomizér je zařazen před spalinovým ventilátorem, viz obr. 4.2,
- po průchodu ekonomizérem a spalinovým ventilátorem již spaliny odcházejí do komína a jsou rozptýleny do atmosféry,
- změna entalpie spalin vlivem chemických reakcí probíhajících během čištění spalin je zanedbána,
- teplota spalin na vstupu do ekonomizéru je 230°C,
- teplota spalin na výstupu z ekonomizéru je 150°C,
- napájecí voda je na mezi sytosti a má teplotu odpovídající saturační teplotě pro daný tlak.

Obr. 4.9 ukazuje energetickou bilanci utilizace tepla za výše uvedených předpokladů vztaženou na 1 t SKO vstupující do jednotky EV SKO pro jednotky s kapacitou do 20 kt/rok.



Obr. 4.9 Hmotová a energetická bilance utilizace tepla jednotky EV SKO s kapacitou do 20 kt/rok

Obr. 4.10 ukazuje energetickou bilanci utilizace tepla za výše uvedených předpokladů vztaženou na 1 t SKO vstupující do jednotky EV SKO pro jednotky s kapacitou nad 20 kt/rok.



Obr. 4.10 Hmotová a energetická bilance utilizace tepla jednotky EV SKO s kapacitou nad 20 kt/rok

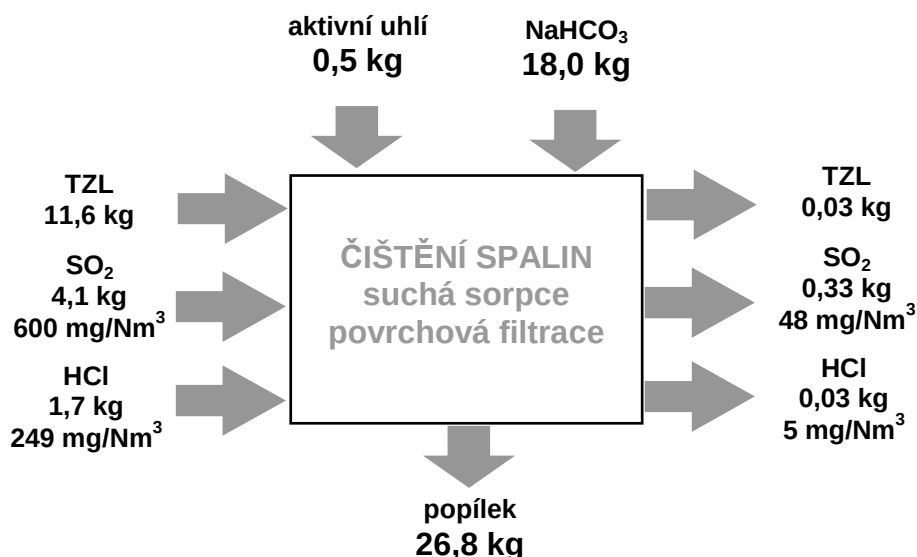
4.3.3 Čištění spalin

Hmotová a energetická bilance provozního souboru čištění spalin je stanovena s uvážením následujících předpokladů:

- popílek odloučený v mechanickém odlučovači za kotlem je v rámci jednotky zpracovávána spolu se škvárou a proto není uvažován v rámci této bilance,
- koncentrace TZL za odlučovačem je uvažována $1,6 \text{ g/Nm}^3$,
- z hlediska bilance suché sorpce jsou uvažovány pouze oxidy síry (jako SO_2) a kyselina chlorovodíková HCl (obsah HF je z hlediska hmotové bilance zanedbatelný),
- koncentrace SO_2 a HCl ve spalinách je dána obsahem síry a chlóru v palivu (viz tab. 1.3),
- sorbent (NaHCO_3) je do spalin dávkován se stechiometrickým přebytkem $\alpha=1,15$,
- účinnost odstranění SO_2 je 92 % (viz pozn.),
- účinnost odstranění HCl a HF je 98 %, což je dáno vyšší reaktivitou těchto látek (jde o silnější kyseliny než H_2CO_3),
- nezreagovaný sorbent je odloučen spolu s popílkem,
- neutralizační reakce suché sorpce probíhají dle rovnic uvedených v kap. 4.2.5,
- koncentrace TZL za filtrem je uvažována 4 mg/Nm^3 ,
- změna hmotnosti aktivního uhlí vlivem adsorpce těžkých kovů a jiných látek je zanedbána,
- koncentrace NO_x (vyjádřených jako NO) ve spalinách je uvažována na základě hodnot uvedených v [50] 400 mg/Nm^3 such. sp. ref. 11 % O_2 ,
- účinnost odstranění NO_x metodou SNCR je 60 %,
- čpavek potřebný pro SCR pochází z rozkladu močoviny (čpavkový skluz),
- účinnost odstranění NO_x metodou SNCR je 90 %,
- jak již bylo uvedeno, změna entalpie spalin vlivem chemických reakcí probíhajících během čištění spalin je zanedbána.

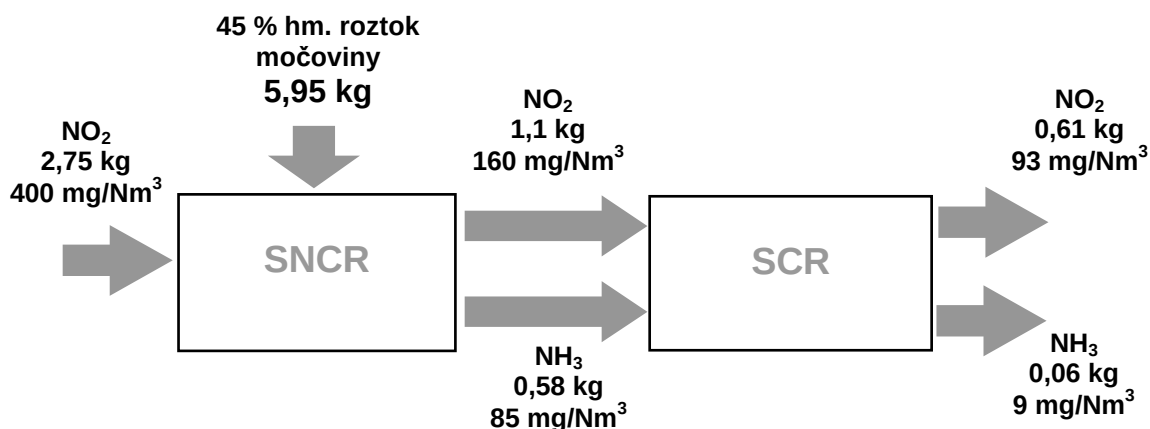
(Pozn. Účinnost odstranění SO_2 92 % byla stanovena na základě požadavku plnění emisního limitu SO_2 pro spalování odpadu, který je 50 mg/Nm^3 such. sp., ref. O_2 11 %, viz kap. 1.1.6.)

Obr. 4.11 ukazuje hmotovou bilanci technologického uzlu suché sorpce za výše uvedených předpokladů a vztaženou na 1 t SKO vstupující do jednotky EV SKO. Koncentrace jednotlivých polutantů ve spalinách jsou vztaženy na normální podmínky, suchý plyn a referenční obsah O_2 11 % obj. Hmotnost vznikajícího CO_2 a H_2O není uvedena.



Obr. 4.11 Hmotová a energetická bilance suché sorpce a povrchové filtrace jednotky EV SKO vztažená na 1 t SKO

Obr. 4.12 ukazuje hmotovou bilanci DeNO_x za výše uvedených předpokladů a vztaženou na 1 t SKO vstupující do jednotky EV SKO. Koncentrace jednotlivých polutantů ve spalinách jsou vztaženy na normální podmínky, suchý plyn a referenční obsah O_2 11 % obj. Hmotnost vznikajícího CO_2 , H_2O a N_2 není uvažována.



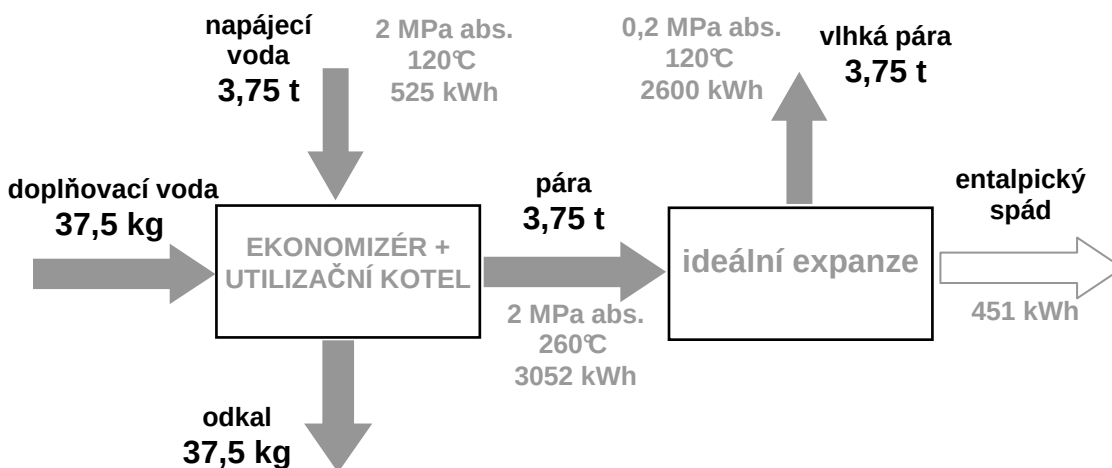
Obr. 4.12 Hmotová a energetická bilance DeNO_x jednotky EV SKO vztažená na 1 t SKO

4.3.4 Energocentrum

Bilance provozního souboru energocentrum je v rámci této kapitoly rovedena pouze částečně a to stanovením entalpického spádu daného ideální izoentropickou expanzí páry v turbíně nebo v parním motoru. Toho je později využito v kap. 6.8 ke stanovení měrného množství generované elektrické energie. To není možné vztáhnout na 1 t SKO jako v jiných případech z toho důvodu, že vnitřní termodynamická účinnost expanzního stroje je závislá na jeho celkovém výkonu, tj. na roční zpracovatelské kapacitě jednotky, respektive výkonu kotle a množství generované páry.

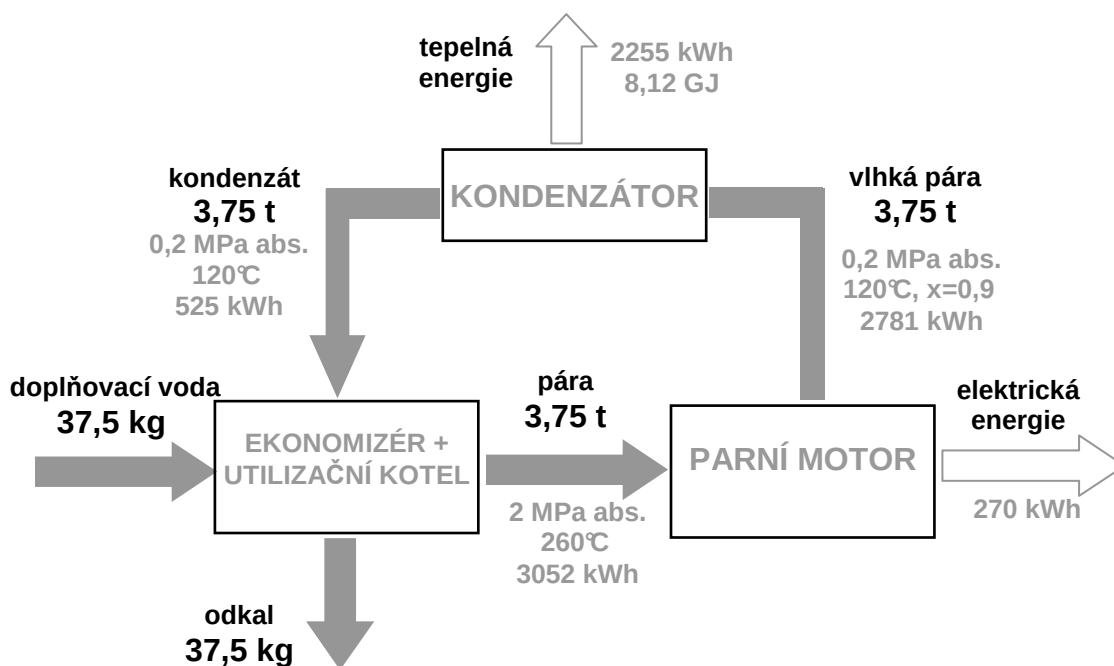
V rámci energocentra je také stanovena spotřeba surové vody a odpadní vody. Protože u jednotek EV SKO je primárně uvažováno se suchou metodou čištění spalin, vystává spotřeba vody dané přímo procesem termického zpracování SKO pouze v rámci energocentra. Technická norma ČSN 07 7401 - Voda a pára pro tepelná energetická zařízení s pracovním tlakem páry do 8 MPa, stanovuje požadavky na kvalitu vody a páry včetně odkalu kotle. V případě jednotek uvažovaných v této práci je odkal kotle stanoven na 1 % množství z napájecí vody.

Obr. 4.13 ukazuje hmotnostní a energetickou bilanci energocentra jednotky EV SKO s kapacitou do 20 kt/rok vztaženou na 1 t SKO vstupující do jednotky.



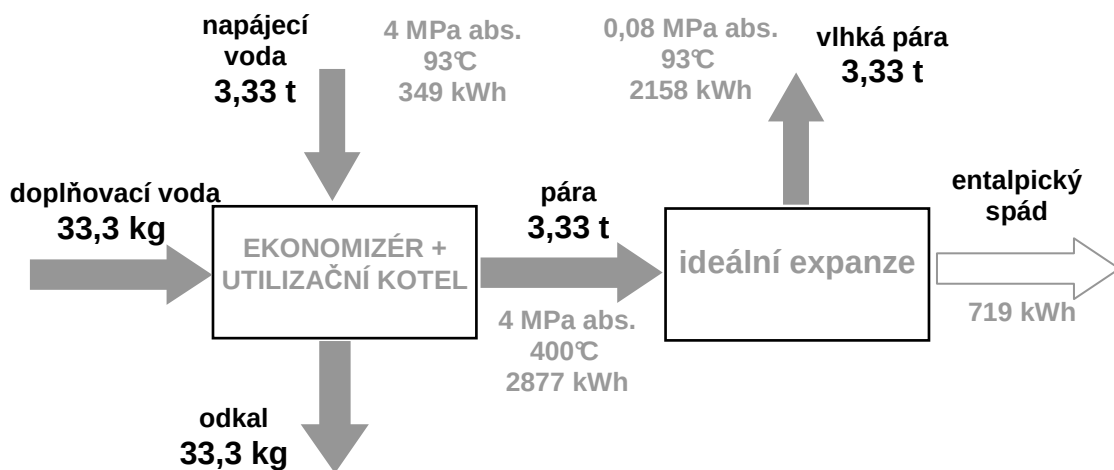
Obr. 4.13 Částečná bilance energocentra jednotky EV SKO s kapacitou do 20 kt/rok vztažená na 1 t SKO

Protože u jednotek se zpracovatelskou kapacitou do 20 kt/rok je uvažováno s expanzí páry v parním motoru, jehož vnitřní termodynamická účinnost je prakticky konstantní pro všechny výkony (viz. kap. 6.8), je na ob. 4.14 uvedena celková energetická bilance energocentra 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. 4.14 Celková bilance energocentra jednotky EV SKO s kapacitou do 20 kt/rok vztažená na 1 t SKO

Obr. 4.15 ukazuje částečnou hmotnostní a energetickou bilanci energocentra jednotky EV SKO s kapacitou nad 20 kt/rok vztaženou na 1 t SKO vstupující do jednotky.



Obr. 4.15 Částečná bilance energocentra jednotky EV SKO s kapacitou nad 20 kt/rok vztažená na 1 t SKO

4.3.5 Spotřeby energií a pomocných médií jednotky EV SKO

Spotřeby energií a pomocných médií lze v rámci jednotky EV SKO rozdělit do tří širších skupin energií a pomocných médií souvisejících:

- se spalovacím procesem,
- s utilizací tepla,
- s čištěním spalin.

Spotřeba elektrické energie je dána spotřebou pohonů strojů – elektromotorů. Největší podíl na spotřebě elektrické energie má pohon spalínového ventilátoru se spotřebou okolo 50 kWh/t zpracovávaného SKO. Tato spotřeba je dána tlakovou ztrátou spalínových cest a skutečným objemovým průtokem spalin. Uvažovaná konfigurace jednotky EV SKO má přibližnou tlakovou ztrátu 6 kPa.

Zbývající spotřeba elektrické energie je potom dána ostatními spotřebiči, jako jsou motory čerpadel napájecí vody, pohony šnekových dopravníků, elektrovytápění výsypek filtru atd. Tato spotřeba byla stanovena na základě „know-how“ společnosti EVECO Brno a jejích praktických zkušeností. Při porovnání výsledné hodnoty měrné spotřeby elektrické energie s hodnotami udávanými jinými autory a zdroji [4, 20, 51, 52], lze konstatovat dobrou shodu.

Podobně jako spotřeba elektrické energie, tak i spotřeby chemikálií nezbytných pro úpravu surové a napájecí vody byly stanoveny na základě praktických zkušeností společnosti EVECO Brno. Spotřeby chemikálií v provozu celku utižace tepla a energocentra jsou dány potřebou úpravy surové a napájecí vody. Hydroxid sodný spolu s kyselinou chlorovodíkovou slouží k regeneraci katexu a ionexu, kterými je demineralizována a „změkčována“ surová voda. Fosforečnan sodný je dávkován do napájecí vody z důvodu udržování potřebné hodnoty pH a odstranění zbytkové tvrdosti. Hydrazin slouží k odkysličení napájecí vody a je spolu s aminy inhibítorem koroze kotelních systému. V praxi se pak často uplatňují kombinované přípravky inhibice koroze, odkysličení a upravující hodnotu pH.

Měrné spotřeby všech výše uvedených pomocných chemikálií byly určeny s rezervou pro konzervativní posouzení ekonomické bilance. Ačkoli, jak je ukázáno v kapitole 6.6, jejich vliv na výši nákladů spojených se zpracováním odpadu je relativně malý. Zdaleka největší vliv na výši nákladů na zpracování odpadu, mají média spotřebovávaná v rámci celku čištění spalin. Zejména pak hydrogenuhličitan sodný jako jeden ze sorbentů. Jeho spotřeba byla spolu se spotřebou močoviny vyjádřena v kapitole 4.3.3. V tab. 4.4 je potom uveden obchodní název Satamin, což je 45 % roztok technické močoviny a speciální přísady carbamin 5745, která byla popsána v kap. 4.2.5.

Spotřeba zemního plynu není dána bilančně. Je způsobena nezbytným najížděním jednotky do provozu po odstávkách, kdy není možné z legislativních důvodů spalovat odpad až do dosažení teploty 850°C ve spalovací komoře (viz kap.1.1.5). Měrná spotřeba zemního plynu je potom určena rozpočítáním zemního plynu spotřebovaného během najíždění na celkové množství zpracovaného množství odpadu za dobu životnosti jednotky.

Spotřeba surové vody je uvažována vyšší, než jen daná spotřebou vody pro náhradu odkalu kotle a to z důvodu jejího možného použití např. pro chlazení škváry.

Spotřeby energií a pomocných médií jednotky EV SKO vztažené na 1 t SKO vstupujícího do jednotky jsou shrnuty v tab. 4.4.

	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. 4.4 Měrné spotřeby energií a médií jednotky EV SKO

4.4 SHRUTÍ BILANCÍ JEDNOTKY EV SKO

Tab. 4.5 shrnuje hmotnostní bilanci jednotky EV SKO. Množství odpadní vody je navýšeno o množství dané provozem hygienických zařízení jednotky. Produkce elektrické energie a tepla není uvedena. Podrobněji je tato problematika analyzována v rámci kap. 6.8.

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

Tab. 4.5 Hmotová bilance jednotky EV SKO

5 ODHAD INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ TECHNOLOGIE

Investiční cena technologie hraje při každém posuzování uskutečnitelnosti projektu jednu z hlavních rolí. Výše prvotních investičních nákladů potom bývá často sama o sobě jediným faktorem rozhodujícím o realizaci. Stanovení investiční ceny zejména u projektů většího měřítka však není snadné a v praxi se často setkáváme s velmi zkreslenými představami potenciálních investorů o její výši.

Investiční cena technologií, respektive celých provozních celků, je ovlivňována mnoha faktory, které mají lokální charakter a často jsou i exaktně neuchopitelné. Například:

- možnost napojení na inženýrské sítě (elektrická energie, teplovody, vodovody atd.),
- požadavky dané uvažovanou lokalitou výstavby (typ podloží, rozptylové podmínky, seismicitata atd.),
- požadavky na architektonické řešení,
- požadavky na stupeň automatizace provozu,
- a v neposlední řadě vliv veřejnosti, který je právě těžko předvídatelným faktorem.

V konečném důsledku je vždy nezbytné řešit reálně očekávatelnou investiční cenu v rámci studie proveditelnosti, která by měla být vždy součástí rozhodovacího a projekčního cyklu a jako taková by měla být vypracována hned v počátku zrodu investičního záměru.

V rámci studie proveditelnosti je pak investiční cena zjišťována na základě konkrétních poptávek a nabídek dodavatelů jednotlivých stěžejních technologických celků a odborného odhadu řešitele studie. Výsledkem by měla být tzv. bezpečná cena, za kterou by měl být projekt zrealizován a neměla by být překročena s dostatečně velkou pravděpodobností.

Pro řešení teoretických prací a pro hrubé odhady je ale často nezbytné pracovat se skutečně rychlým odhadem investiční ceny v podobě spojitě funkce popisující závislost výše investičních nákladů na klíčovém parametru pro danou technologii. Uvedme příklady typů technologií a příslušné klíčové parametry:

- spalovna odpadů – zpracovávané množství odpadu,
- elektrárna – generovaný výkon elektrické energie,
- teplárna – generovaný tepelný výkon atd.

Za účelem hrubého odhadu investiční ceny v rámci této disertační práce tak byla shromážděna data týkající se výše investičních nákladů pro dvě klíčové technologie a to:

- mechanicko-biologickou úpravu SKO,
- jednotku EV SKO.

Ceny uvedené v tabulkách byly zjištěny jednak na základě zkušeností autora práce a „know-how“ společnosti EVECO Brno, tedy na základě skutečně realizovaných projektů a konkrétních nabídek. Dále byly zjištěny a porovnány s údaji v následujících pramenech [12, 16, 35, 53, 54]

Tabulka 5.1 uvádí výši investičních nákladů pro technologii mechanicko-biologického zpracování odpadů v závislosti na ročním zpracovávaném množství SKO.

kapacita [kt/rok]	20	35	70	100	150	300
investiční cena [mil. Kč]	195	390	606	731	910	1 248

Tabulka 5.1 Výše investičních nákladů MBÚ

Uvedené ceny jsou cenami kompletními a zahrnují jak dodávky strojního a technologického zařízení, tak i stavební a montážní práce. Stejně tak tomu je i u cen pro technologii EV SKO v tabulce 5.2.

kapacita [kt/rok]	20	35	80	96	220	300
investiční cena [mil. Kč]	450	813	1 493	1 750	2 604	3 167

Tabulka 5.2 Výše investičních nákladů jednotek EV SKO

Jednotlivé investiční případy uvedené v tabulkách se v podrobném technologickém složení liší a to často i podstatným způsobem. Za rozhodující je však v tomto okamžiku brána prostá zpracovatelská kapacita a celková investiční cena. V následujících kapitolách však bude v určitých případech uvažováno s vlivem technologické skladby jednotky na investiční cenu.

Samotná celková investiční cena se skládá z více skupin investičních celků. Předmětné investiční celky potom lze pro jednotku EV SKO charakterizovat následovně:

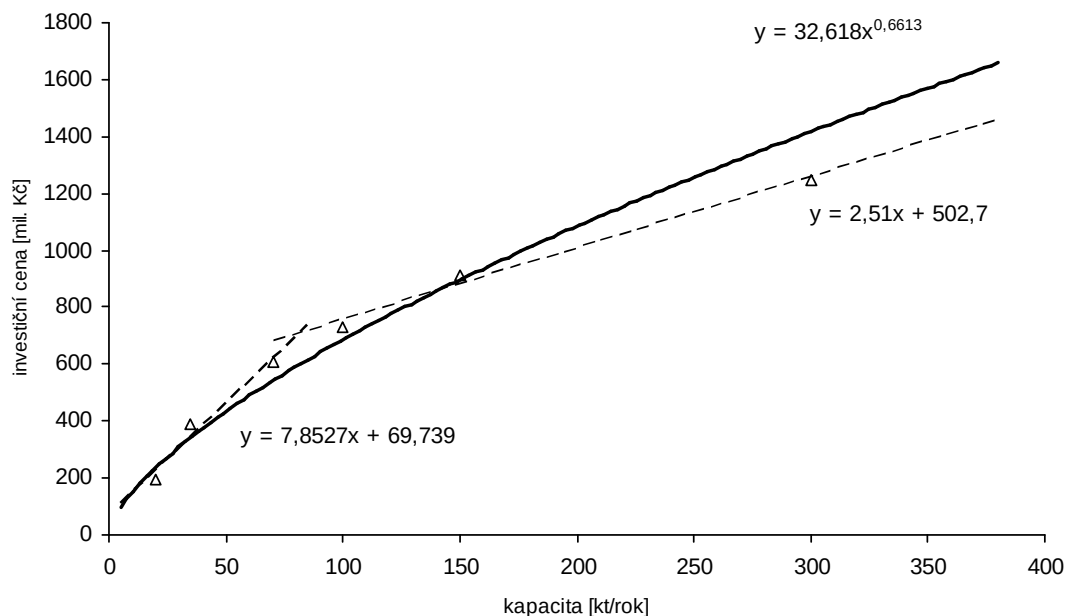
- stavební část, ve které jsou zahrnuty veškeré budovy, zařízení budov, napojení na rozvodné sítě
- parní kotel a související provozy, jako je pneumatická doprava popílku, úpravna napájecí vody kotle, atd.
- systém čištění spalin,
- řídicí systém se všemi prvky MaR,
- komíny, kouřovody,
- veškeré ostatní strojní a technologické zařízení, jako jsou např. jeřáby, váhy a kompresorová stanice.

Podíl těchto jednotlivých skupin na celkové investiční ceně může být velmi proměnlivý a závislý na použité technologii pro daný celek. V poslední době progresivní a čím dále častěji se prosazující metoda suchého čištění spalin (viz kapitola 4.2.5) může být až několikanásobně levnější v porovnání s ostatními metodami čištění spalin [39, 40]. Procentuální zastoupení jednotlivých celků je také závislé na celkové výši investice, respektive v případě jednotky EV SKO na plánované kapacitě jednotky EV.

Problematika rychlého stanovování výše investičních cen je velmi široká a umožňuje velmi komplexní přístup s využitím mnoha matematických nástrojů jako je např. fuzzy logika [55, 56]. Protože tato problematika není primárně náplní této práce, bude pro další účely využita prostá regresní analýza. Pomocí ní je možné odhadnout hodnoty náhodné veličiny, kterou je právě investiční cena technologie.

5.1 INVESTIČNÍ NÁKLADY MECHANICKO-BIOLOGICKÉ ÚPRAVY SMĚSNÉHO KOMUNÁLNÍHO ODPADU

Po aplikaci regresní analýzy lze data uvedená v tabulce 5.1 zpracovat do podoby následujícího obr. 5.1.



Obr. 5.1 Závislost investičních nákladů MBÚ na roční zpracovatelské kapacitě

Regrese byla provedena celkem třemi způsoby:

- pomocí lineární funkce pro jednotky s kapacitou do 100 kt/rok,
- pomocí lineární funkce pro jednotky s kapacitou nad 100 kt/rok,
- pomocí mocninné funkce pro celý kapacitní rozsah.

Hranice 100 kt byla zvolena s ohledem na běžnou praxi, která považuje obecně jednotku s roční zpracovatelskou kapacitou 100 kt za nejmenší ekonomicky výhodnou jednotku pro zpracování komunálního odpadu. Dále bude problematika dimenzování kapacity jednotky rozebrána v kapitole 7.

I ze samotného obr. 5.1 je zřejmé, že použití dvou aproximačních lineárních funkcí pro dva rozsahy zpracovatelských kapacit aproximuje výši investiční ceny přesněji, než aproximace jednou mocninou funkcí pro celý rozsah.

Výslednou aproximační lineární funkci investiční ceny jednotky s roční zpracovatelskou kapacitou do 100 kt lze zapsat ve tvaru:

$$y = 7,8527x + 69,739 \quad (5.1),$$

respektive

$$C_{inv}^{MBÚ, <100} = 7,8527K_{rok} + 69,739 \quad (5.2).$$

Pozn. Rovnice (5.2) je v tomto případě korelační rovnicí, ve které K_{rok} je plánovaná roční kapacita jednotky v [kt/rok] a $C_{inv}^{MBÚ, <100}$ je investiční cena v [mil.Kč]. Korelační rovnicí je rovnice, u které si z hlediska rozměrové analýzy neodpovídají levá a pravá strana rovnice. V případě potřeby (např. pro lepší srozumitelnost) je však možné přejít od korelační rovnice použitím odpovídajících jednotek pro příslušné koeficienty.

Výsledná aproximační lineární funkce investiční ceny jednotky s roční zpracovatelskou kapacitou nad 100 kt je:

$$y = 2,51x + 502,7 \quad (5.3),$$

respektive

$$C_{inv}^{MBÚ, >100} = 2,51K_{rok} + 502,7 \quad (5.4),$$

kde K_{rok} je opět plánovaná roční kapacita jednotky v [kt/rok] a $C_{inv}^{MBÚ, >100}$ je odhad investiční ceny v [mil.Kč].

Výsledná aproximační mocninná funkce investiční ceny pro celý rozsah kapacit je:

$$y = 32,618x^{0,6613} \quad (5.5),$$

respektive

$$C_{inv}^{MBÚ} = 32,618K_{rok}^{0,6613} \quad (5.6).$$

V praxi je často výhodnější nepoužívat explicitní formu vyjádření investičních nákladů v podobě rovnice 5.6, ale snadno odvoditelný tvar:

$$C_{2,inv}^{MBÚ} = C_{1,inv}^{MBÚ} \left(\frac{K_{2,rok}}{K_{1,rok}} \right)^{0,6613} \quad (5.7),$$

kde $K_{1,rok}$ je roční zpracovatelská kapacita a $C_{1,inv}^{MBÚ}$ je známá investiční cena již realizované jednotky. $K_{2,rok}$ je potom roční zpracovatelská kapacita uvažované jednotky a $C_{2,inv}^{MBÚ}$ je hledanou investiční cenou uvažované jednotky. Tento vztah je výhodný z toho důvodu, že umožňuje stanovení investiční ceny pouze z jedné dvojice hodnot investiční ceny a roční zpracovatelské kapacity známé jednotky. Tato jednotka pak může být výhodně zvolena tak, aby měla požadované vlastnosti jako jednotka uvažovaná, například:

- stejné stavební řešení (technologie umístěná v hale nebo na volné ploše),
- stejné technologické složení systému čištění spalin,
- stejné využití tepla uvolňovaného při spalování (kogenerace elektrické a tepelné energie, výroba čistě elektrické nebo tepelné energie, atd.),
- samotné spalovací zařízení stejné koncepce (rotační pec, roštový kotel),
- podobnou lokalitu výstavby.

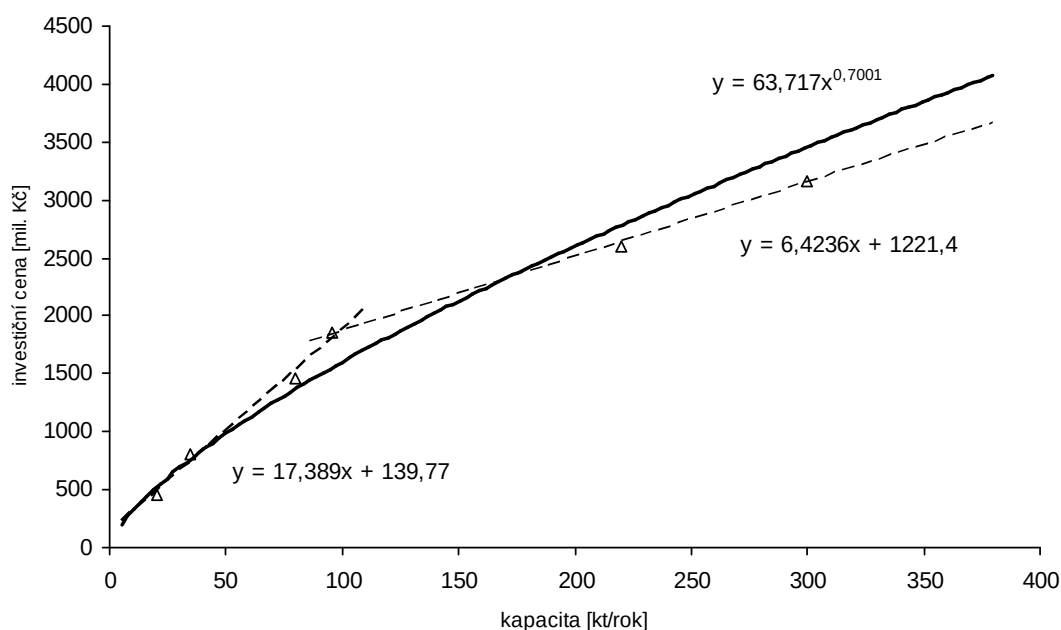
Obdobně je možné odvodit rovnice pro investiční ceny jednotek do 100 kt roční zpracovatelské kapacity odpadu (5.8) a nad 100 kt roční zpracovatelské kapacity odpadu (5.9), kdy jako aproximační funkce byla použita lineární funkce:

$$C_{2,inv}^{MBÚ,<100} = C_{1,inv}^{MBÚ,<100} + 7,8527(K_{2,rok} - K_{1,rok}) \quad (5.8),$$

$$C_{2,inv}^{MBÚ,>100} = C_{1,inv}^{MBÚ,>100} + 2,51(K_{2,rok} - K_{1,rok}) \quad (5.9).$$

5.2 INVESTIČNÍ NÁKLADY JEDNOTKY EV SKO

V obr. 5.2 jsou zpracována data z tabulky 5.2 týkající se investičních cen jednotek EV SKO a to za použití stejných principů a postupů jako v předcházející kapitole 1.1



Obr. 5.2 Závislost investičních nákladů jednotky EV SKO na roční zpracovatelské kapacitě

Regrese byla opět provedena celkem třemi způsoby:

- pomocí lineární funkce pro kapacitu jednotky do 100 kt/rok,
- pomocí lineární funkce pro kapacitu jednotky nad 100 kt/rok,
- pomocí mocninné funkce pro celý kapacitní rozsah.

Výsledná aproximační lineární funkce investiční ceny jednotky s roční zpracovatelskou kapacitou do 100 kt je:

$$y = 17,389x + 139,77 \quad (5.10),$$

respektive

$$C_{inv}^{EV,<100} = 17,389K_{rok} + 139,77 \quad (5.11).$$

Výsledná aproximační lineární funkce investiční ceny jednotky s roční zpracovatelskou kapacitou nad 100 kt je:

$$y = 6,42361x + 1221,4 \quad (5.12),$$

respektive

$$C_{inv}^{EV,>100} = 6,42361K_{rok} + 1221,4 \quad (5.13),$$

kde K_{rok} je opět plánovaná roční kapacita jednotky v [kt] a $C_{inv}^{SKO,>100}$ je odhad investiční ceny v [mil.Kč].

Výsledná aproximační mocninná funkce investiční ceny pro celý rozsah zpracovatelských kapacit je:

$$y = 63,717x^{0,7001} \quad (5.14),$$

respektive

$$C_{inv}^{EV} = 63,717K_{rok}^{0,7001} \quad (5.15),$$

ze které po odvození získáme rovnici ve tvaru:

$$C_{2,inv}^{EV} = C_{1,inv}^{EV} \left(\frac{K_{2,rok}}{K_{1,rok}} \right)^{0,7001} \quad (5.16),$$

kde $K_{1,rok}$ a $C_{1,inv}^{EV}$ je kapacita a investiční cena známé jednotky a $K_{2,rok}$ je kapacita uvažované jednotky. $C_{2,inv}^{EV}$ je potom hledanou investiční cenou.

Za povšimnutí stojí výsledná hodnota mocnitele v rovnici (5.15), které se relativně málo liší od hodnoty mocnitele v aproximační rovnici pro odhad investiční ceny jednotky MBÚ. Na základě tohoto výsledku je možné předpokládat, že investiční ceny jednotek obdobné technologické náročnosti budou na klíčovém parametru závislé vlivem hodnoty exponentu pohybujícího se v intervalu od 0,66 do 0,71. Volba mocnitele v rámci tohoto intervalu by potom měla zohledňovat technologickou a strojní náročnost uvažované zpracovatelské jednotky. Tento výrok je však pouhým předpokladem a jeho potvrzení není předmětem této práce.

5.3 REFERENČNÍ JEDNOTKA MBÚ

V současné době neexistuje v ČR realizovaná jednotka mechanicko-biologické úpravy SKO. Ačkoli v zahraničí (zejména v Německé spolkové a Rakouské spolkové republice) je proces MBÚ plně etablován a z hlediska investiční ceny je k dispozici mnoho dat, díky velkému počtu realizovaných jednotek, bylo nakonec přistoupeno k relativně přesnému odhadu investiční ceny formou poptávkového řízení. Jako technologie pro zpracování BRKO byl zvolen proces řízené AEF s nucenou aerací. Jednotka byla dimenzována s celkovou roční zpracovatelskou kapacitou mechanické části 60 kt SKO. Úměrně tomu byla dimenzována roční zpracovatelská kapacita biologické části 24 kt. To je dáno průměrnou koncentrací biologicky rozložitelné frakce v SKO, která se průměrně pohybuje okolo 40 % hm. [2,8].

Důvodů k volbě AEF jako technologii navázané na mechanickou část je více, ale z pohledu problematiky rozebírané v této kapitole je nejdůležitější fakt, že v tomto roce bude v dokončena kompostárna s roční zpracovatelskou kapacitou 6 kt BRO a dispozici tak je reálná referenční jednotka. Půjde o první kompostárnu v ČR, u které bude použit plně řízený proces AEF s nucenou aerací s takto vysokou roční zpracovatelskou kapacitou. Investiční cena činí 38 mil. Kč a díky její znalosti, je k dispozici velmi dobrá porovnávací hodnota pro prostředí ČR a daný typ technologie.

Za účelem zjištění celkové investiční ceny byla jednotka rozdělena na několik provozních souborů, pro které byla k dispozici data poskytnutá výrobcí příslušného zařízení:

- cena za strojní a technologické zařízení drticí a třídící linky,
- cena stavební části drticí a třídící linky s příslušnými skladovacími kapacitami,
- cena za strojní a technologické zařízení části AEF BRKO,
- cena stavební části AEF BRKO,
- cena administrativní budovy, potřebných manipulačních zpevněných ploch a dalšího zařízení (např. silniční váha).

V tabulce 5.3 jsou uvedeny investiční ceny jednotlivých celků ve formě stručného přehledu, tak jak byly poskytnuty výrobcí zařízení, nebo určeny odborným odhadem na základě „know how“ společnosti EVECO Brno.

investiční celek	cena [mil. Kč]
strojní a technologické vybavení - mechanická část	55,32
stavba – mechanická část	59,55
strojní a technologické vybavení – biologická část	19,11
stavba – biologická část	66,07
administrativní budova, komunikace, silniční váha atd.	17,95
investiční cena - celkem	218,00

Tabulka 5.3 Investiční náklady MBÚ se zpracovatelskou kapacitou 60 kt/r

Biologická část poptávané MBÚ jednotky však není ve své podstatě ničím jiným než samostatným zařízením na zpracování BRO technologií aerobní fermentace, tedy kompostárnou schopnou samostatné funkce. Investiční náklady biologické části tak mohou být porovnány s investičními náklady výše uvedené jednotky.

Cena biologické části činí 85,18 mil Kč. Pro porovnání této investiční ceny bude použita rovnice (5.7) odvozená z mocninné aproximační funkce s hodnotou mocnitele rovnou 0,67 (pozn. jednotka AEF není technologicky a strojně náročnou, a proto byl zvolen mocnitel blíže ke spodní hranici intervalu) a referenční investiční cena ve výši 38 mil. Kč (viz výše jednotka AEF s roční zpracovatelskou kapacitou 6 kt). Po dosazení do rovnice získáváme:

$$C_{2,inv}^{MBÚ} = C_{1,inv}^{MBÚ} \left(\frac{K_{2,rok}}{K_{1,rok}} \right)^{0,6613} = 38 * \left(\frac{24}{6} \right)^{0,6613} \approx 95,04 \text{ mil. Kč} \quad (5.17).$$

Přihlédneme-li ke skutečnosti, že k investičním nákladům čistě biologické části by měla být připočtena část investičních nákladů ze skupiny nákladů vynaložených na stavbu administrativní budovy, komunikací a dalšího vybavení, je shoda investiční ceny zjištěné z podkladů poskytnutých dodavateli s investiční cenou zjištěnou z rovnice (5.17) velmi dobrá.

Při odhadu ceny zařízení MBÚ pomocí dříve odvozených vztahů se však ukazuje cena získaná z dat dodavatelů a na základě odhadů jako příliš nízká. Po dosazení roční zpracovatelské kapacity do rovnic (5.2) a (5.6) dostáváme:

$$C_{inv}^{MBÚ, <100} = 7,8527 K_{rok} + 69,739 = 7,8527 * 60 + 69,739 \approx 540,90 \text{ mil. Kč} \quad (5.18),$$

$$C_{inv}^{MBÚ} = 32,618 K_{rok}^{0,6613} = 32,618 * 60^{0,6613} \approx 489,04 \text{ mil. Kč} \quad (5.19).$$

Za lepší odhad ceny lze v tomto případě považovat odhad pomocí lineárního vztahu. Takto velký rozdíl v celkové ceně zařízení MBÚ a jeho částí může být vysvětlen neuvážením ceny pozemků k výstavbě, ceny za výstavbu souvisejících komunikací, napojením na inženýrské sítě atd. Tyto faktory ovlivňující celkovou cenu mají lokální charakter a nelze je odhadnout bez znalosti místa výstavby.

Dalším podstatným vlivem na výši investiční ceny jsou náklady na čištění vzdušiny znečištěné plynnými produkty aerobní fermentace, např. limonenem a jinými různými těkavými uhlovodíky (VOC), převážně terpeny [29]. Na německých zařízeních MBÚ, která jsou zdrojem srovnávacích investičních cen, je v drtivé míře jako technologie čištění odcházející vzdušiny používána termická katalytická likvidace s regenerací nebo rekuperací tepla, což je technologie velmi investičně i provozně náročná. Přitom v poptané technologii použité biofiltry vykazují při likvidaci výše uvedených organických sloučenin velmi dobrou účinnost [29] a spolu s dobře vedeným aerobním procesem jsou schopny zajistit minimální emise VOC.

Dalším podstatným vlivem může být použití uzavřených kompostovacích hal v technologii biologické části, které je podstatně levnější než v Německu používané uzavřené aerobní boxy. Tyto jsou navíc schopné provozu jak v aerobním, tak anaerobním režimu. Produkovaný bioplyn je pak využíván v kogeneračních jednotkách, které jsou součástí technologie a tedy i investiční ceny. V návrhu jednotky je tedy přítomno - jak po technické tak i technologické stránce - mnoho stupňů volnosti, které mají vliv na výslednou investiční cenu.

Uvažovaná jednotka MBÚ tak za těchto okolností bude brána spíše jako rámcový příklad a její realizace by byla otázkou k dalšímu posouzení.

Nicméně bude přihlédnuto k nižším investičním nákladům jednotky MBÚ v případě, že technologií biologické části bude čistě AEF. V tomto případě budou investiční náklady uvažovány na úrovni 60 % investičních cen zjištěných pomocí aproximačních funkcí.

5.4 REFERENČNÍ JEDNOTKA JEDNOTKY EV SKO

Na rozdíl od MBÚ je spalování odpadu (resp. jeho termické zpracování či energetické využití) v ČR rozšířenější metodou nakládání s odpadem. V provozu je celkově 28 jednotek na termické zpracování odpadu [57]. Tyto jednotky jsou však převážně určeny ke zpracovávání průmyslového nebo nebezpečného odpadu a jejich roční zpracovatelská kapacita je malá a zpravidla nepřesahuje 10 kt. Jednotky určené pro zpracování SKO jsou v současné době provozovány tři. Jde o následující jednotky EV SKO:

- ZEVO Malešice s roční zpracovatelskou kapacitou 210 kt, přičemž v kontinuálním provozu jsou pouze dvě spalovací linky z celkových čtyř. V současné době probíhá rozšíření kogeneračního zařízení (parní kondenzační turbína), které umožní rozšíření roční zpracovatelské kapacity na 310 kt zapojením třetí spalovací linky do provozu [58].
- Termizo, a.s. Liberec s roční zpracovatelskou kapacitou 96 kt SKO v jedné spalovací lince [59].
- SAKO Brno, která v současné době prochází celkovými provozními zkouškami po rozsáhlé rekonstrukci, po jejímž dokončení bude roční zpracovatelská kapacita 220 kt ve dvou spalovacích linkách [60].

Situace je však do jisté míry komplikována relativním stářím všech jednotek a to zejména brněnské spalovny SAKO, která byla uvedena do provozu v roce 1984. Díky ukončení výstavby před více než 25 lety a navíc díky přelomovému roku 1989 je její investiční cena z pohledu dnešní doby silně zkreslená.

Pražská spalovna SKO ZEVO Malešice byla uvedena do provozu v roce 1998 a to po více než deseti letech od zahájení stavebních prací. Takto nestandardně dlouhá doba výstavby byla z velké části zapříčiněna změnou politického a ekonomického systému roce 1989 a přinesla mnohé průvodní jevy, u nichž lze s velkou pravděpodobností předpokládat negativní vliv na výši investičních prostředků. Z tohoto důvodu lze její investiční cenu považovat opět za nevypovídající.

Liberecká spalovna SKO TERMIZO je „nejmladší“ ze všech spaloven s rokem uvedení do provozu 1999. Vzhledem k její bezproblémové výstavbě v druhé polovině devadesátých let by tak její investiční cena mohla být brána za referenční.

Ve většině případů je však nezbytný přepočet známé investiční ceny na úroveň dnešních cen, nebo-li korekce vzhledem k inflaci. Inflace je vyjádřena jako přírůstek průměrného ročního indexu těchto cen. ČSÚ sleduje a publikuje mnoho různých skupin cenových indexů, z nichž z nás budou zajímat následující:

- Index cen stavebních prací a stavebních objektů (dále ICSP),
- Index cen průmyslových výrobců (dále ICPV),
- Index spotřebitelských cen (dále ISC).

Tabulka 5.4 udává míru inflace pro výše uvedené skupiny cen z období 1999 až 2009 [61], dále souhrnnou míru inflace za období 1999 až 2009 a konečně průměrnou roční míru inflace za uvedené období.

rok	ICSP	ICPV	ISC
1999	4,8	1,0	2,1
2000	4,1	4,9	3,9
2001	4,0	2,8	4,7
2002	2,7	-0,6	1,8
2003	2,2	-0,4	0,1
2004	3,7	5,5	2,8
2005	3,0	3,1	1,9
2006	2,9	1,5	2,5
2007	4,1	4,1	2,8
2008	4,5	4,5	6,3
2009	1,2	-3,1	1,0
celková míra inflace	44,09	25,00	34,12
průměrná míra inflace	3,38	2,05	2,70

Tabulka 5.4 Vývoj inflace za období 1999 až 2009

V tabulce 5.5 jsou uvedeny známé investiční ceny jednotlivých provozních celků jednotky EV SKO s kapacitou 100 kt/rok uvedené do provozu v roce 1999 v oblasti střední Evropy.

investiční celek	cena [mil. Kč]
stavba	447,43
turbína a generátor	33,45
čištění spalin	247,11
parní kotel	347,56
řídící systém, komunikace, videosystém	129,92
komíny, spalínovody	46,67
jeřáby, zvedací zařízení	27,91
kompresorová stanice	12,22
drtič odpadu	49,19
investiční cena - celkem	1 341,46

Tabulka 5.5 Investiční náklady jednotky EV SKO v roce 1999

Tabulka 5.6 uvádí investiční ceny jednotlivých celků ve formě stručného přehledu pro investiční ceny roku 1999 korigované pro rok 2008 pomocí celkové míry inflace. Přičemž pro investiční celek „stavba“ byla použita celková míra inflace vypočtená z růstu ICSP a pro ostatní celky byla použita celková míra inflace vypočtená z růstu ICPV.

investiční celek	cena [mil. Kč]
stavba	644,70
turbína a generátor	41,81
čištění spalin	308,89
parní kotel	434,45
řídící systém, komunikace, videosystém	162,40
komíny, spalínovody	58,34
jeřáby, zvedací zařízení	34,89
kompresorová stanice	15,28
drtič odpadu	61,49
investiční cena - celkem	1 762,25

Tabulka 5.6 Investiční náklady jednotky EV SKO pro rok 2009

Tuto investiční cenu je zapotřebí dále upravit o náklady spjaté s reinvesticemi do technologií, které by jinak bylo nezbytné (např. díky legislativním požadavkům) implementovat do celkové technologie kterékoli nově budované jednotky EV SKO. Z toho pohledu byla nejrozsáhlejší reinvesticí v roce 2003 úprava technologie čištění spalin. Tato akce si vyžádala reinvestici přibližně 70 mil. Kč. v cenových relacích roku 2003. Po korekci s použitím celkové míry inflace ICPV v období 2003 až 2009 je výsledná výše reinvestice přibližně 84 mil. Kč.

Závěrem této kapitoly lze tedy konstatovat, že jako referenční jednotka pro jednotku EV SKO budu nadále uvažována jednotka s roční zpracovatelskou kapacitou 96 kt a investičními náklady ve výši 1 850 mil. Kč.

Po dosazení dat referenční jednotky do rovnice (5.16) dostáváme obecně použitelnou rovnici:

$$C_{x,inv}^{EV} = C_{ref,inv}^{EV} \left(\frac{x}{K_{ref,rok}^{EV}} \right)^{0,7001} = 1850 * \left(\frac{x}{96} \right)^{0,7001} \quad (5.20),$$

kde x je roční zpracovatelská kapacita uvažované jednotky v kt a $C_{x,inv}^{EV}$ výsledná investiční cena v mil. Kč.

5.5 INVESTIČNÍ NÁKLADY JEDNOTKY EV SKO NÍZKÉ ROČNÍ ZPRACOVATELSKÉ KAPACITY

Investiční cena bývá často modelována pomocí lineární funkce pro celý rozsah ročních zpracovatelských kapacit [62]. Investiční cena jednotky je v tom případě závislá na dvou koeficientech lineární funkce, které lze interpretovat jako:

- koeficient fixních investičních nákladů a
- koeficient měrných nákladů.

Přičemž koeficient měrných nákladů se násobí veličinou odpovídající zamýšlené velikosti jednotky. Může to být mimo roční zpracovatelské kapacity např. i tepelný výkon kotle. Podstatnou nevýhodou tohoto modelu je relativně vysoké nadhodnocení investičních cen jednotek o malých zpracovatelských kapacitách, kdy největší nepřesnost způsobuje koeficient fixních investičních nákladů. Přitom právě malé jednotky a jejich posuzování jsou v dnešní době předmětem mnoha studií [62, 63]. Model používající pro vyjádření výše investiční ceny mocninou funkci tuto nevýhodu částečně kompenzuje. Avšak ani použití dvou lineárních funkcí pro dva rozsahy zpracovatelských kapacit (pro jednotky s roční zpracovatelskou kapacitou do 100 kt a pro jednotky s kapacitou nad 100 kt) není ideální.

Z průběhu investičních cen je totiž zřejmá pouze jedna významná změna v trendu růstu cen okolo roční zpracovatelské kapacity 100 kt, a to jak u jednotek EV SKO tak u jednotek MBÚ. Tato změna může mít následující příčiny:

- Požadavky kladené na měření a řízení, případně automatizaci jsou prakticky stejné, jak pro jednotky menších zpracovatelských kapacit, tak na jednotky větších kapacit. Soubor měření a řízení tak má prakticky stejnou investiční cenu pro menší i větší jednotky. Příkladem může být investice do automatického emisního monitoringu požadovaného legislativou, jehož provedení i cena nejsou závislé na kapacitě jednotky a projeví se tak relativně nepříznivěji u jednotek s menší kapacitou.
- Zařízení středních kapacit od 40 do 100 kt má velmi podobné nároky na personální obsazení. S tím souvisejí náklady na administrativní budovu a její vybavení. Opět se tedy relativně nepříznivěji projeví u jednotek s menší kapacitou.
- Zařízení s roční zpracovatelskou kapacitou nad 100 kt je možné koncipovat ve více spalovacích linkách. To znamená možnost aplikovat do jisté míry „sériovou výrobu“, která se odrazí v nižší konečné investiční ceně.
- Určité strojní celky musejí být dimenzovány stejně bez ohledu na kapacitu zařízení. Např. vyzdívka spalovací komory musí mít při stejné spalovací teplotě v komoře a při požadavku na shodnou povrchovou teplotu pláště spalovací komory pro jednotky všech kapacit stejnou tloušťku. To v důsledku znamená relativně vyšší investiční cenu spalovací komory pro jednotky s nižší kapacitou.

Existuje však předpoklad, že k významné změně trendu růstu cen dochází ještě jednou a to u jednotek malých výkonů s roční zpracovatelskou kapacitou do 30 kt, kdy cena těchto jednotek může být nižší, než u jednotek středního výkonu. Příčinou může být následující:

- Roční zpracovatelská kapacita 10 kt představuje tepelný výkon kotle okolo 3 MW v závislosti na výhřevnosti paliva. Kotle tohoto výkonu jsou na trhu běžně nabízeny jako sériové produkty s výrazně nižší cenou, než kotle pocházející z kusové výroby. Nejde sice přímo o kotle určené ke spalování SKO, ale o kotle spalující biomasu. V zásadě má však SKO velmi podobné palivové parametry jako biomasa. V případě, že by SKO prošel zpracováním v jednotce MBÚ, jeho granulometrie, výhřevnost a obsah vlhkosti by se blížil např. dřevní štěpce. Po doplnění jednotky o nezbytnou technologii čištění spalin tak mohou být tyto kotle plně použitelné.
- Malé jednotky s malým průtokem spalin a tedy i menšími hmotnostními průtoky znečišťujících složek umožňují přijetí technických řešení u větších jednotek nerealizovatelných. Např. síla sorbentů u nich mohou být představována přímo přepravními nádobami (přepravní pytle, tzv. „Big - Bag“).

Vhodné se tedy jeví provést v rámci budoucích prací kritické zhodnocení na trhu nabízených produktů pro malé roční zpracovatelské kapacity a vyhodnotit jejich možnosti z hlediska jejich využití pro EV SKO (pozn. v rámci kapitoly 4 byla jednotka malého výkonu podrobněji popsána). Na základě toho vyhodnocení by bylo také možné dále upřesnit modely investičních cen.

Na základě výše uvedených bodů je možné se domnívat, že ideální aproximační funkce by mohla mít podobu křivky tvaru písmene „S“ s inflexním bodem pro roční zpracovatelskou kapacitu okolo 50 kt. S předpokladem možnosti použití nových technologických jednotek určených ke spalování biomasy a kontaminované biomasy, které jsou v současnosti nabízeny společností EVECŮ Brno, a které byly prezentovány v [41]. K dispozici je několik jednotek, které by tak mohly být považovány za referenční. Jejich přehled je uveden v tabulce 5.7.

kapacita [kt/rok]	5	10	25
investiční cena [mil. Kč]	61	77,4	260

Tabulka 5.7 Předpokládaná výše investičních nákladů jednotek EV SKO s nízkou roční zpracovatelskou kapacitou

Jednotky uvedené v tabulce jsou vybaveny spalovací komorou s vrstvisuvným spalovacím roštem a recyklem spalin, parní turbínou nebo parním motorem pro generování elektrické energie a systémem čištění spalin implementací tzv. suché metody, která byla podrobně popsána v kapitole 4.2.5. Nabídkové investiční ceny byly navýšeny o odhadnutou cenu pozemků a stavebních prací pro výstavbu na „zelené“ louce. Ačkoli v případě realizace je možné vzhledem k velikosti umístit jednotky do již existujících hal bez větších potíží a dosáhnout nižších investičních nákladů, je nezbytné si uvědomit, že jednotky jsou vybaveny skladováním a dávkováním paliva v podobě biomasy (např. dřevní štěpky) a pravděpodobně by v této podobě nebyly schopné spalovat neupravený SKO. Proto byla cena skladování a dopravy paliva podstatně navýšena spolu s přidáním drtiče odpadu do rozpočtu. Pokud by by

byl SKO předem mechanicky upravený (podrcený), případně i biologicky stabilizovaný, lze se domnívat, že potřebné změny by byly minimální. Tabulka 5.8 uvádí stručný přehled očekávaných investičních nákladů jednotlivých.

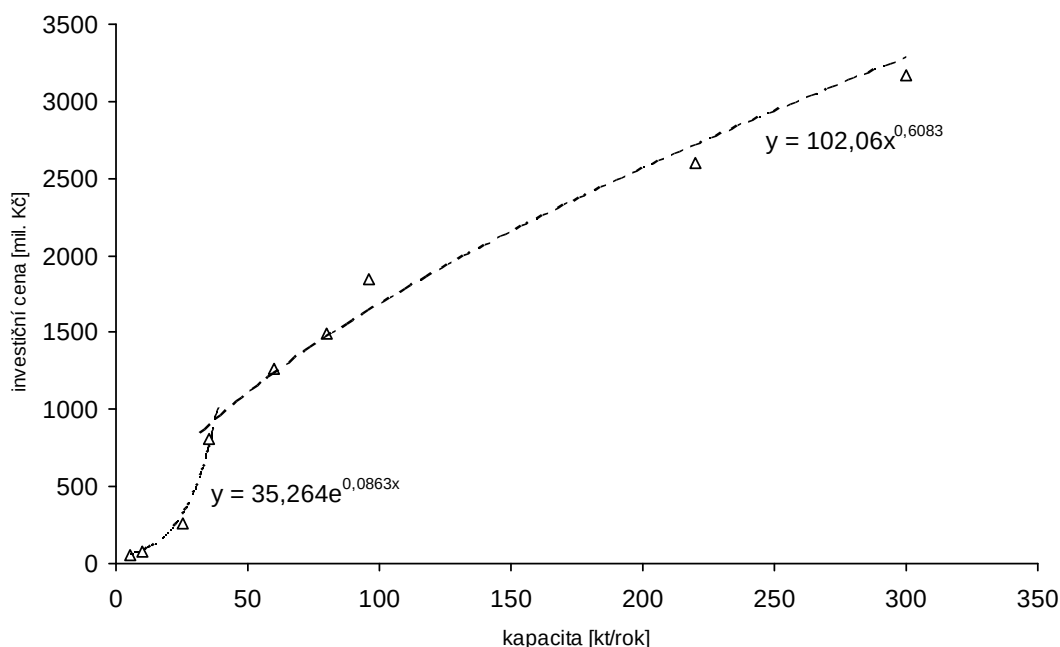
investiční celek	cena [mil. Kč]
skladování a doprava paliva	3,6
drtič odpadu	2,8
spalovací komora, kotel, pomocný hořák	5,8
parní motor, včetně příslušenství	9,5
teplovodní okruh, chlazení páry	3,4
hospodářství kondenzátu	1,6
pomocné provozy, úpravna napájecí vody, kompresorová stanice, úpravna tlakového vzduchu	2,1
doprava a skladování popela	3,8
čištění spalin	10,6
automatický monitoring emisí	9,0
doprava a skladování popílku	2,8
vzduchové a spalinové hospodářství, recykl spalin	1,9
silové elektrovybavení, měření řízení	5,6
stavba, základy, opláštěná hala	4,8
administrativní budova, váha, komunikace	10,4
investiční cena - celkem	77,4

Tabulka 5.8 Investiční náklady jednotky EV SKO s roční zpracovatelskou kapacitou 10 kt

Značný skok v investiční ceně u jednotky s roční zpracovatelskou kapacitou 25 kt je daný orientací na generování elektrické energie. Přičemž generovaná pára má tlak 4 Mpa a je přehřátá na 440 °C. Turbína je potom uvažována kondenzační vícestupňová s akčním regulačním stupněm a reakčním lopatkováním. Tím je také dána relativně velmi vysoká míra generované elektrické energie na 1 t paliva na úrovni 530 kWh. Jak je později podrobně popsáno v kapitole 6.8, odpovídá tato úroveň vnitřní termodynamické účinnosti turbíny 70 %, což je pro jednotku této velikosti a výkonu relativně vysoká hodnota. Zároveň je však tato hodnota vnitřní termodynamické účinnosti vykoupena vysokou investiční cenou turbíny a kotle. Ten musí být uzpůsoben na výrobu páry o vyšším tlaku a teplotě oproti jednotce s roční zpracovatelskou kapacitou 10 kt, jejíž kotel vyrábí páru o tlaku 2 MPa a teplotě 260 °C. Vybavena je parním motorem, jehož vnitřní termodynamická účinnost je 60 %. To je relativně vysoká hodnota ve srovnání s turbínou (točivou redukcí) pro tyto výkony, jejíž maximální vnitřní termodynamická účinnost se pohybuje okolo 30 % [64]. Vyšší cena parního motoru je v tomto případě kompenzována nižší cenou kotle, který nemusí produkovat páru o vysokém tlaku.

Hlavní účel jednotek s kapacitou pod 20 kt však spočívá spíše ve výrobě tepla. Samotná problematika ekonomicky optimálního kogeneračního systému je velmi široká a není náplní této práce. Lze však odkázat na práce jiných autorů např. [65, 66]

Obr. 5.3 kombinuje data z tabulek 5.2 a 5.7, přičemž je vynechána jednotka o roční zpracovatelské kapacitě 20 kt z tabulky 5.2. Důvodem pro její vyřazení je její určení pro spalování nebezpečného odpadu, což oproti jednotce EV SKO znamená zvýšené investiční náklady.



Obr. 5.3 Závislost investičních nákladů jednotky EV SKO na roční zpracovatelské kapacitě s vlivem jednotek nízkých kapacit

Data týkající se investičních cen byla rozdělena do dvou skupin a to pro:

- jednotky s roční zpracovatelskou kapacitou do 35 kt,
- jednotky s roční zpracovatelskou kapacitou nad 35 kt.

Pro tyto dvě skupiny byla zvlášť provedena regrese za pomoci rozdílných funkcí tak, aby výsledné aproximační funkce na sebe co nejvíce navazovaly. V případě potřeby by bylo možné zajistit spojitost a hladkost těchto funkcí využitím „spline“, avšak pro další práce budou použity výsledné funkce bez zajištění hladkého přechodu mezi nimi.

Pro oblast ročních zpracovatelských kapacit nad 35 kt má aproximační funkce mocninný tvar:

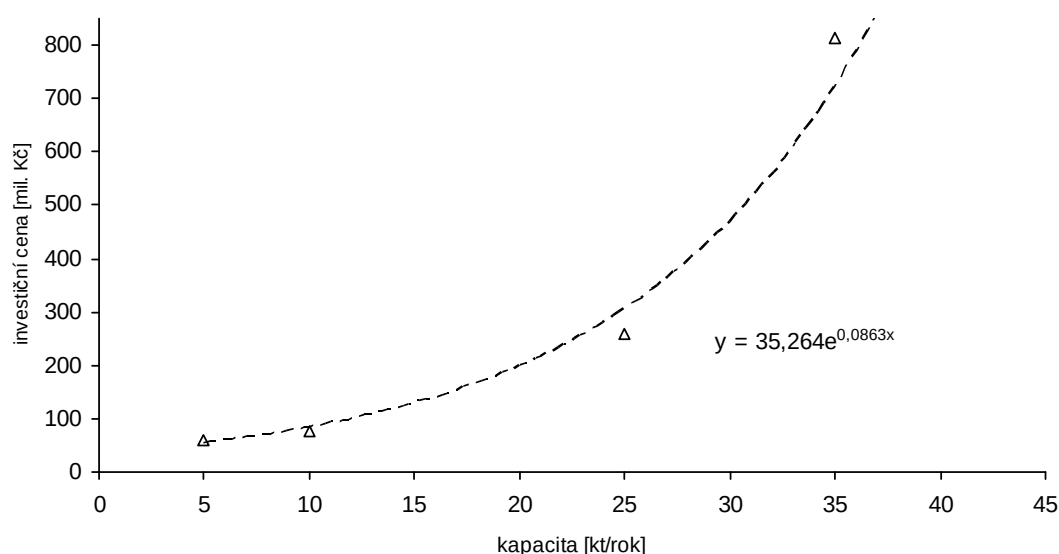
$$y = 102,06 * x^{0,6083} \quad (5.21),$$

respektive

$$C_{inv}^{EV,>35} = 102,06 * K_{rok}^{0,6083} \quad (5.22),$$

kde K_{rok} je plánovaná roční kapacita jednotky v [kt] a $C_{inv}^{EV,>35}$ je odhad investiční ceny jednotky v [mil.Kč] s kapacitou vyšší než 35 kt.

Obr. 5.4 v detailu uvádí přehled dat z tabulky 5.7 spolu s výslednou regresní funkcí.



Obr. 5.4 Závislost investičních nákladů malých jednotek EV SKO na roční zpracovatelské kapacitě

Jako aproximační funkce investiční ceny jednotek s roční zpracovatelskou kapacitou do 50 kt byla použita exponenciální funkce, přičemž její výsledný tvar je:

$$y = 35,264 * e^{0,0863 * x} \quad (5.23),$$

Očekávanou investiční cenu jednotky EV SKO s celkovou roční zpracovatelskou kapacitou do 35 kt lze tedy odhadnout pomocí následujícího vztahu:

$$C_{inv}^{EV, <35} = 35,264 * e^{0,0863 * K_{rok}} \quad (5.24),$$

kde K_{rok} je plánovaná roční kapacita jednotky v [kt] a $C_{inv}^{EV, <35}$ je odhad investiční ceny v [mil.Kč].

Výsledná exponenciální rovnice dobře zapadá do konceptu závislosti investiční ceny na kapacitě ve tvaru S-křivky. Relativně nízký nárůst cen jednotek malých kapacit (způsobený sériovou výrobou komponent a možností aplikace technicky a technologicky méně náročných řešení) pokračuje prudkým růstem cen způsobeným nutností kusové výroby aparátů a použití technických a technologických řešení shodných s jednotkou velkých kapacit. S následně se zvyšující se kapacitou jednotky je tento nárůst kompenzován velikostí zařízení a následně opět možností úspory investičních nákladů vlivem výstavby více shodných linek a dalšími možnostmi snižování investičních nákladů.

5.6 INVESTIČNÍ NÁKLADY JEDNOTKY MBÚ NÍZKÉ ROČNÍ ZPRACOVATELSKÉ KAPACITY

Bohužel pro provedení podobného odhadu závislosti investiční ceny pro jednotky MBÚ nízkých kapacit je komplikováno nedostatkem relevantních dat. Podobně jako u jednotek EV SKO by bylo vhodné provedení kritického posouzení investičních cen a možností jednotek nízkých kapacit. Lze však přepokládat, že průběh závislosti investičních nákladů na roční zpracovatelské kapacitě bude mít kvalitativně podobný průběh

Cena jednotek nízkých ročních zpracovatelských kapacit byla odhadnuta pomocí známé investiční ceny (tabulka 5.1) jednotky s kapacitou 20 kt. K jejich odhadu byla použita exponenciální funkce ve tvaru:

$$y = a * e^{b*x} \quad (5.25),$$

přičemž koeficient a , který lze do jisté míry považovat za fixní část investičních nákladů, byl určen pomocí odpovídajícího koeficientu z výsledné rovnice (5.24) pro odhad cen jednotek EV SKO nízkých kapacit. Ten byl následně snížen na 65 % k zohlednění obecně nižších měrných nákladů technologie MBÚ.

Koeficient by potom byl pomocí známé investiční ceny $C_{inv,20kt}^{MBÚ}$ pro jednotku MBÚ s roční zpracovatelskou kapacitou 20 kt určen takto:

$$b = \ln\left(\frac{C_{inv}^{MBÚ}}{a}\right) * \frac{1}{K_{rok}} = \ln\left(\frac{195}{0,65 * 35,26}\right) * \frac{1}{20} \approx 0,1074 \quad (5.26).$$

Výslednou aproximační funkcí pro odhad cen jednotek MBÚ malých ročních zpracovatelských kapacit do 30 kt SKO je exponenciální rovnice ve tvaru:

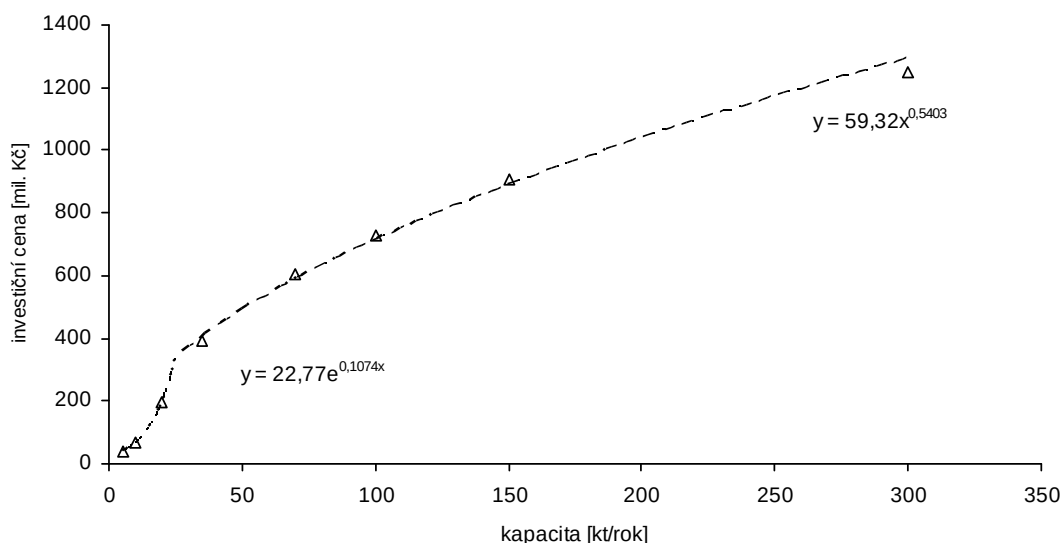
$$C_{inv}^{MBÚ, <30} = 22,77 * e^{0,1074 * K_{rok}} \quad (5.27),$$

kde K_{rok} je plánovaná roční kapacita malé jednotky MBÚ v [kt] a $C_{inv}^{MBÚ, <30}$ je odhad investiční ceny v [mil.Kč].

Data z tabulky 1.1 byla nově zpracována do podoby obr. 5.5, přičemž byla rozdělena do dvou skupin a to pro:

- investiční náklady jednotek s roční zpracovatelskou kapacitou do 30 kt,
- investiční náklady jednotek s roční zpracovatelskou kapacitou nad 30 kt.

Pro tyto dvě skupiny byla zvlášť provedena regrese za pomocí rozdílných funkcí tak, aby výsledné aproximační funkce na sebe co nejvíce navazovaly, ale bez zajištění hladkého přechodu mezi nimi.



Obr. 5.5 Závislost investičních nákladů jednotky MBÚ na roční zpracovatelské kapacitě s vlivem jednotek nízkých kapacit

Aproximační funkce investičních nákladů jednotek MBÚ s kapacitou nad 30 kt ročně má nyní tvar:

$$C_{inv}^{MBÚ, >30} = 59,32 * K_{rok}^{0,5403} \quad (5.28),$$

kde K_{rok} je plánovaná roční kapacita jednotky v [kt] a $C_{inv}^{MBÚ >30}$ je odhad investiční ceny jednotky v [mil.Kč] s kapacitou vyšší než 30 kt.

V případě, že jednotka MBÚ bude vybavena pouze technologií AEF, potom budou investiční náklady zjištěné z rovnic (5.27) a (5.28) násobeny koeficientem 0,7. Tím bude zohledněna nižší investiční náročnost této technologie. Výsledné rovnice jsou uvedeny v tab. 5.9, jde o rovnice (5.29) a (5.30)

Tabulka 5.9 uvádí přehled výsledných vztahů pro výpočet investičních cen jednotek MBÚ a jednotek EV SKO. Vztahy uvedené v tabulce budou přednostně použity pro další účely této práce.

Investiční cena			
jednotky MBÚ	do 30 kt/rok	$C_{inv}^{MBÚ, <30} = 22,77 * e^{0,1074 * K_{rok}}$	(5.27)
	nad 30 kt/rok	$C_{inv}^{MBÚ, >30} = 59,32 * K_{rok}^{0,5403}$	(5.28)
MBÚ čistě s AEF	do 30 kt/rok	$C_{inv}^{MBÚ, AEF <30} = 13,662 * e^{0,1074 * K_{rok}}$	(5.29)
	nad 30 kt/rok	$C_{inv}^{MBÚ, AEF >30} = 35,592 * K_{rok}^{0,5403}$	(5.30)
jednotky EV SKO o kapacitě	do 35 kt/rok	$C_{inv}^{EV, <35} = 35,264 * e^{0,0863 * K_{rok}}$	(5.24)
	nad 35 kt/rok	$C_{inv}^{EV, >35} = 102,06 * K_{rok}^{0,6083}$	(5.22)

Tabulka 5.9 Přehled rovnic použitých pro výpočet investičních cen jednotky EV SKO a jednotky MBÚ

6 STANOVENÍ NÁKLADŮ A PŘÍJMŮ

Správná volba zpracovatelské kapacity je klíčová z hlediska ekonomické realizovatelnosti celého projektu. Jednotka, jejíž kapacita byla zvolena jako malá, znamená ušlou příležitost. Jednotka s příliš velkou kapacitou potom znamená ohrožení celého projektu a ekonomické problémy díky vysokým investičním i provozním nákladům.

Náklady spojené s dopravou zpracovávaného materiálu mohou tvořit podstatnou část zpracovatelských nákladů. V podmínkách ČR jsou náklady spojené s dopravou převážně přímo nesený původcem odpadu a nejsou součástí poplatku za příjem odpadu ke zpracování (např. jednotkou EV SKO). Jak bude ukázáno později, účelové spojení nákladů na dopravu a za konečné zpracování odpadu přitom může být přínosné zlepšením ekonomické bilance projektu.

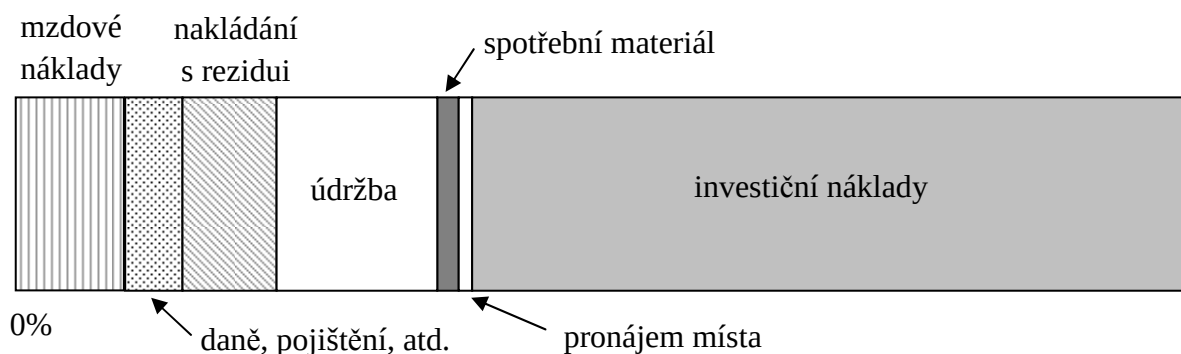
Pro zahrnutí nákladů na dopravu do celkové rozvahy je nezbytné uvážit alespoň ty nejdůležitější náklady spojené se zpracováním odpadu. Pro demonstraci principů bude tato práce dále používat jako příklad jednotku EV SKO a jednotku MBÚ, nicméně uváděné principy lze považovat za obecné a lze je aplikovat i na jiné druhy technologií zpracování odpadu, ať už to je anaerobní fermentace nebo pyrolýza.

Obr 6.1 [67] zobrazuje příjmy a výdaje blíže nespecifikované německé jednotky EV SKO. Jsou z něho zřejmé jednotlivé typy výdajů a příjmů, které mohou být opět považovány za obecné pro všechny typy technologií zpracování odpadů. Procentuální zastoupení jednotlivých skupin nákladů a příjmů však už není možné brát obecně. Zastoupení skupin musí být chápáno jako proměnlivé a závislé na různých faktorech, jako např.:

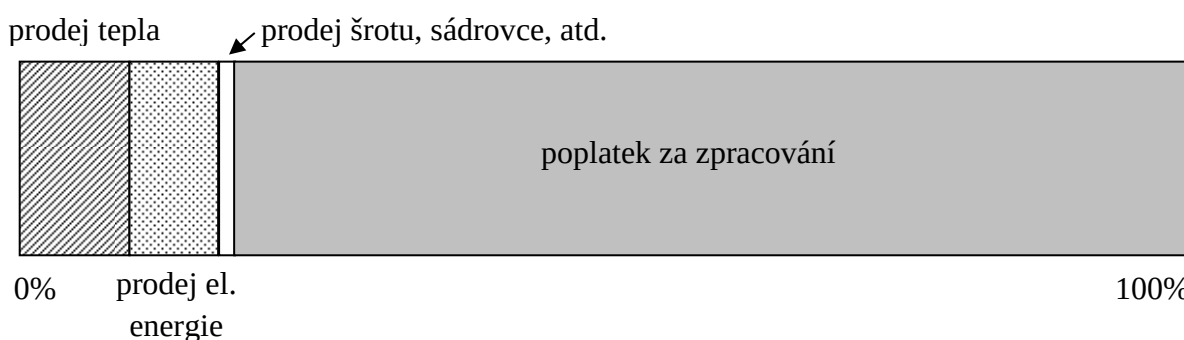
- kapacita jednotky,
- technologická skladba jednotky,
- stavební a architektonické provedení jednotky,
- způsob nakládání s výstupy (škvára, popílek atd.) z technologie (prodej jako druhotná surovina, uložení na skládku apod.)

Stojí za povšimnutí, že v nákladech jednotky EV SKO není zahrnuta doprava zpracovávaného odpadu do místa jednotky EV SKO, jak již bylo zmíněno výše, která s ním neuvažuje. Z hlediska celkových nákladů na zpracování odpadu a zejména pak z hlediska producenta odpadu, který se odpadu potřebuje zbavit, však tato položka není zanedbatelná, naopak. V následujících kapitolách je proto tato problematika blíže diskutována spolu s ostatními skupinami nákladů. Pro další postup práce je zároveň nezbytné vyjádřit výši jednotlivých skupin nákladů v závislosti na klíčových parametrech jednotky, jsou-li náklady na těchto parametrech závislé. V našem případě jednotky EV SKO a jednotky MBÚ je tímto klíčovým parametrem roční zpracovatelská kapacita jednotky.

VÝDAJE



PŘÍJMY



Obr. 6.1 Výdaje a příjmy jednotky EV SKO s využitím odpadního tepla[67]

Protože cílem práce není zevrubné ekonomické posouzení, ale spíše demonstrace principů a vyvození obecnějších doporučení (vhodných pro kvalifikovaný odhad a predikci), jsou zavedeny následující předpoklady:

- Nemí uvažován vývoj cen v čase. Je tedy zanedbána inflace a ceny jsou fixovány k roku 2010.
- Nemí uvažována ušlá příležitost vloženého kapitálu, je tedy zanedbána diskontní sazba.
- Je uvažováno, že náklady na financování realizace projektu jsou na jeho počátku k dispozici v plné výši. Neexistují tedy náklady ve formě úroků z půjčky. V případě potřeby lze toto zohlednit navýšením investiční ceny o určitý podíl daný úrokem a celkovou dobou splácení.

Velmi podrobně se provozem jednotek zpracování SKO po ekonomické i technické stránce zabývá publikace [54].

6.1 INVESTIČNÍ NÁKLADY

Investiční náklady jako nejpodstatnější skupina nákladů byly podrobněji rozebrány v přecházející kapitole 5. Pro rekapitulaci uveďme, že k vyjádření závislosti výše investičních nákladů jednotky EV SKO na roční zpracovatelské kapacitě budou použity rovnice (5.22) a (5.24) pro rozsah kapacit ve tvaru:

- do 35 kt

$$C_{inv}^{EV,<35} = 35,264 * e^{0,0863 * K_{rok}} \quad (5.24),$$

- nad 35 kt

$$C_{inv}^{EV,>35} = 102,06 * K_{rok}^{0,6083} \quad (5.22),$$

kde K_{rok} jsou roční zpracovatelské kapacity dosazované v [kt] a C_{inv}^{EV} jsou výsledné investiční náklady v [mil. Kč].

Pro určení výše investičních nákladů jednotky MBÚ v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě budou použity rovnice (5.27), (5.28), (5.29) a (5.30) pro rozsah kapacit ve tvaru:

- do 30 kt

$$C_{inv}^{MBÚ,<30} = 22,77 * e^{0,1074 * K_{rok}} \quad (5.27),$$

čistě a AEF

$$C_{inv}^{MBÚ,AEF<30} = 13,662 * e^{0,1074 * K_{rok}} \quad (5.29),$$

- nad 30 kt

$$C_{inv}^{MBÚ,>30} = 59,32 * K_{rok}^{0,5403} \quad (5.28),$$

čistě s AEF

$$C_{inv}^{MBÚ,AEF>30} = 35,592 * K_{rok}^{0,5403} \quad (5.30),$$

kde K_{rok} jsou roční zpracovatelské kapacity dosazované v [kt] a $C_{inv}^{MBÚ}$ jsou výsledné investiční náklady v [mil. Kč].

6.2 EFEKTIVNÍ ŽIVOTNOST JEDNOTKY

Životnost jednotky zcela zásadně ovlivňuje celkové množství jednotkou zpracovaného odpadu, které má samozřejmě zásadní dopad na ekonomiku provozu. Obvykle je doba životnosti strojních technologií projektována na dobu v rozmezí 20 až 25 let. Přesněji řečeno životnost jednotky je projektována shodně s životností klíčových aparátů (např. v případě jednotky EV SKO se jedná o kotel). V případě závažné poruchy těchto aparátů jsou nezbytné opravy obvykle natolik rozsáhlé a finančně náročné, že se nevyplátí a často je výhodnější s přihlédnutím k dalším faktorům vybudování nové jednotky.

Na druhou stranu střední doba do poruchy většiny jednotlivých součástí technologie nepřekračuje celkovou plánovanou životnost jednotky a jejich oprava je tak běžně uvažována v průběhu celé životnosti. Avšak s přibývajícím věkem jednotky přibývá jak více poruch, co

se týká četnosti, tak i více poruch majících dopad na celkový provoz jednotky, respektive na její odstávky.

Náklady na údržbu jednotky tedy obecně s jejím věkem rostou, více se projevují na jejím chodu a tedy i na výsledné skutečné kapacitě. Tabulka 6.1 ukazuje očekávaný skutečný roční pracovní fond pro referenční jednotku s návrhovou kapacitou 96 kt/r v závislosti na stáří provozu jednotky, skutečnou roční zpracovatelskou kapacitu, výslednou celkovou skutečnou zpracovatelskou kapacitu a efektivní životnost jednotky z hlediska plánované roční zpracovatelské kapacity.

rok provozu	1.	2. až 10.	11. až 15.	16. až 20.	20. až 24.
skutečný roční pracovní fond [hod]	4 800	8 000	7 636	7 273	6 545
skutečná roční zpracovatelská kapacita [kt]	58	96	92	87	79
skutečná celková zpracovatelská kapacita [kt]	2 130				
efektivní životnost jednotky	22,2 rok 92,5 % z plánované životnosti				

Tabulka 6.1 Skutečná celková zpracovatelská kapacita jednotky EV SKO

Během prvního roku provozu je realizován u každé nové jednotky zkušební provoz, který je poznamenán častějšími odstávkami a provozem s nižší hodinovou zpracovatelskou kapacitou, proto je uvažováno s využitím plánované kapacity v 60 %.

Během druhého až desátého roku provozu se nachází jednotka v optimálním stavu, kdy jsou vyřešeny případné počáteční provozní problémy a zároveň se ještě nepříznivě neprojevuje stáří jednotky.

V následujících pětiletých obdobích potom postupně dochází vlivem stáří jednotlivých provozních celků k nutným delším odstávkám. Ty však nemusí být nezbytně dány jen opravami porouchaných součástí, ale také úpravami technologie danými např. novými legislativními požadavky, které mohou nově vstoupit v platnost během života jednotky a jsou natolik rozsáhlé, že si vyžadují odstávku delší než běžně plánovanou.

Efektivní životnost jednotky MBÚ je v důsledku kratších časových úseků nezbytných k odstavení a najetí technologie delší. Není nutné čekat na vychladnutí technologie a její opětovné zahřátí na provozní teplotu. Navíc provoz jednotky není koncipovaný jako nepřetržitý, takže plánovaná údržba může prováděna v době klidu jednotky.

Tabulka 6.2 ukazuje očekávaný roční pracovní fond jednotky MBÚ, přičemž okolnosti omezující roční pracovní fond jsou stejné jako u jednotky EV SKO s výjimkou vyloučení vlivu předpokládaných legislativních změn. Ty mohou samozřejmě také jednotku MBÚ ovlivnit, ale vzhledem k povaze technologie MBÚ a oddělení mechanické a biologické části, si případné úpravy a zásahy nevyžadují dlouhodobé odstávky. Také omezení pracovního fondu dané zkušebním provozem během prvního roku bude menší.

rok provozu	1.	2. až 10.	11. až 15.	16. až 20.	20. až 24.
skutečný roční pracovní fond [hod]	4 243	4 992	4 800	4 704	4 416
skutečná roční zpracovatelská kapacita [kt]	51	60	58	57	53
skutečná celková zpracovatelská kapacita [kt]	1 375				
efektivní životnost jednotky			22,9	rok	
			95,5	% z plánované životnosti	

Tabulka 6.2 Skutečná celková zpracovatelská kapacita jednotky MBÚ

6.3 NÁKLADY NA ÚDRŽBU

Náklady na údržbu jsou po investičních nákladech často druhou největší skupinou nákladů. Jak již bylo rozebráno v předchozí kapitole, veškeré strojní součásti podléhají opotřebení, ať už jde o opotřebení vlivem mechanických, fyzikálních nebo chemických procesů a nezbytná je tedy jejich údržba.

Jako v jiných technických oborech mívá zpravidla každá jednotka EV SKO zaveden systém údržby, který lze zjednodušeně rozdělit do dvou základních prvků:

- pravidelné periodické opravy a
- opravy nepravidelné - nahodilé.

Přičemž druhá kategorie oprav by se dala také označit za tzv. systém oprav po poruše. Do této kategorie by měly být zahrnuty opravy neklíčových strojních a technologických zařízení, které neohrozí významným způsobem chod jednotky EV SKO jako celku. Příkladem takovéto opravy může být výměna sedla u ventilu na rozvodech běžné užitkové vody.

Systém opravy po poruše by měl být vyloučen u důležitých součástí technologie, jejichž selhání by znamenalo přerušení chodu celé jednotky a tím i ekonomické ohrožení provozu. Porucha znamenající neplánované přerušení provozu jednotky může totiž znamenat nesplnění smluvních závazků vůči dodavatelům či odběratelům a významně zvyšuje riziko jejich odchodu ke konkurenci. Údržba důležitých celků musí být vždy pečlivě připravována a časově plánována na nejvíce vhodnou část roku.

U těchto důležitých celků by zároveň měla být už ve fázi projektového plánování výstavby pečlivě zvážena spolehlivost jednotlivých elementů ve vztahu k jejich investiční ceně. Spolehlivost jednotlivé součásti pak může být zvýšena, jak použitím spolehlivější samotné součásti, tak zálohováním její funkce paralelním zdvojením součásti. Existuje tedy přímá vazba mezi výši investičních nákladů a nákladů na údržbu, kdy zvýšené investiční náklady mohou znamenat nižší náklady na údržbu a naopak. Optimalizace toho vztahu je potom samostatnou rozsáhlou problematikou, která není náplní této disertační práce. Problematika tak bude řešena na základě empirických zkušeností a přiměřeně zjednodušena.

Na základě praktických zkušeností (používaných např. pro vytváření znalostní báze expertních systémů společností EVECO Brno) byla sestavena tabulka 6.3, která udává roční náklady na údržbu v procentech z celkové investiční ceny v závislosti na celkovém stáří

jednotky EV SKO. Náklady na údržbu jsou v tabulce dále rozděleny zvlášť na náklady na údržbu stavební části a údržbu strojní části.

rok	1.	2.	3.	4.	5.	6.
stavební část [%]	0,05	0,03	0,10	0,10	0,30	3,00
strojní část [%]	0,20	0,20	1,50	0,80	0,80	6,00
rok	7.	8.	9.	10.	11.	12.
stavební část [%]	0,30	0,35	0,35	5,00	0,20	0,35
strojní část [%]	0,90	1,00	4,00	0,90	1,00	10,00
rok	13.	14.	15.	16.	17.	18.
stavební část [%]	0,40	0,40	4,00	0,40	0,40	1,00
strojní část [%]	1,00	1,20	4,00	1,50	2,00	15,00
rok	19.	20.	21.	22.	23.	24.
stavební část [%]	0,50	6,00	0,50	0,50	0,60	0,60
strojní část [%]	3,00	3,50	8,00	4,00	5,00	6,00

Tabulka 6.3 Roční procentuální výše nákladů na údržbu jednotky EV SKO

V tabulce 6.3 jsou zohledněny následující body, přičemž je lze považovat za obecně platné i pro ostatní technologie zpracování SKO:

- Perioda plánovaných oprav menšího rozsahu strojní části je 3 roky.
- Perioda plánovaných oprav většího rozsahu strojní části je 6 roků.
- Perioda plánovaných oprav menšího rozsahu stavební části je 5 roků.
- Perioda plánovaných oprav většího rozsahu stavební části je 10 roků.
- Náklady na údržbu rostou s rostoucím „věkem“ jednotky a to pro strojní i stavební část.
- Během prvních 2 roků provozu jednotky EV SKO běží obvyklé záruční lhůty strojního zařízení, což znamená nižší náklady na údržbu.
- Během prvních 5 roků provozu jednotky EV SKO běží obvyklé záruční lhůty stavby, což znamená nižší náklady na údržbu.
- Náklady na údržbu stavební části jsou obecně nižší, než náklady na údržbu strojní části. To je dáno tím, že hlavní prvky stavby, jako jsou např. železobetonové a ocelové konstrukce, nosné zdi a základy, které představují hlavní část investičních nákladů stavby, mají obecně životnost delší než je životnost celé jednotky a nevyžadují během ní významné opravy.
- Za dobu životnosti jednotky se tedy u stavební části počítá s opravou nátěrů, fasád, dlažeb, střech a dále s běžnými opravami v interiérech (sanitární technika, rozvody vody a elektřiny nesouvisející se strojní částí, atd.).

Tabulka 6.4 shrnuje celkové náklady na údržbu na příkladu referenční jednotky, kterou je jednotka EV SKO s roční zpracovatelskou kapacitou 96 kt. Po sečtení nákladů na údržbu strojní a stavební části během uvažované životnosti 24 let dostáváme:

náklady na údržbu během životnosti jednotky	[%] z dané části investiční ceny	[mil Kč]	[%] z celkové investiční ceny
stavební část	25,43	163,95	68,5
strojní část	91,50	1 104,91	
investiční náklady	[mil. Kč]		
stavební část	644,70		
strojní část	1 207,55		

Tabulka 6.4 Výše nákladů na údržbu referenční jednotky EV SKO

6.4 REINVESTICE

Nedílnou součástí péče o technologii jsou reinvestice. Reinvestice jsou do jisté míry zvláštním případem údržby a často je velmi obtížné oba případy odlišit. Reinvestice lze definovat jako úplné nahrazení součástí součástí novou. Typickým příkladem je výměna filtračních rukávů. Dále lze reinvestice chápat jako jakékoli rozšíření technologie o nový investiční celek. Toto rozšíření může mít různé důvody:

- úprava technologie z důvodu dosažení vyšší efektivity provozu oproti původnímu stavu (např. výměna ventilátoru regulovaného škrticí klapkou ventilátorem s otáčkami řízenými frekvenčním měničem),
- změnou požadavků odběratelů (např. náhrada protitlaké turbíny za kondenzační),
- změnou legislativních požadavků na provoz jednotky (např. investice do katalytického odstraňování oxidů dusíku - SCR).

Tabulka 6.5 uvádí přehled očekávaných reinvestic do technologie jednotky EV SKO spolu s očekávanou investiční náročností a periodou reinvestice, vše je uvedeno pro referenční jednotku o roční zpracovatelské kapacitě 100 kt SKO o technologickém složení, jak bylo uvedeno v kapitole 4.

kapacita [kt/rok]	perioda reinvestice [rok]	náklady [mil. Kč]	celková reinvestice za dobu životnosti [mil. Kč]
filtrační elementy	6	25	75
látkový filtr	10	28	56
multicyklon	8	15	30
přehřívák kotle	7	35	105
celkem reinvestice			266

Tabulka 6.5 Reinvestice referenční jednotky EV SKO

Tabulka zohledňuje pouze nezbytné reinvestice dané technickým a technologickým řešením jednotky EV SKO. Nahrazovány tak jsou celky podléhající velkému mechanickému namáhání částicemi polévatého prachu, to v případě filtračních rukávů, mechanického odlučovače (multicyklon) a tělesa látkového filtru. Popř. vysokému chemickému namáhání v případě teplosměnných ploch přehříváku podléhajícím vysokoteplotní chloridové korozi. Při znalosti nákladů na běžnou údržbu a výše reinvestic tak můžeme stanovit celkové náklady na údržbu a reinvestice, které shrnuje tabulka 6.6.

náklady na údržbu a reinvestice během životnosti jednotky	[%] z celkové investiční ceny	[mil Kč]	[%] celkově z investiční ceny
údržba	68,50	1 268,86	82,86
reinvestice	14,36	266,00	
investiční náklady	[mil. Kč]		
stavební část	644,70		
strojní část	1 207,55		

Tabulka 6.6 Celkové náklady na údržbu a reinvestice referenční jednotky EV SKO

S uvážením faktu, že do reinvestic nebyly zahrnuty jakékoli akce vyžádané změnou legislativy (nejčastěji zásahy do systému čištění spalin) nebo změnou požadavků na efektivitu jednotky, odpovídají celkové náklady na údržbu a reinvestice ve výši 83 % investiční ceny jednotky při projekčních pracích obvykle uvažované hodnotě 100 %.

Pro účely této práce budou nadále celkové náklady na údržbu a reinvestice po dobu životnosti jednotky vyjadřovány jako 85 % investiční ceny jednotky EV SKO.

Pro jednotky MBÚ bude tato míra snížena na 75 % a to kvůli faktu, že velká část investičních nákladů souvisí se stavební částí, které nevyžaduje tak vysokou míru údržby a reinvestic jako strojní část.

Po úpravě rovnic (5.22) a (5.24) vyjadřující výši investičních nákladů pro jednotku EV SKO v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě, tak dostáváme pro rozsah kapacit:

- do 35 kt

$$C_{udr, reinv}^{EV, < 35} = 0,85 * 35,264 * e^{0,0863 * K_{rok}} = 29,974 * e^{0,0863 * K_{rok}} \quad (6.1),$$

- nad 35 kt

$$C_{udr, reinv}^{EV, > 35} = 0,85 * 102,06 * K_{rok}^{0,6083} = 86,751 * K_{rok}^{0,6083} \quad (6.2),$$

kde K_{rok} je roční zpracovatelská kapacita jednotky v [kt] a $C_{udr, reinv}^{EV}$ jsou celkové náklady na údržbu a reinvestice za dobu životnosti jednotky v [mil. Kč] pro příslušný rozsah kapacit.

Analogicky lze z rovnic (5.27), (5.28), (5.29) a (5.30) pro výši celkových nákladů na údržbu a reinvestice pro jednotky MBÚ odvodit:

- do 30 kt

$$C_{udr, reinv}^{MBÚ, < 30} = 0,75 * 22,77 * e^{0,1074 * K_{rok}} = 17,078 * e^{0,1074 * K_{rok}} \quad (6.3),$$

jen s technologií AEF

$$C_{udr,reinv}^{MBÚ,AEF<30} = 0,6 * 0,75 * 22,77 * e^{0,1074 * K_{rok}} = 10,247 * e^{0,1074 * K_{rok}} \quad (6.4),$$

- nad 30 kt

$$C_{udr,reinv}^{MBÚ,>30} = 0,75 * 59,32 * K_{rok}^{0,5403} = 44,49 * K_{rok}^{0,5403} \quad (6.5),$$

jen s technologií AEF

$$C_{udr,reinv}^{MBÚ,AEF>30} = 0,6 * 0,75 * 59,32 * K_{rok}^{0,5403} = 26,694 * K_{rok}^{0,5403} \quad (6.6).$$

kde ve všech případech K_{rok} je roční zpracovatelská kapacita jednotky v [kt] a $C_{udr,reinv}^{MBÚ}$ jsou celkové náklady na údržbu a reinvestice za dobu životnosti jednotky v [mil. Kč] pro příslušný rozsah kapacit.

6.5 MZDOVÉ NÁKLADY

Předpokládané úvazkové a personální obsazení jednotky EV SKO s roční zpracovatelskou kapacitou 100 kt je uvedeno v tabulce 6.7

1. směna	úvazků	hodin na směnu	dní v roce	celkem hodin za životnost
ředitel	1,0	8	260	49 920
asistent ředitele	1,0	8	260	49 920
odpovědný za provoz a údržbu	1,0	8	260	49 920
odpovědný za ekologii a odpady	1,0	8	260	49 920
účetní	1,0	8	260	49 920
provozní chemik - laborant	1,0	8	260	49 920
údržbář elektro	1,0	8	260	49 920
údržbář měření a regulace	1,0	8	260	49 920
zámečnick	1,0	8	260	49 920
obsluha váhy	1,0	8	260	49 920
uklízeč	1,0	4	260	24 960
vedoucí směny, obsluha velínu	1,4	8	260	69 888
jeřábník	1,4	8	260	69 888
manipulační dělník - pochůzkář	2,8	8	260	139 776
2. směna				
vedoucí směny, obsluha velínu	1,4	8	260	69 888
jeřábník	1,4	8	260	69 888
manipulační dělník - pochůzkář	2,8	8	260	139 776
3.směna				
vedoucí směny, obsluha velínu	1,4	8	260	69 888
jeřábník	1,4	8	260	69 888
manipulační dělník - pochůzkář	2,8	8	260	139 776
4.směna				
vedoucí směny, obsluha velínu	1,4	8	260	69 888
jeřábník	1,4	8	260	69 888
manipulační dělník - pochůzkář	2,8	8	260	139 776
rezervní směna				
vedoucí směny, obsluha velínu	1,0	8	260	49 920
jeřábník	1,0	8	260	49 920
manipulační dělník - pochůzkář	2,0	8	260	99 840

Tabulka 6.7 Úvazkové a personální obsazení jednotky EV SKO s roční zpracovatelskou kapacitou 100 kt

Vzhledem k povaze provozu jednotky EV SKO je nezbytné koncipovat její provoz jako nepřetržitý čtyřsměnný s ročním pracovním fondem, ideálně okolo 8 000 hodin. Uvažuje se tedy s pravidelnou měsíční odstávkou pro provedení nezbytných oprav a plánované údržby. Počet osob odpovídá obsazení nepřetržitého provozu během víkendů a s časovým překrytím směn na jejich začátku a konci k předání pracoviště. Dále je doplněna jedna kompletní směna, která umožňuje zastoupení v případě nemoci, či dovolené a přechody ve sloužení typů směn. U zaměstnanců se předpokládá s výběrem dovolené zejména v době odstávky. U pozic v tabulce uvedených se zlomky plného úvazku a se směnovým provozem, je po sečtení částečných úvazků pro danou pozici zaokrouhlen počet pracovních úvazků na nejbližší vyšší celé číslo. Např. pozice jeřábník má uváděno 1,4 úvazku na směnu, což značí pokrytí pracovního týdne a víkendu. Po sečtení úvazků pro tuto pozici pro všechny směny dostáváme celkem 6,6 úvazku a tedy celkový počet úvazků pro pozici jeřábník je 7, nebo li 7 osob.

Pro výpočet mzdových nákladů bude pro všechny zaměstnance zjednodušeně použita průměrná měsíční hrubá mzda v ČR pro rok 2009, která činila 23 598 Kč [68]. Tato hrubá mzda potom odpovídá mzdovým nákladům zaměstnavatele ve výši 31 622 Kč. Při průměrném měsíčním pracovním fondu 168 hodin tak činí hodinové mzdové náklady zaměstnavatele 189 Kč. Tabulka 6.8 shrnuje celkový počet zaměstnanců vypočtený na základě tabulky 6.7 spolu s celkovým počtem odpracovaných hodin a celkovými mzdovými náklady za dobu životnosti jednotky.

počet zaměstnanců na plný úvazek [osob]	40
hodinové mzdové náklady [Kč/hod]	189
odpracované hodiny za dobu životnosti [hod]	1 996 800
celkové mzdové náklady za dobu životnosti [mil. Kč]	377,40

Tabulka 6.8 Výše mzdových nákladů jednotky EV SKO s roční zpracovatelskou kapacitou 100 kt

V případě detailního řešení je možné konečný počet zaměstnanců spolu s obsazením jednotlivých pozic přizpůsobit aktuálním požadavkům. U větších jednotek o celkové roční zpracovatelské kapacitě 200 až 400 kt, kdy jednotka obsahuje více spalovacích linek zpravidla o kapacitě 100 kt, dochází k násobení určitých pracovních pozic počtem linek. Dochází tedy k násobení počtu pracovníků, jejichž činnost bezprostředně souvisí s chodem jedné spalovací linky (viz tabulka 6.11 a 6.12).

Naopak u jednotek malých ročních zpracovatelských kapacit pod 60 kt je možné uvažovat o redukci počtu zaměstnanců redukcí některých pozic, např. vynecháním jednoho pochůzkáře - údržbáře. V případě nutnosti mu mohou vypomoci vedoucí směny - obsluha velínu nebo jeřábník. Případně lze aplikovat tzv. „out-sourcing“, kdy některé činnosti nejsou vykonávány vlastními zaměstnanci, ale jsou zadávány externím subjektům, např. údržba měření a regulace nebo úklidové služby.

Tabulka 6.9 navrhuje minimální možné úvazkové a personální obsazení pro jednotku EV SKO s nízkou roční zpracovatelskou kapacitou, přičemž nejsou uvažovány pracovní pozice, jejichž činnost by šlo zajistit smluvně u externí společnosti. Cílem určení minimálního možného počtu míst na plný pracovní úvazek je zajištění dostatku referenčních bodů pro zjištění aproximační funkce, která by spojitě vyjadřovala počet odpracovaných hodin, respektive mzdových nákladů za dobu životnosti v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě.

1. směna	úvazků	hodin na směnu	dní v roce	celkem hodin za životnost
ředitel, odpovědný za ekologii a odpady	1,0	8	260	49 920
odpovědný za provoz a údržbu	1,0	8	260	49 920
účetní	1,0	8	260	49 920
provozní chemik - laborant	1,0	8	260	49 920
údržbář elektro, manipulační dělník	1,0	8	260	49 920
zámečník, manipulační dělník	1,4	8	260	69 888
obsluha váhy	1,0	8	260	49 920
vedoucí směny, obsluha velínu	1,4	8	260	69 888
jeřábník	1,4	8	260	69 888
2. směna				
vedoucí směny, obsluha velínu	1,4	8	260	69 888
jeřábník	1,4	8	260	69 888
manipulační dělník - pochůzkář	1,4	8	260	69 888
3.směna				
vedoucí směny, obsluha velínu	1,4	8	260	69 888
jeřábník	1,4	8	260	69 888
manipulační dělník - pochůzkář	1,4	8	260	69 888
4.směna				
vedoucí směny, obsluha velínu	1,4	8	260	69 888
jeřábník	1,4	8	260	69 888
manipulační dělník - pochůzkář	1,4	8	260	69 888
rezervní směna				
vedoucí směny, obsluha velínu	1,0	8	260	49 920
jeřábník	1,0	8	260	49 920
manipulační dělník - pochůzkář	1,0	8	260	49 920

Tabulka 6.9 Minimální úvazkové a personální obsazení jednotky EV SKO s malou roční zpracovatelskou kapacitou

Tabulka 6.10 udává celkový počet pracovních míst na plný úvazek a celkové mzdové nároky při minimálním personálním obsazení.

počet zaměstnanců na plný úvazek [osob]	27
hodinové mzdové náklady [Kč/hod]	189
odpracované hodiny za dobu životnosti [hod]	1 347 840
celkové mzdové náklady za dobu životnosti [mil. Kč]	254,74

Tabulka 6.10 Minimalizovaná výše mzdových nákladů jednotky EV SKO

Navrhovaný počet 26 zaměstnanců pro jednotku EV SKO s kapacitou 60 kt/rok na plný úvazek koresponduje s 25 zaměstnanci v podniku se zařízením na spalování výhřevné frakce SKO v Bitterfeld-Wolfen am Netz v Německu s roční zpracovatelskou kapacitou 100 kt a investiční cenou 65 mil. EUR [69]. Relativně nižší počet pracovních míst s ohledem na kapacitu u uváděné jednotky je zdůvodnitelný vyšším možným stupněm automatizace jednotky, což je dáno spalováním LF připravené ze SKO, která má vlastnosti blízké klasickému palivu a je tedy například možné vypustit pozici jeřábníka pro dávkování odpadu do násypky kotle.

Pro doplnění dalších bodů umožňujících nasazení lineární regresní analýzy je v tabulkách 6.11 a 6.12 uveden celkový počet pracovních míst jednotky EV SKO s roční zpracovatelskou kapacitou 200 kt a 400 kt., přičemž bylo uvažováno s jednou rezervní směnou na dvě spalovací linky.

počet zaměstnanců na plný úvazek [osob]	64
hodinové mzdové náklady [Kč/hod]	189
odpracované hodiny za dobu životnosti [hod]	3 194 880
celkové mzdové náklady za dobu životnosti [mil. Kč]	603,83

Tabulka 6.11 Výše mzdových nákladů jednotky EV SKO s roční zpracovatelsko kapacitou 200 kt

počet zaměstnanců na plný úvazek [osob]	120
hodinové mzdové náklady [Kč/hod]	189
odpracované hodiny za dobu životnosti [hod]	5 990 400
celkové mzdové náklady za dobu životnosti [mil. Kč]	1 132,19

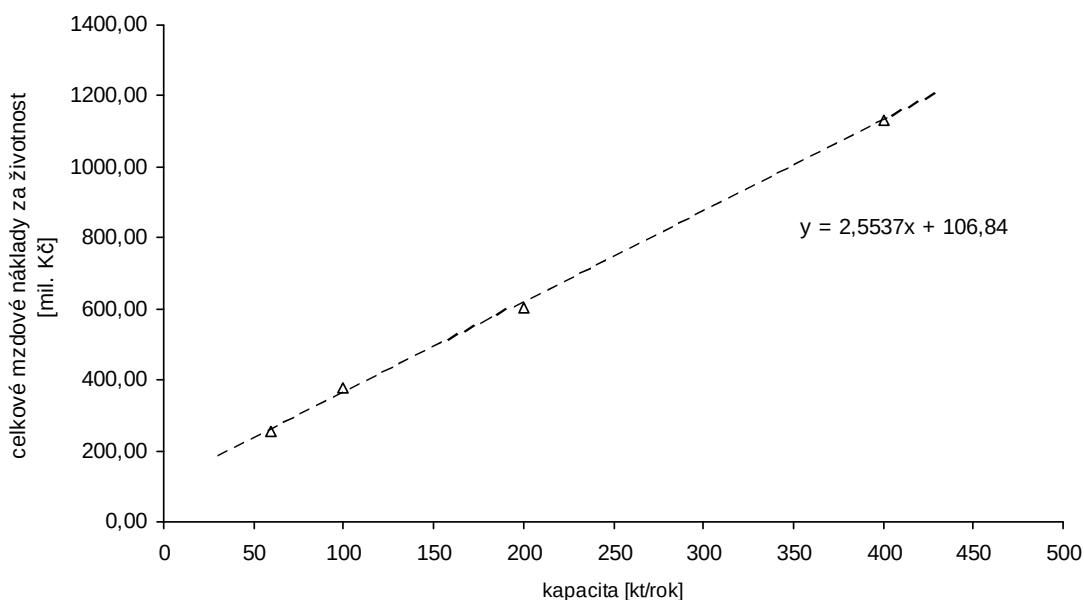
Tabulka 6.12 Výše mzdových nákladů jednotky EV SKO s roční zpracovatelskou kapacitou 400 kt

K dispozici tak nyní jsou celkem čtyři body dávající do vztahu celkové mzdové náklady za životnost jednotky a její roční zpracovatelskou kapacitu. Jako aproximační funkce byla použita prostá lineární funkce. Výsledná aproximační lineární funkce má potom tvar:

$$C_{mzdy}^{EV} = 2,5537 * K_{rok} + 106,84 \quad (6.7),$$

kde K_{rok} je roční zpracovatelská kapacita jednotky v [kt] a C_{mzdy}^{EV} jsou celkové mzdové náklady za životnost jednotky [mil. Kč].

V obr. 6.2 je provedeno shrnutí s vynesemím všech zjištěných bodů a aproximační lineární funkce.



Obr. 6.2 Celkové mzdové náklady jednotky EV SKO v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě za dobu životnosti

Provoz MBÚ není nezbytné koncipovat jako nepřetržitý, což je umožněno povahou technologie. Mechanickou část lze jednoduše kdykoli odstavit po krátké časové prodlevě od ukončení dávkování materiálu, která umožní vyjetí veškerého materiálu z linky. Ideální se jeví koncipovat provoz pro mechanickou část jako dvojsměnný, kdy provoz bude přerušován

během nočních hodin a neděle. Zároveň tím bude omezeno riziko zvýšeného hluku. A to jednak od samotné drtící-třídící linky, ale také zejména od nezbytných přepravních strojů, u nichž je počítáno s pohybem vně haly. Biologická část potom může být provozována čistě jako jednosměnná, kdy během běžné pracovní směny bude navážen a vyvážen materiál. Tabulka 6.13 uvádí přehled pracovních úvazků a pozic spolu s minimálním předpokládaným počtem osob zaměstnaných na plný úvazek, a to jak pro mechanickou, tak i pro biologickou část.

mechanická část				
1. směna	úvazků	hodin na směnu	dní v roce	celkem hodin za životnost
ředitel, odpovědný za ekologii a odpady	1,0	8	260	49 920
odpovědný za provoz a údržbu	1,0	8	260	49 920
účetní	1,0	8	260	49 920
údržbář elektro	1,0	8	260	49 920
zámečnick	1,0	8	260	49 920
obsluha váhy	1,0	8	260	49 920
údržba	1,0	8	260	49 920
obsluha velínu, údržba	1,2	8	260	59 904
obsluha mechanizace	3,6	8	260	179 712
2. směna				
obsluha velínu, údržba	1,2	8	260	59 904
obsluha mechanizace	3,6	8	260	179 712
biologická část				
1.směna				
údržba	1,0	8	260	49 920
obsluha mechanizace	3,0	8	260	149 760
rezerva				
obsluha velínu, údržba	1,0	8	260	49 920
obsluha mechanizace	2,0	8	260	49 920

Tabulka 6.13 Personální obsazení jednotky MBÚ s roční zpracovatelskou kapacitou 60 kt

Tabulka 6.14 udává celkový počet pracovních míst na plný úvazek a celkové mzdové nároky pro jednotku MBÚ s roční zpracovatelskou kapacitou 60 kt.

počet zaměstnanců na plný úvazek [osob]	25
hodinové mzdové náklady [Kč/hod]	189
odpracované hodiny za dobu životnosti [hod]	1 248 000
celkové mzdové náklady za dobu životnosti [mil. Kč]	235,87

Tabulka 6.14 Výše mzdových nákladů jednotky MBU s roční zpracovatelskou kapacitou 60 kt

Analogicky jako byly navrženy počty pracovníků a mzdové náklady pro jednotky EV SKO s různou roční zpracovatelskou kapacitou, aby bylo možné vyjádřit mzdové náklady za dobu životnosti jednotky pomocí spojitě funkce v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě, budou navrženy počty pracovníků a mzdové náklady pro jednotky MBÚ s různou roční zpracovatelskou kapacitou. Shrnutí je obsaženo v tabulkách 6.15 a 6.16

počet zaměstnanců na plný úvazek [osob]	42
hodinové mzdové náklady [Kč/hod]	189
odpracované hodiny za dobu životnosti [hod]	2 096 640
celkové mzdové náklady za dobu životnosti [mil. Kč]	396,26

Tabulka 6.15 Výše mzdových nákladů jednotky MBU s roční zpracovatelskou kapacitou 120 kt

počet zaměstnanců na plný úvazek [osob]	78
hodinové mzdové náklady [Kč/hod]	189
odpracované hodiny za dobu životnosti [hod]	3 893 760
celkové mzdové náklady za dobu životnosti [mil. Kč]	735,92

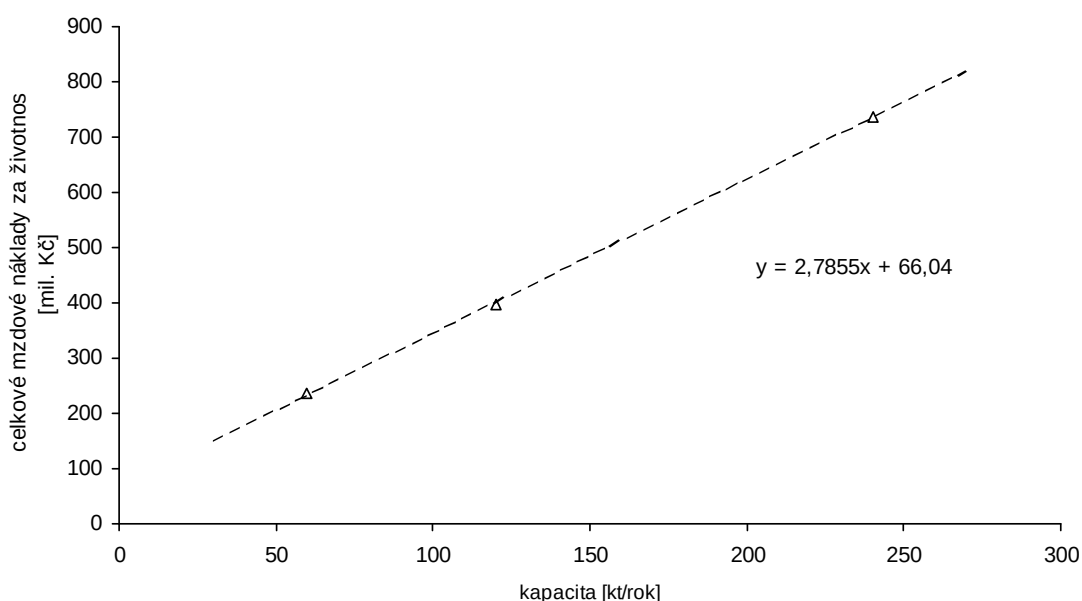
Tabulka 6.16 Výše mzdových nákladů jednotky MBU s roční zpracovatelskou kapacitou 240 kt

Podobně jako u jednotky EV SKO byla použita jako aproximační funkce prostá lineární funkce. Výsledná aproximační lineární funkce má potom tvar:

$$C_{mzdy}^{MBÚ} = 2,7855 * K_{rok} + 66,04 \quad (6.8),$$

kde K_{rok} je roční zpracovatelská kapacita jednotky MBÚ v [kt] a $C_{mzdy}^{MBÚ}$ jsou celkové mzdové náklady za životnost jednotky [mil. Kč].

V obr. 6.3 je provedeno shrnutí s vynesemím všech zjištěných bodů a aproximační lineární funkce. Mzdové náklady jednotky MBÚ se ve výsledku od mzdových nákladů jednotky EV SKO prakticky neliší. Počty zaměstnanců jsou vzhledem ke kapacitě přibližně obdobné, stejně jako jednotlivé pracovní pozice. Lze konstatovat, že s velkou pravděpodobností jsou mzdové náklady pro obě technologie v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě obdobné.



Obr. 6.3 Celkové mzdové náklady jednotky MBÚ v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě za dobu životnosti

6.6 NÁKLADY SPOJENÉ SE ZPRACOVÁNÍM ODPADU

V kapitole 3.3 a 4.3.5 byly podrobněji analyzovány spotřeby jednotlivých pomocných médií a energií pro technologii jednotky EV SKO a MBÚ. Tabulka 6.17 uvádí bilanční spotřeby jednotlivých médií a energií vztažené na 1 t SKO vstupující do technologie spolu s jejich cenami, které byly získány z katalogů firem zabývajících se prodejem chemikálií a energií [70, 71].

Ceny uvedené v tabulce jsou účelově vyšší než reálně dosažitelné, čímž je pojištěna realizovatelnost případného projektu. Vzhledem ke stabilnímu a dlouhodobému odběru je vysoká pravděpodobnost uzavření individuální smlouvy mezi zpracovatelskou jednotkou EV SKO a dodavatelem médií a energií.

V ceně elektrické energie je uvažováno s poplatkem za distribuci, za systémové služby a na podporu výkupu elektrické energie z OZE. U chemikálií a sorbentů je uvažováno s fixní

částkou na dopravu (nelze ji bez přesné lokalizace jednotky jednoznačně určit) ve výši 20 % základní ceny komodity.

	měrná spotřeba	cena [Kč/kWh, Kč/kg, Kč/m ³]	cena [Kč/t].
elektrická energie [kWh/t]	98,9	1,2	118,7
zemní plyn [kWh/t]	15,0	1,0	15,0
surová voda [m ³ /t]	0,1	10,0	1,0
HCl [kg/t]	0,12	40,0	4,9
NaOH [kg/t]	0,2	80,0	16,0
Na ₃ PO ₄ [kg/t]	0,018	350,0	6,3
hydrazin [kg/t]	0,011	1000,0	11,0
Aminy [kg/t]	0,01	1000,0	10,0
Satamin (SNCR) [kg/t]	6,0	8,5	51,0
NaHCO ₃ [kg/t]	18,0	9,0	162,0
aktivní uhlí [kg/t]	0,5	35,0	17,5
celková cena			413,4

Tabulka 6.17 Výše měrných nákladů na zpracování 1 t odpadu v jednotce EV SKO

Celkové náklady spojené se zpracováním odpadu jsou přímo úměrné celkovému množství zpracovaného odpadu. S uvážením skutečné celkové zpracovatelské kapacity a po zaokrouhlení měrné ceny na zpracování odpadu lze celkové náklady na zpracování odpadu zapsat pomocí následující rovnice:

$$C_{zprac}^{EV} = 420 * 0,925 * 24 * \frac{K_{rok}}{1000} = 9,324 * K_{rok} \quad (6.9),$$

kde K_{rok} je roční zpracovatelská kapacita [kt] a C_{zprac}^{EV} jsou celkové náklady spojené se zpracováním odpadu za dobu životnosti jednotky v [mil.Kč].

Analogicky k nákladům na zpracování odpadu pro jednotky EV SKO uvádí tabulka 6.18 náklady pro zpracování 1 t odpadu pro mechanickou část jednotky MBÚ a tabulka 6.19 uvádí náklady na zpracování 1 t PF vstupující do biologické části jednotky MBÚ. Jak již bylo rozebráno v kapitole 3.2.4 mechanická část MBÚ spotřebovává pouze elektrickou energii. Dále je k jejímu provozu nezbytná pouze nafta pro pohon čelních nakladačů majících za úkol navážku SKO a odběr výstupů, tzn. jednotlivých frakcí vystupujících z drticí a třídicí linky.

	měrná spotřeba	cena [Kč/kWh, Kč/l]	cena [Kč/t].
elektrická energie [kWh/t]	55,7	1,2	66,9
nafta [l/t]	1,3	31,0	41,3
celková cena			108,2

Tabulka 6.18 Výše nákladů na zpracování 1 t odpadu v mechanické části jednotky MBÚ

	měrná spotřeba	cena [Kč/kWh, Kč/l]	cena [Kč/t].
elektrická energie [kWh/t]	45,9	1,2	55,1
nafta [l/t]	2,1	31,0	54,6
biopreparáty [l/t]	0,002	28 000,0	56,0
celková cena			165,7

Tabulka 6.19 Výše nákladů na zpracování 1 t odpadu v biologické části jednotky MBÚ

Situace s vyjádřením celkových nákladů na zpracování 1 t odpadu vstupujícího do jednotky MBÚ je komplikovaná faktem, že do biologické části vstupuje část odpadu zpracovaná v mechanické části. Konkrétně je to biologicky rozložitelná frakce SKO, nebo-li BRKO. Kapacita biologické části je dimenzována právě pro tuto složku a je tedy ve výsledku nižší než kapacita mechanické části. Jak již však vyplynulo z hmotové bilance jednotky MBÚ v kapitole 3, je kapacita biologické části přímo úměrná obsahu biologicky rozložitelných odpadů v SKO.

S přihlédnutím k výše uvedenému a s uvážením skutečné zpracovatelské kapacity obou částí technologie MBÚ, lze celkové náklady na zpracování odpadu vstupující do jednotky MBÚ vyjádřit následovně:

$$C_{zprac}^{MBÚ} = 110 * 0,955 * 24 * \frac{K_{rok}}{1000} + 170 * 0,955 * 24 * 0,35 * \frac{K_{rok}}{1000} = 3,885 * K_{rok} \quad (6.10),$$

kde K_{rok} je roční zpracovatelská kapacita jednotky MBÚ v [kt] a $C_{zprac}^{MBÚ}$ jsou celkové náklady spojené se zpracováním odpadu za dobu životnosti jednotky v [mil.Kč].

6.7 NÁKLADY SPOJENÉ S REZIDUI

V kapitole 3 a 4 byly mimo energetických a hmotových proudů vstupujících do procesu zpracování odpadu definovány i proudy vystupující. Zatímco energetické proudy v drtivé většině představují z hlediska ekonomiky provozu možné příjmy, u hmotových je to naopak a obvykle znamenají dodatečné náklady na zpracování odpadu. Hmotové odpadní proudy lze obecně rozdělit na:

- pevné – např. popel z kotle (škvára), popílek,
- plynné – např. spaliny,
- kapalné – např. odpadní voda.

Náklady na likvidaci spalin pro další postup prací zanedbáme, ačkoli by mohly být případně vyjádřeny ve formě emisních poplatků státu. Přiřazení škváry do skupiny nákladů bylo zvoleno z důvodu uvážení nepříznivější ekonomické situace zaručující bezpečnější (tj. konzervativnější) posouzení celkové ekonomické bilance. V mnoha případech jednotek EV SKO je totiž možné po nezbytných luhovacích zkouškách zařadit škváru mezi inertní materiály a je možné ji využívat jako stavební materiál bez nutnosti nákladů na její likvidaci uložením na skládku. Naopak může být prodávána a znamenat pro jednotku příjem.

S velkou pravděpodobností bude škvára ukládána na skládku inertního odpadu (S-IO) nebo ostatního odpadu (S-OO) pod číslem odpadu 100101 – škvára, struska a kotelní prach. Popílek díky obsahu solí bude pravděpodobně zařazen do vyšší třídy vyluhovatelnosti a díky ekotoxicitě vlivem uvolňovaných solí jej bude nezbytné považovat za nebezpečný odpad. Cena uložení popílku na skládku tak bude podstatně vyšší oproti ceně uložení popela. Podobná je situace ohledně použitého aktivního uhlí.

Odpadní voda je likvidovaná vypuštěním do kanalizační sítě a nákladem na její likvidaci je tedy zaplacení stočného ve výši dohodnuté s provozovatelem kanalizační sítě, respektive ČOV.

Tabulka 6.20 shrnuje měrnou produkci reziduí na 1 t zpracovaného SKO. Ceny uvedené v tabulce jsou zjištěny z ceníků provozovatelů skládek a kanalizačních sítí [72, 73, 74].

	měrná produkce	cena [Kč/kg, Kč/m ³]	náklady [Kč/t].
škvára [kg/t]	200,0	1,1	220,0
popílek [kg/t]	26,8	10,0	268,0
odpadní voda [m ³ /t]	0,05	40,0	2,0
celková cena			490,0

Tabulka 6.20 Výše nákladů spojené s rezidui vzniklými ze zpracování 1 t odpadu v jednotce EV SKO

Množství vznikajícího popela, popílku, použitého aktivního uhlí a odpadní vody jsou přímo úměrná množství zpracovaného odpadu. S uvážením skutečné celkové zpracovatelské kapacity a se zaokrouhlením lze náklady spojené s rezidui zapsat pomocí následující rovnice:

$$C_{rezidua}^{EV} = 495 * 0,925 * 24 * \frac{K_{rok}}{1000} = 10,989 * K_{rok} \quad (6.11),$$

kde K_{rok} je roční zpracovatelská kapacita [kt] a $C_{rezidua}^{EV}$ jsou celkové náklady spojené s odpady vznikajícími při zpracování SKO za dobu životnosti jednotky v [mil.Kč].

Jednotka MBÚ v technologické konfiguraci navržené v kapitole 3 a uvažovaná čistě jako prostředek k zabránění ukládání BRO na skládku, produkuje rovněž odpady ve třech skupenstvích. Pevným odpadem je vytríděná tzv. těžká frakce obsahující většinu materiálů s vysokou měrnou hmotností ze SKO (tzn. sklo, keramika, kamení, dřevo, zemina, atd.), dále lehká výhřevná frakce a konečně stabilizovaná frakce z biologické části jednotky MBÚ. Plynným odpadem je vzdušina pocházející jednak z aerobní fermentace vytríděného BRKO v biologické části MBÚ, ale také vzdušina odsávaná z prostorů, ve kterých je umístěna mechanická část jednotky. Kapalné odpady jsou zastoupeny perkolátem pocházejícím z aerobní fermentace. Stejně jako u jednotky EV SKO jsou plynné emise zanedbány.

Tabulka 6.21 udává měrnou produkci reziduí na 1 t zpracovávaného SKO vstupujícího do jednotky MBÚ.

	měrná produkce	cena [Kč/kg, Kč/m ³]	náklady [Kč/t].
těžká frakce [kg/t]	210,0	1,1	231,0
výhřevná frakce [kg/t]	380,0	1,1	418,0
stabilizovaná frakce [kg/t]	140,0	1,1	154,0
odpadní voda [m ³ /t]	0,04	40,0	1,5
celková cena			804,5

Tabulka 6.21 Výše nákladů spojené s rezidui vzniklých ze zpracování 1 t odpadu v jednotce MBÚ

Analogicky tedy mohou být celkové náklady spojené s rezidui pro jednotku MBÚ s uvažováním její skutečné zpracovatelské kapacity vyjádřeny pomocí následující rovnice:

$$C_{rezidua}^{MBÚ} = 810 * 0,955 * 24 * \frac{K_{rok}}{1000} = 18,680 * K_{rok} \quad (6.12).$$

V případě, že na skládku bude ukládána jen těžká a stabilizovaná frakce, budou celkové náklady spojené s rezidui vyjádřeny následovně:

$$C_{rezidua}^{MBÚ,TF,SF} = 395 * 0,955 * 24 * \frac{K_{rok}}{1000} = 9,053 * K_{rok} \quad (6.13),$$

kde v obou rovnicích K_{rok} je roční zpracovatelská kapacita [kt] a $C_{rezidua}^{MBÚ}$ jsou celkové náklady spojené s rezidui vznikajícími při zpracování SKO za dobu životnosti jednotky v [mil.Kč].

6.8 PŘÍJMY

Ačkoli zdroje příjmů pro provoz jednotky EV SKO odpadů i jednotky MBÚ může být více (viz obr. 6.1), bude primárně uvažovanými příjmy jednotky EV SKO prodej generované elektrické energie a prodej kovového šrotu. V případě jednotky MBÚ s AEF bude uvažováno pouze s prodejem kovového šrotu. Jednotka MBÚ vybavená technologií ANF bude mít navíc příjmy z prodeje generované elektrické energie. K tomuto rozhodnutí vedly následující body:

- Možné využití a prodej tepelné energie jsou vázány k lokalitě výstavby jednotky. To znamená, že prodej tepla nemůže být posuzován obecně (což je pro další postup prací nezbytné), ale až na základě podmínek v konkrétním místě. Ve většině případů je tak možnost prodeje tepla posuzována v rámci studie proveditelnosti a po identifikaci možných odběratelů nebo jiných návrhu využití tepla.
- Prodej škváry jako stavebního materiálu je nejistý a je realizovatelný až podle výsledků luhovacích zkoušek prováděných vždy v určitých časových údobích. Z hlediska bezpečného ekonomického návrhu je tedy škvára považována vždy za odpad znamenající náklady na jeho uložení na skládku.
- Jednotka MBÚ s AEF je uvažována pouze jako nástroj ke stabilizaci BRKO a další využití jejích výstupů je problematické, ať už po stránce energetické nebo materiální. Z hlediska legislativy jde v každém případě o odpad, se kterým musí být nakládáno jako s odpadem. Výstupy ve formě lehké frakce a stabilizované frakce nejsou nikdy stoprocentně bez příměsí. Dosažení vysoké čistoty je sice možné, ale za cenu zvýšených investičních a provozních nákladů. Nicméně v práci budou zváženy i možnosti dalšího využití, především energetické využití lehké frakce a suché anaerobní fermentace BRKO.
- Elektrickou energii je možné vždy bez větších problémů prodávat, případně jí krýt vlastní spotřebu pro provoz. Je tedy bezpečným výstupem s relativně zajištěnou možností prodeje.

Tabulka 6.22 udává měrné příjmy z prodeje elektrické energie a kovového šrotu vyplývající z hmotové a energetické bilance vztažené na 1 t vstupujícího zpracovaného SKO pro jednotku EV SKO s roční zpracovatelskou kapacitou 100 kt.

	měrná produkce	cena [Kč/kWh, Kč/t]	příjmy [Kč/t].
elektrická energie [kWh/t]	565	1,1	621,0
kovový šrot [t/t]	0,06	2500	150,0
Celkové příjmy			778,0

Tabulka 6.22 Výše příjmů za prodej elektrické energie a kovového šrotu vzniklých ze zpracování 1 t SKO v jednotce EV SKO s roční zpracovatelskou kapacitou 100 kt

Měrná produkce elektrické energie není konstantní a prostřednictvím účinnosti turbíny závisí nepřímo na roční zpracovatelské kapacitě [42]. Pro relevantní posouzení je tedy nezbytné vyjádřit měrnou produkci elektrické energie v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě jednotky EV SKO, respektive závislost příjmů z prodeje elektrické energie na roční zpracovatelské kapacitě.

K tomuto účelu bude zapotřebí vyjádřit prostřednictvím vnitřní termodynamické účinnosti skutečný výkon turbíny na hřídeli, respektive elektrický výkon v závislosti na entalpickém spádu daném ideální izoentropickou expanzí. Ten může být vyjádřen pomocí hmotnostního průtočného množství páry a měrného entalpického spádu takto:

$$\dot{\Delta H}_{ideal} = \dot{m}_{pára} * \Delta h_{ideal} \quad (6.14),$$

kde $\dot{m}_{pára}$ je hmotnostní průtok páry turbínou v [kg/h] a Δh_{ideal} je měrný entalpický spád v [kJ/kg] daný ideální izoentropickou expanzí páry. Entalpický spád ΔH_{ideal} má v této rovnici rozměr [kJ/kg.kg/h], neboli [kJ/h]. Z tohoto důvodu u něj bude uváděna jednotka [kW], ačkoli je to pro entalpii neobvyklé.

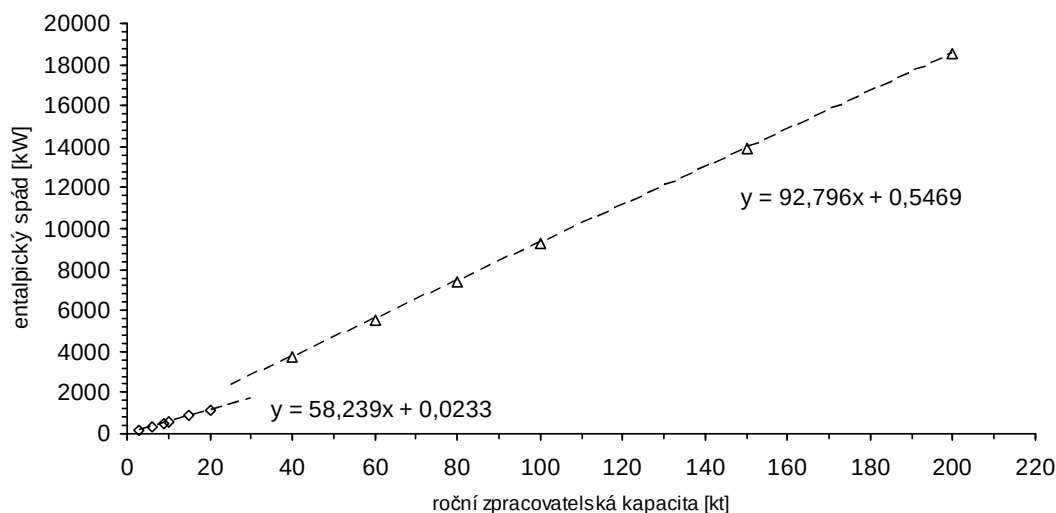
Jako bylo zavedeno v kapitole 4, u všech jednotek EV SKO s roční zpracovatelskou kapacitou nad 20 kt je produkována přehřátá pára o tlaku 4,3 MPa abs. a teplotě 400 °C, která expanduje na tlak 0,08 Mpa abs.

U jednotek s roční zpracovatelskou kapacitou pod 20 kt je produkována pára o tlaku 2 MPa abs. a teplotě 260 °C expandující na tlak 0,2 Mpa abs. v parním motoru. Pro přehlednost jsou opětovně v tabulce 6.23 uvedeny parametry páry pro výše uvedené podmínky.

pára	teplota [°C]	entalpie [kJ/kg]	entropie [kJ/(kg.K)]	saturační teplota [°C]
tlak 4,3 MPa abs.	400,0	3 211	6,734	254,7
tlak 0,08 MPa abs.	93,5	2 409	6,734	93,5
tlak 2,0 MPa abs.	260,0	2 928	6,594	212,4
tlak 0,2 MPa abs.	120,2	2 497	6,594	120,2

Tabulka 6.23 Parametry páry

Za těchto předpokladů je v obr. 6.4 znázorněn celkový entalpický spád daný ideální izoentropickou expanzí a množstvím páry vyráběné v kotli, který je k dispozici v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě při ročním pracovním fondu 8 000 hodin.



Obr. 6.4 Závislost ideálního entalpického spádu na roční zpracovatelské kapacitě jednotky EV SKO

Data pro obrázek byla získána z hmotové a energetické bilance spalování SKO uvedené v kapitole 4.3. Závislost entalpického spádu na kapacitě je sama o sobě lineární a můžeme ji tedy pro oba rozsahy zpracovatelských kapacit za použití regresní analýzy pomocí lineární funkce zapsat takto :

- do 20 kt

$$\Delta H_{ideal}^{EV, <20} = 58,239 * K_{rok} + 0,0233 \quad (6.15),$$

- nad 20 kt

$$\Delta H_{ideal}^{EV, >20} = 92,796 * K_{rok} + 0,5469 \quad (6.16),$$

kde K_{rok} je roční zpracovatelská kapacita v [kt] a ΔH_{ideal}^{EV} je ideální entalpický spád v [kW].

Jak již bylo uvedeno výše, účinnost turbíny je závislá na jejím výkonu. Tabulka 6.24, převzatá z [75], uvádí stručný přehled parních turbín, jejich rozdělení a vnitřních termodynamických účinností spolu s obvyklými parametry páry vstupující do turbíny.

turbíny	parametry páry vstupující do turbíny	generovaný el. výkon [MW]	vnitřní termodynamická účinnost [%]
malé	1,0 až 2,7 MPa 260 až 400°C	až 0,75	max. 35 až 40
střední	2,0 až 4,4 MPa 400 až 440°C	0,75 až 4	55 až 60
velké	4,0 až 6,2 MPa 400 až 480 °C	4 až 40	75 až 85
velmi velké	6,0 až 14,0 MPa 440 až 538°C	10 až 90	80 až 87 %

Tabulka 6.24 Přehled parních turbín, převzato z [75]

Obecně může být závislost výkonu turbíny na hřídeli na ideálním entalpickém spádu vyjádřena pomocí její vnitřní termodynamické účinnosti takto:

$$P_{turb.} = \eta_{turb.} * \Delta H_{ideal} \quad (6.17),$$

kde ΔH_{ideal} je entalpický spád daný ideálním izoentropickým spádem v [kW], $P_{turb.}$ je výkon turbíny na hřídeli [kW] a $\eta_{turb.}$ je vnitřní termodynamická účinnost turbíny [-].

Vnitřní termodynamickou účinností turbín se ve své práci podrobně zabývá [76]. Pro účely této práce bude použita autorem navržená aproximace závislosti ideálního entalpického spádu na výkonu turbíny na hřídeli ve tvaru:

$$\Delta H_{ideal} = A + B * P_{turb.} \quad (6.18),$$

kde ΔH_{ideal} je entalpický spád daný ideálním izoentropickým spádem v [kW], $P_{turb.}$ je výkon turbíny na hřídeli [kW] a A a B jsou koeficienty vypočtené na dle následujících vztahů:

$$A = b_0 + b_1 * \Delta T_{sat.} \quad (6.19),$$

$$B = b_2 + b_3 * \Delta T_{sat.} \quad (6.20),$$

kde $\Delta T_{sat.}$ je rozdíl saturačních teplot páry vstupující a vystupující z turbíny v [°C] a b_0 , b_1 , b_2 a b_3 jsou koeficienty, které získal autor regresní analýzou dat z [77]. V tabulce 6.25 jsou autorem navrhované hodnoty koeficientů pro kondenzační turbíny dle jejich maximálního výkonu.

turbíny	$P_{turb.} \leq 2MW$	$P_{turb.} > 2MW$
b_0 [MW]	0,0	-0,463
b_1 [MW/°C]	0,000662	0,00353
b_2 [-]	1,191	1,220
b_3 [1/°C]	0,000759	0,000148

Tabulka 6.25 Koeficienty kondenzačních turbín , převzato z [76]

Jak již bylo uvedeno, je uvažováno s produkcí páry rozdílných parametrů pro jednotky EV SKO s roční zpracovatelskou kapacitou do 20 kt a nad 20 kt. Výsledné hodnoty koeficientů A a B tedy nabývají rozdílných hodnot, které jsou uvedeny v tabulce 6.26. Je nutné poznamenat, že turbíny jednotek s kapacitou do 20 kt/rok spadají všechny do výkonnostní třídy $P_{turb.} < 2 MW$.

kapacita jednotky		produkovaná pára	A	B	rozdíl saturačních teplot [°C]
nad 20 kt/rok	$P_{\text{turb.}} > 2\text{MW}$	4,2 MPa, 400°C	0,106036	1,243858	161,2
	$P_{\text{turb.}} < 2\text{MW}$		0,106714	1,313351	
do 20 kt/rok		2,0 MPa, 260°C	0,0610364	1,2609798	92,2

Tabulka 6.26 Výsledné koeficienty kondenzačních turbín pro dané podmínky

Po srovnání technických dat poskytnutých výrobcí turbín s výsledky modelu, se však ukázalo, že model vykazuje relativně velkou odchylku ve výsledné vnitřní termodynamické účinnosti turbín s výkonem do 1 MW. Turbíny těchto výkonů by nacházeli uplatnění u jednotek EV SKO s roční zpracovatelskou kapacitou do 20 kt. Tabulka 6.27 uvádí výsledné hodnoty vnitřní termodynamické účinnosti pro turbíny malých výkonů.

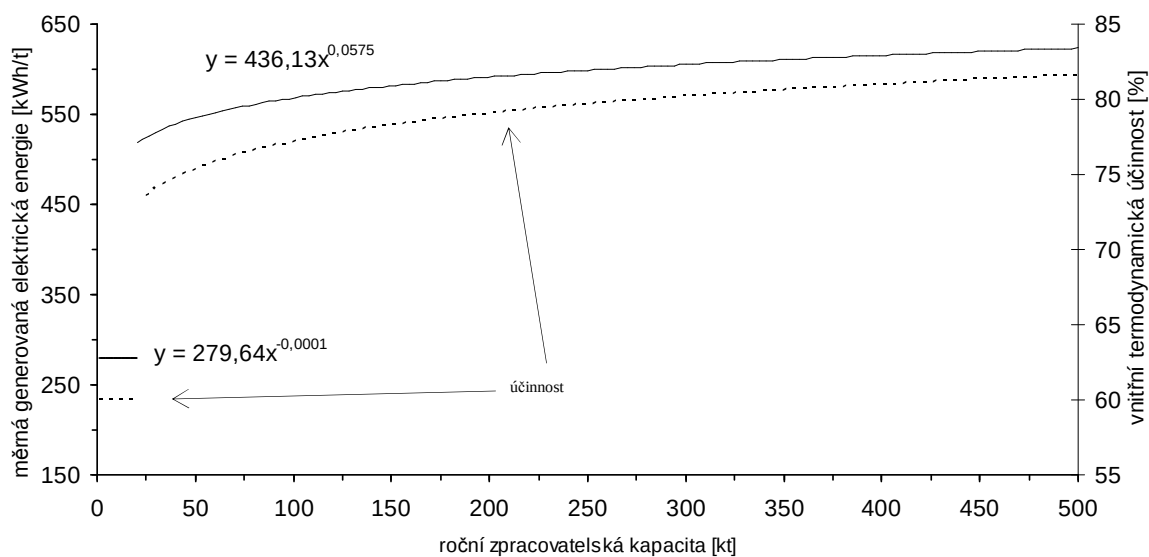
výkon turbíny [MW]	0,1	0,2	0,35	0,4	0,6	0,8
vnitřní termodynamická účinnost [%]	53	64	70	71	73	75

Tabulka 6.27 Vnitřní termodynamická účinnost turbíny v závislosti na jejím výkonu

Srovnáme-li výslednou vnitřní termodynamickou účinnost turbíny s výkonem 0,1 MW, tedy 53 %, s údajem poskytnutým výrobcem, což je hodnota vnitřní termodynamické účinnosti rovná 30 %, nelze rozdíl považovat za zanedbatelný. Nicméně vzhledem k tomu, že již od počátku bylo uvažováno s aplikací parního motoru pro jednotky s roční zpracovatelskou kapacitou do 20 kt a tento model tedy nebude pro tyto jednotky použit, je případná nepřesnost modelu pro tyto výkony turbín bezpředmětná.

Vnitřní termodynamická účinnost parního motoru je dle dat poskytnutých výrobcem prakticky konstantní v celém spektru jeho výkonů a není tedy ani závislá na roční zpracovatelské kapacitě jednotky. Hodnota vnitřní termodynamické účinnosti parního motoru bude proto uvažována pro všechny roční zpracovatelské kapacity do 20 kt včetně rovná 60 %.

Protože analytické dosazení rovnice (6.18) do rovnic (6.15 a 6.16) a explicitní vyjádření měrné generované elektrické energie by nebylo přehledné a účelné, bylo dosazení provedeno početně a následně byla provedena regresní analýza závislosti měrné generované elektrické energie na roční zpracovatelské kapacitě. Situaci prezentuje obr. 6.5, který zároveň na vedlejší ose udává závislost vnitřní termodynamické účinnosti turbíny a parního motoru na roční zpracovatelské kapacitě (pozn. účinnost parního motoru je konstantní).



Obr. 6.5 Závislost měrné generované elektrické energie a vnitřní termodynamické účinnosti turbíny na roční zpracovatelské kapacitě jednotky EV SKO

Mimo vnitřní termodynamické účinnosti se celkové účinnosti generování elektrické energie podílí i celková mechanická účinnost. Ta je dána účinností generátoru, účinností transmisí a tepelnými ztrátami turbíny. Protože hodnota celkové mechanické účinnosti je poměrně stálá v celém uvažovaném rozsahu výkonů turbín a její hodnota se pohybuje kolem 97 %, bude celková mechanická účinnost zanedbána.

Nyní je možné vyjádřit příjmy z prodeje elektrické energie a šrotu pro jednotku EV SKO s uvažováním její skutečné zpracovatelské kapacity rovnicí a se zaokrouhlením pro rozsahy ročních zpracovatelských kapacit:

- do 20 kt

$$I^{EV, <20} = 0,925 * 24 * 1,1 * 279,64 * K_{rok}^{-0,0001} * \frac{K_{rok}}{1000} + 0,925 * 24 * 150 * \frac{K_{rok}}{1000}$$

$$I^{EV, <20} = 6,838 * K_{rok} + 3,330 * K_{rok} = 10,168 * K_{rok} \quad (6.21),$$

- nad 20 kt

$$I^{EV, >20} = 0,925 * 24 * 1,1 * 436,13 * K_{rok}^{0,0575} * \frac{K_{rok}}{1000} + 0,925 * 24 * 150 * \frac{K_{rok}}{1000}$$

$$I^{EV, >20} = 10,650 * K_{rok}^{1,0575} + 3,330 * K_{rok} \quad (6.22),$$

kde K_{rok} je roční zpracovatelská kapacita [kt] a I^{EV} jsou celkové příjmy jednotky EV SKO za prodej generované elektrické energie a kovového šrotu v [mil.Kč].

Jak již bylo řečeno, jediným uvažovaným příjmem jednotky MBU s AEF je prodej vytríděného kovového šrotu. V případě, že je technologie vybavena technologií ANF, přibývají příjmy z prodeje elektrické energie generované kogeneračními jednotkami. V případě prodeje elektrické energie není uvažováno s bonusy za prodej tzv. zelené energie

z důvodu objektivního porovnání s jednotkami EV SKO, které toto zvýhodnění nemají. Tabulka 6.28 udává měrné příjmy z prodeje kovového šrotu a elektrické energie na 1 t vstupujícího zpracovaného SKO pro jednotku MBÚ.

	měrná produkce	cena [Kč/kWh, Kč/t]	příjmy [Kč/t].
elektrická energie [kWh/t]	200	1,1	220,0
kovový šrot [t/t]	0,06	2500	150,0
celkové příjmy			370,0

Tabulka 6.28 Výše příjmů z prodeje kovového šrotu a elektrické energie vzniklé zpracováním 1 t SKO v jednotce MBÚ

S uvážením skutečné zpracovatelské kapacity a se zaokrouhlením lze tedy celkové příjmy z prodeje kovového šrotu a elektrické energie pro jednotku MBÚ vyjádřit:

$$I^{MBÚ} = 370 * 0,955 * 24 * \frac{K_{rok}}{1000} = 8,480 * K_{rok} \quad (6.23).$$

Příjmy za prodej kovového šrotu jednotky MBÚ čistě s technologií AEF lze vyjádřit:

$$I^{MBÚ, AEF} = 150 * 0,955 * 24 * \frac{K_{rok}}{1000} = 3,438 * K_{rok} \quad (6.24).$$

kde v obou rovnicích K_{rok} je roční zpracovatelská kapacita [kt] a $I^{MBÚ}$ jsou celkové příjmy jednotky MBÚ během její životnosti za prodej vytríděného kovového šrotu v [mil.Kč].

6.9 ZÁVISLOST ROČNÍ ZPRACOVATELSKÉ KAPACITY JEDNOTKY NA POLOMĚRU SVOZOVÉ OBLASTI

Aby mohla být pro potřeby výpočtového modelu obecně stanovena kapacita zpracovatelské jednotky, je zapotřebí zavést určitá zjednodušení. Množství produkovaného SKO je obecně udáváno jako množství SKO vznikající na jednoho obyvatele na určitém území a za určitý čas. Nejčastěji je ve statistikách k dispozici údaj o množství produkovaného SKO vztaheného na jednoho obyvatele a rok. Již v tomto okamžiku jde o podstatné zjednodušení a to z následujících důvodů:

- množství a složení produkovaného SKO není v průběhu času rovnoměrné a dochází k výkyvům souvisejícím zejména s ročním obdobím,
- množství a složení odpadu je závislé na typu zástavby v níž obyvatelé žijí (městská zástavba versus venkovská),
- množství a složení odpadu je závislé na ekonomické síle obyvatel.

K obecnému svázání produkce SKO s určitou plochou, respektive poloměrem svozové oblasti, je nezbytné stanovit počet obyvatel na tomto území. Zde však nastávají obdobné problémy jako při stanovování množství produkovaného odpadu na jednoho obyvatele. Počet obyvatel na jednotku území je opět závislý na:

- časovém údobí roku (čas dovolených, školních prázdnin , atd.) a
- na typu zástavby (vysoká hustota zalidnění v městských zástavbách oproti nízké hustotě zalidnění na venkově).

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

$$P_{odpad}^{S,t} = \iint_{S,t} f(S,t) dSdt \quad (6.25),$$

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. Pro vyjádření celkové produkce SKO v dané lokalitě a za daný čas je tedy nezbytné tuto funkci integrovat po ploše území S a za daný čas t .

Je zřejmé, že zcela obecné analytické řešení problému produkce SKO není tímto způsobem možné. V praxi je řešena možná svozová vzdálenost a množství produkovaného SKO na základě známých údajů z předchozích časových období a to v rámci studie proveditelnosti, protože jsou známa množství odpadů vznikajících na konkrétním území za konkrétní čas. Často mají tyto údaje podobu záznamů o navážce na skládku odpadů se znalostí místa původu daného množství odpadu. V podstatě tedy nejde o nic jiného, než o numerické řešení výše uvedeného integrálu.

Jak již bylo řečeno, obecné řešení výše uvedeného integrálu není pravděpodobně 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.

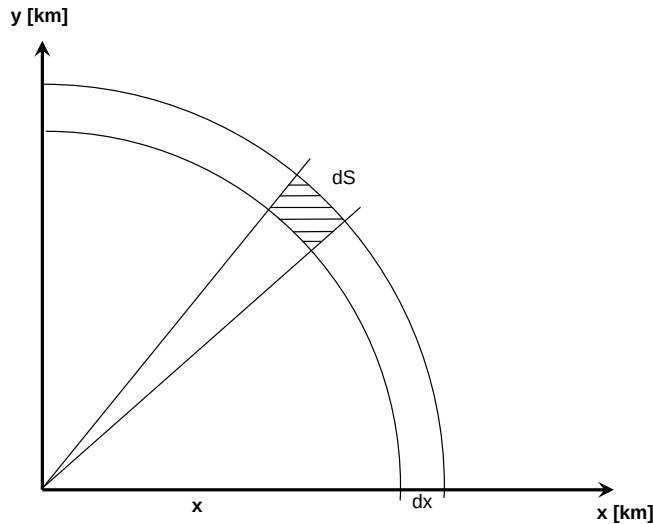
Výše uvedené předpoklady jsou reprezentovány hustotou obyvatel a produkcí SKO na obyvatele a rok, což jsou běžné statistické ukazatele. Celková produkce komunálního odpadu v ČR na obyvatele a rok 2008 je 305 kg, z toho 44 kg připadá na odděleně sbírané složky. Produkce SKO na obyvatele a rok tedy činí 261 kg [78].

Počet obyvatel ČR v prvním čtvrtletí roku 2010 činil 10 509 400 [79], což při rozloze ČR 78 864 km² odpovídá zaokrouhleně hustotě zalidnění 133 obyvv./km². Tyto údaje jsou použity pro všechny následující výpočty. Po aplikaci uvedených zjednodušení lze rovnici (6.25) vyjadřující produkci SKO na ploše území S zapsat takto:

$$P_{odpad}^S = \int_S p_{odpad}^{obyv} * \rho_{obyv} * dS \quad (6.26),$$

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

Obr. 6.6 ilustruje problém integrace plochy z hlediska svozové vzdálenosti.



Obr. 6.6 Určení kapacity jednotky v závislosti na ploše svozové oblasti

Je zřejmé, že rovnice (6.26) může být přepsána do podoby:

$$P_{odpad}^S = \int_0^r p_{odpad}^{obyv} * \rho_{obyv} * 2\pi * x * dx = p_{odpad}^{obyv} * \rho_{obyv} * \pi * r^2 \quad (6.27),$$

výsledkem je rovnice popisující plochu kruhu v závislosti na jeho poloměru, rozuměj, svozové vzdálenosti. Konečná podoba závislosti kapacity jednotky na svozové vzdálenosti tedy je:

$$K_{rok} = p_{odpad}^{obyv} * \rho_{obyv} * \frac{\pi}{1000000} * r^2 = 261 * 133 * \frac{\pi}{1000000} \approx 0,1091 * r^2 \quad (6.28),$$

kde K_{rok} je roční zpracovatelská kapacita jednotky v [kt], p_{odpad}^{obyv} je měrná produkce SKO v [kg/(obyvv.rok)], ρ_{obyv} je hustota zalidnění v [obyvv./km²] a r je svozová vzdálenost.

6.10 ZÁVISLOST DOPRAVNÍCH NÁKLADŮ NA POLOMĚRU SVOZOVÉ OBLASTI

Stanovení závislosti celkových dopravních nákladů na svoz odpadu ke zpracování je problematické obdobně jako stanovení množství SKO pocházejícího z oblasti svozu jednotky a není možné ho řešit obecně. Dopravní náklady každého určitého množství odpadu jsou závislé na skutečně ujeté vzdálenosti, která je daná stavem a možnostmi dopravní infrastruktury. 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.

Znáznornění situace by bylo obdobné jako na obr. 6.6 z předchozí kapitoly. Přírůstek nákladů na dopravu SKO z místa o infinitezimální ploše dS [km^2] a vzdálenosti x [km] můžeme s přihlédnutím k výše uvedeným předpokladům vyjádřit takto:

$$dC_{\text{doprava}} = x * c_{\text{doprava}} * p_{\text{odpad}}^{\text{obyt}} * \rho_{\text{obyt}} * dS \quad (6.29),$$

kde c_{doprava} jsou měrné cena dopravy SKO v [$\text{Kč}/(\text{km.t})$], $p_{\text{odpad}}^{\text{obyt}}$ je měrná produkce SKO v [$\text{kg}/(\text{obyv.rok})$], ρ_{obyt} je hustota zalidnění v [$\text{obyv.}/\text{km}^2$] 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. Plocha je pro potřeby integrace vyjádřena stejně jako u rovnice (6.27). Výsledný vztah pro integraci po vytknutí konstant před integrál tedy je:

$$C_{\text{doprava}} = c_{\text{doprava}} * p_{\text{odpad}}^{\text{obyt}} * \rho_{\text{obyt}} * 2 * \pi * \int_0^r x^2 * dx = \frac{2}{3} * \pi * c_{\text{doprava}} * 261 * 133 * r^3 \quad (6.30),$$

kde proměnné a konstanty mají stejný význam jako v rovnici (6.29), C_{doprava} jsou náklady na svoz SKO v [Kč] a r je svozová vzdálenost [km].

S přihlédnutím ke skutečné zpracovatelské kapacitě a skutečnosti, že dopravní prostředek musí vykonat cestu tam a zpět, lze tedy vyjádřit celkové náklady na svoz do jednotky EV SKO takto:

$$C_{\text{doprava}}^{\text{EV}} = c_{\text{doprava}} * 0,925 * 24 * \frac{2}{1000000000} * \frac{2}{3} * \pi * 261 * 133 * r^3 \approx 0,003228 * c_{\text{doprava}} * r^3 \quad (6.31),$$

kde c_{doprava} je měrná cena dopravy v [$\text{Kč}/(\text{t.km})$] a $C_{\text{doprava}}^{\text{EV}}$ jsou celkové náklady na dopravu za životnost pro jednotku EV SKO v [mil. Kč].

Analogicky lze vyjádřit celkové náklady na svoz do jednotky MBÚ takto:

$$C_{\text{doprava}}^{\text{MBÚ}} = c_{\text{doprava}} * 0,955 * 24 * \frac{2}{1000000000} * \frac{2}{3} * \pi * 261 * 133 * r^3 \approx 0,003333 * c_{\text{doprava}} * r^3 \quad (6.32),$$

kde $C_{\text{doprava}}^{\text{MBÚ}}$ jsou celkové náklady za dobu životnosti na svoz v [mil. Kč].

S využitím rovnice (6.28) dávající do vztahu roční zpracovatelskou kapacitu jednotky a svozovou vzdálenost, lze rovnice (6.31) a (6.32) přepsat do tvaru vyjadřujícího závislost celkových nákladů na dopravu pro jednotku EV SKO a jednotku MBÚ na kapacitě takto:

$$K_{rok} = 0,1091 * r^2 \Rightarrow r = \sqrt{\frac{K_{rok}}{0,1091}} \quad (6.33),$$

$$C_{doprava}^{EV} = 0,003228 * c_{doprava} * r^3 = 0,003228 * c_{doprava} * \sqrt{\frac{K_{rok}}{0,1091}}^3$$

$$C_{doprava}^{EV} = 0,089577 * c_{doprava} * K_{rok}^{\frac{3}{2}} \quad (6.34),$$

$$C_{doprava}^{MBÚ} = 0,092491 * c_{doprava} * K_{rok}^{\frac{3}{2}} \quad (6.35),$$

kde $C_{doprava}^{EV}$ a $C_{doprava}^{MBÚ}$ jsou náklady na dopravu za dobu životnosti jednotky EV SKO, respektive jednotky MBÚ v [mil. Kč].

6.10.1 Stanovení měrných nákladů na dopravu

Měrné náklady na dopravu lze chápat jako běžnou cenu dopravců nabízejících přepravu materiálu. Ceny dopravců jsou běžně dostupné z ceníků uváděných na internetu. Uvažováno je s dopravou SKO středně tonážními automobily (tonáž okolo 10 t) se vznětovým motorem, což přibližně odpovídá v praxi používaným svozovým automobilům.

Tabulka 6.29. udává ceny různých dopravců [80, 81] spolu s užitným objemem vozidla a výslednou cenou v [Kč/(t.km)]. Jako rozhodující parametr byl vybrán užitný objem vozidla, důvodem k tomu byla relativně malá sypná hmotnost SKO. Dříve je tak využit užitný objem vozidla, než jeho nosnost. Předpokládá se, že SKO bude před dopravou zhutněn na měrnou hmotnost 600 g/m³. Z této měrné hmotnosti je potom vypočtena reálná přepravovaná hmotnost SKO uvedená v tabulce.

užitný objem [m ³]	měrná cena [Kč/km]	přepravovaná hmotnost [t]	měrná cena [Kč/(t.km)]
7	35	4,2	8,33
14	45	8,4	5,36
8	35	4,8	7,29
10	37	6,0	6,17
16	47	9,6	4,90
12	37	7,2	5,14
20	55	12,0	4,58
15	45	9,0	5,00
průměr			5,85

Tabulka 6.29 Přehled cen dopravců

Reálně dosažitelná měrná cena dopravy by s velkou pravděpodobností byla nižší díky slevám za dlouhodobý kontrakt. Pro účely této práce tak byla stanovena jako základní měrná cena dopravy hodnota 5 Kč/(t.km).

6.10.2 Stanovení koeficientu nepřímosti trasy

V kapitole 6.10 byl stanoven předpoklad, že trasa dopravy je daná ideální přímkou spojnící místa produkce odpadu a polohou jednotky zpracování odpadu. Tento předpoklad byl účelově zaveden pro úvodní řešení problému. Ve skutečnosti v drtivé většině mají skutečné dopravní trasy větší délku než ideální přímá trasa. Jednou z možností řešení skutečné délky dopravní trasy je zavedení koeficientu nepřímosti trasy, který je definovaný takto:

$$k_{nepřímost} = \frac{s_{prima}}{s_{skut.}} \quad (6.36),$$

kde $k_{nepřímost}$ je bezrozměrný koeficient nepřímosti trasy, s_{prima} je přímá vzdálenost mezi lokacemi v [km] a $s_{skut.}$ je skutečná dopravní vzdálenost mezi lokacemi v [km]. Přímá vzdálenost může být chápána také jako vzdálenost vzdušnou čarou.

Tabulka 6.30 uvádí přehled přímých vzdáleností a skutečných dopravních vzdáleností různých lokací získaných z [83], přičemž v tabulce jsou jednotlivé případy členěny na následující typy spojení:

- v rámci města mezi ulicemi,
- v rámci mikroregionálního měřítka mezi obcemi mikroregionu a městem,
- v rámci kraje mezi městy,
- v rámci ČR mezi krajskými městy.

Z vyhodnocení průměrných koeficientů nepřímosti pro jednotlivé skupiny spojení lze vyvodit několik závěrů:

- koeficient nepřímosti klesá se vzájemnou vzdáleností lokací,
- koeficient nepřímosti v mikroregionálním a městském měřítku nabývá hodnoty okolo 1,35,
- koeficient nepřímosti v krajském a v měřítku ČR nabývá hodnot okolo 1,16.

Díky faktu, že roční zpracovatelská kapacita jednotky je spjata se svozovou vzdáleností, je možné regresní analýzou s využitím mocninné funkce stanovit závislost koeficientu nepřímosti trasy na roční zpracovatelské kapacitě jednotky takto:

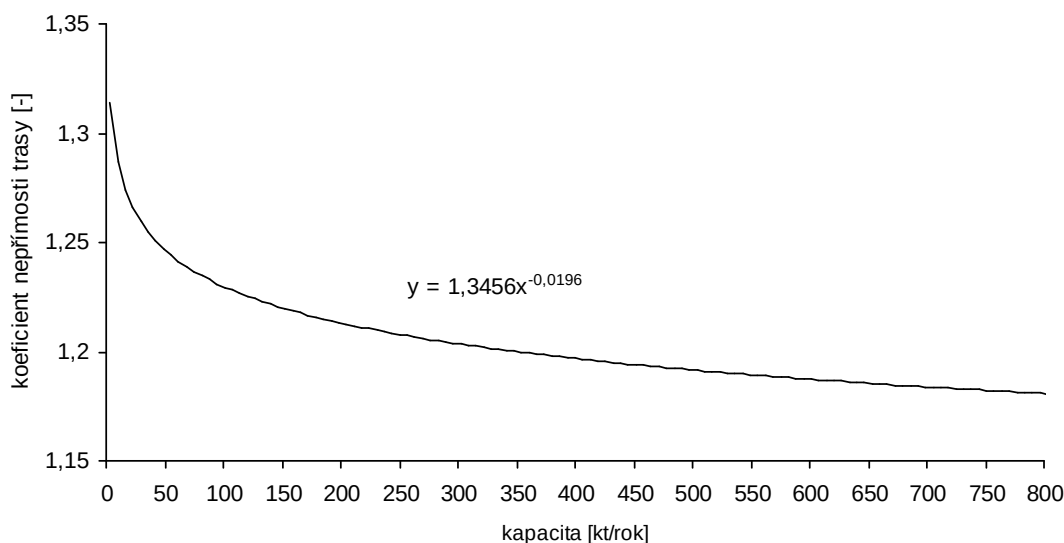
$$k_{nepřímost} = 1,3456 * K_{rok}^{-0,0196} \quad (6.37),$$

kde $k_{nepřímost}$ je bezrozměrný koeficient nepřímosti trasy a K_{rok} je roční zpracovatelská kapacita jednotky v [kt].

Průběh závislosti koeficientu nepřímosti trasy na roční zpracovatelské kapacitě ukazuje obr. 6.7

odkud	kam	přímá vzdálenost [km]	skutečná dopravní vzdálenost [km]	koeficient nepřímosti [-]
Leštinská	Severovýchod	1,3	1,6	1,23
Leštinská	Krumpach	2,5	2,8	1,12
Leštinská	Jana Welzla	1,9	2,6	1,37
Leštinská	Kosmonautů	1,2	1,4	1,17
Leštinská	Skalička	1,1	2,0	1,82
Leštinská	Ráječek	1,3	1,8	1,38
průměr		1,55	2,03	1,35
Zábřeh	Pivonín	3,9	4,5	1,15
Zábřeh	Sudkov	6,6	8,2	1,24
Zábřeh	Štíty	11,6	16,5	1,42
Zábřeh	Hoštejn	7,0	9,6	1,37
Zábřeh	Vyšehoří	5,6	6,8	1,21
Zábřeh	Hynčina	8,9	15,3	1,72
Zábřeh	Kamená	12,0	16,9	1,41
průměr		7,94	11,11	1,36
Olomouc	Zábřeh	42,0	47,4	1,13
Olomouc	Hranice	35,3	39,1	1,11
Olomouc	Prostějov	17,0	19,5	1,15
Olomouc	Šumperk	46,0	53,2	1,16
Olomouc	Letovice	48,7	61,8	1,27
Olomouc	Boskovice	44,2	56,0	1,27
průměr		41,77	49,53	1,18
Praha	Olomouc	210,3	237,3	1,13
Praha	Brno	185,5	206,3	1,11
Brno	Ostrava	141,5	163,7	1,16
Ostrava	Hradec Králové	180,6	227,5	1,26
Liberec	Č.Budějovice	203,2	235,8	1,16
Ústí n. Labem	Jihlava	179,4	203,7	1,14
Plzeň	Pardubice	174,8	194,7	1,11
Průměr		182,19	209,86	1,15

Tabulka 6.30 Přehled přímých a skutečných dopravních vzdáleností



Obr. 6.7 Závislost koeficientu nepřímosti trasy na roční zpracovatelské kapacitě jednotky

Při znalosti závislosti koeficientu nepřímosti trasy na roční kapacitě mohou být rovnice (6.34) a (6.35) vyjadřující celkové náklady na dopravu pro jednotku EV SKO a jednotku MBÚ upraveny takto:

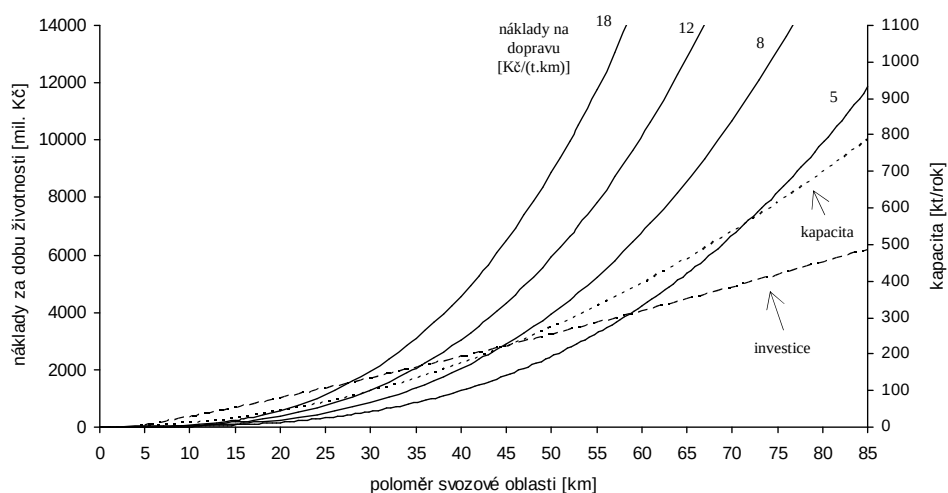
$$C_{doprava}^{EV} = 0,089577 * c_{doprava} * k_{nepřímost} * K_{rok}^{\frac{3}{2}} = 0,089577 * c_{doprava} * 1,3456 * K_{rok}^{-0,0195} * K_{rok}^{\frac{3}{2}}$$

$$C_{doprava}^{EV} = 0,1205348 * c_{doprava} * K_{rok}^{1,4805} \quad (6.38),$$

$$C_{doprava}^{MBÚ} = 0,1244559 * c_{doprava} * K_{rok}^{1,4805} \quad (6.39),$$

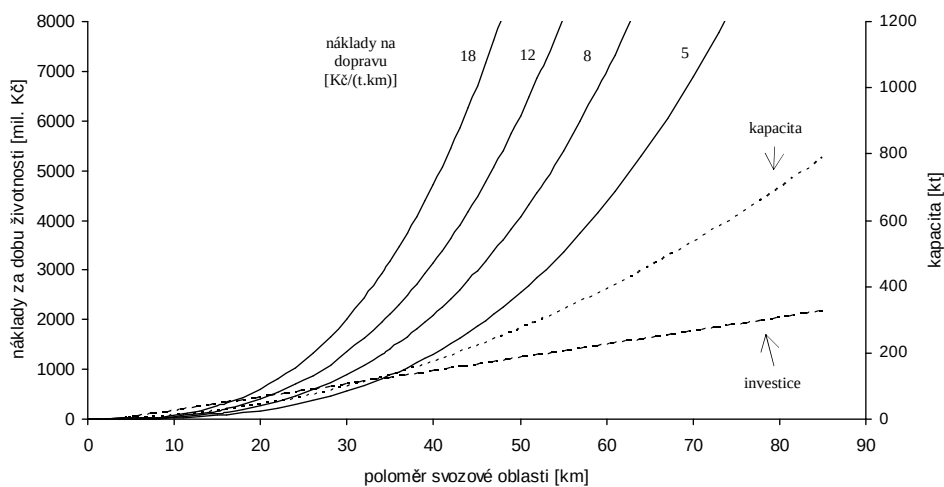
kde $c_{doprava}$ je měrná cena dopravy v [Kč/(t.km)], K_{rok} je roční zpracovatelská kapacita v [kt] a $C_{doprava}^{EV}$ a $C_{doprava}^{MBÚ}$ jsou celkové náklady na dopravu za životnost pro jednotku EV SKO, respektive jednotku MBÚ v [mil. Kč].

Obr 6.8 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.



Obr. 6.8 Závislost kapacity, celkových investičních a dopravních nákladů na svazové vzdálenosti pro jednotku EV SKO

Obr. 6.9 znázorňuje závislost roční zpracovatelské kapacity, celkových investičních a dopravních nákladů za dobu životnosti (pro různé měrné náklady na dopravu) na svazové vzdálenosti pro jednotku MBÚ.



Obr. 6.9 Závislost kapacity, celkových investičních a dopravních na svazové vzdálenosti pro jednotku MBÚ

6.11 ZHODNOCENÍ CELKOVÝCH VÝDAJŮ A PŘÍJMŮ

Vzhledem k rozsáhlosti předcházejících kapitol jsou pro lepší přehlednost v tab. 6.31 uvedeny výsledné vztahy týkající se nákladů a příjmů pro jednotku EV SKO. Výsledné vztahy nákladů a příjmů pro jednotku MBÚ uvádí tab. 6.32.

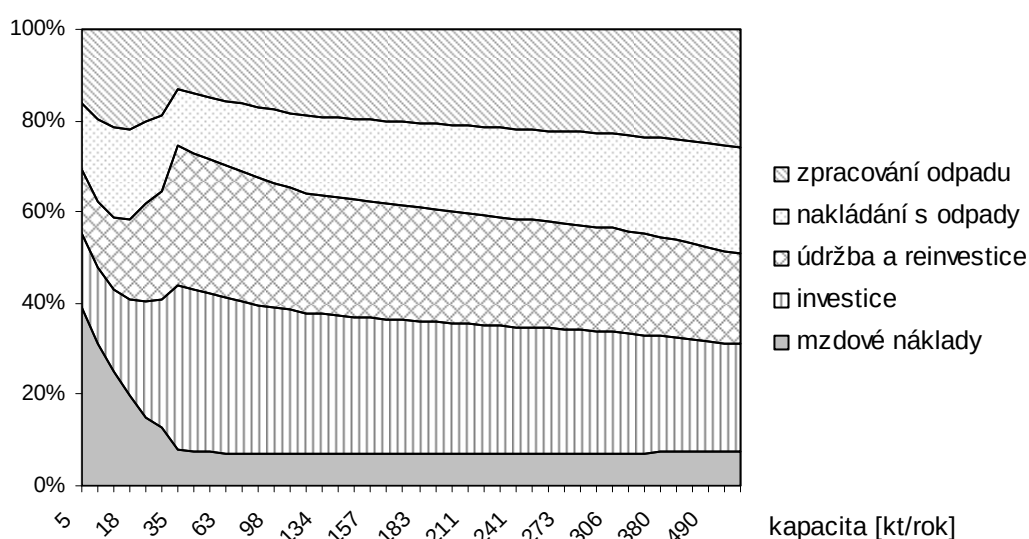
Náklady a příjmy jednotky EV SKO		
investiční	do 35 kt/rok	$C_{inv}^{EV, <35} = 35,264 * e^{0,0863 * K_{rok}}$ (5.24)
	nad 35 kt/rok	$C_{inv}^{EV, >35} = 102,06 * K_{rok}^{0,6083}$ (5.22)
údržba a reinvestice	do 35 kt/rok	$C_{udr, reinv}^{EV, <35} = 29,974 * e^{0,0863 * K_{rok}}$ (6.1)
	nad 35 kt/rok	$C_{udr, reinv}^{EV, >35} = 86,751 * K_{rok}^{0,6083}$ (6.2)
mzdové náklady		$C_{mzdy}^{EV} = 2,5537 * K_{rok} + 106,84$ (6.7)
zpracování odpadu		$C_{zprac}^{EV} = 9,324 * K_{rok}$ (6.9)
nakládání s rezidui		$C_{rezidua}^{EV} = 10,989 * K_{rok}$ (6.11)
prodej el. energie	do 20 kt/rok	$I^{EV, <20} = 10,168 * K_{rok}$ (6.21)
a kovového šrotu	nad 20 kt/rok	$I^{EV, >20} = 10,650 * K_{rok}^{1,0575} + 3,330 * K_{rok}$ (6.22)
náklady na dopravu		$C_{doprava}^{EV} = 0,1205348 * c_{doprava} * K_{rok}^{1,4805}$ (6.38)

Tabulka 6.31 Přehled vztahů pro příjmy a výdaje jednotky EV SKO

Náklady a příjmy jednotky MBÚ		
investiční	do 30 kt/rok	$C_{inv}^{MBÚ, <30} = 22,77 * e^{0,1074 * K_{rok}}$ (5.27)
	čistě s AEF	$C_{inv}^{MBÚ, AEF <30} = 13,662 * e^{0,1074 * K_{rok}}$ (5.29)
	nad 30 kt/rok	$C_{inv}^{MBÚ, >30} = 59,32 * K_{rok}^{0,5403}$ (5.28)
	čistě s AEF	$C_{inv}^{MBÚ, AEF >30} = 35,592 * K_{rok}^{0,5403}$ (5.30)
údržba a reinvestice	do 30 kt/rok	$C_{udr, reinv}^{MBÚ, <30} = 17,078 * e^{0,1074 * K_{rok}}$ (6.3)
	čistě s AEF	$C_{udr, reinv}^{MBÚ, AEF <30} = 10,247 * e^{0,1074 * K_{rok}}$ (6.4)
	nad 30 kt/rok	$C_{udr, reinv}^{MBÚ, >30} = 44,490 * K_{rok}^{0,5403}$ (6.5)
	čistě s AEF	$C_{udr, reinv}^{MBÚ, AEF >30} = 26,694 * K_{rok}^{0,5403}$ (6.6)
mzdové náklady		$C_{mzdy}^{MBÚ} = 2,7855 * K_{rok} + 66,04$ (6.8)
zpracování odpadu		$C_{zprac}^{MBÚ} = 3,885 * K_{rok}$ (6.10)
nakládání s odpady (TF, LF a SF)		$C_{rezidua}^{MBÚ} = 18,680 * K_{rok}$ (6.12)
nakládání s odpady (TF a SF)		$C_{rezidua}^{MBÚ, TF, SF} = 9,053 * K_{rok}$ (6.13)
prodej kovového šrotu (čistě AEF)		$I^{MBÚ, AEF} = 3,438 * K_{rok}$ (6.24)
prodej kovového šrotu a el. energie		$I^{MBÚ} = 8,480 * K_{rok}$ (6.23)
náklady na dopravu		$C_{doprava}^{MBÚ} = 0,1244559 * c_{doprava} * K_{rok}^{1,4805}$ (6.39)

Tabulka 6.32 Přehled vztahů pro příjmy a výdaje jednotky MBÚ

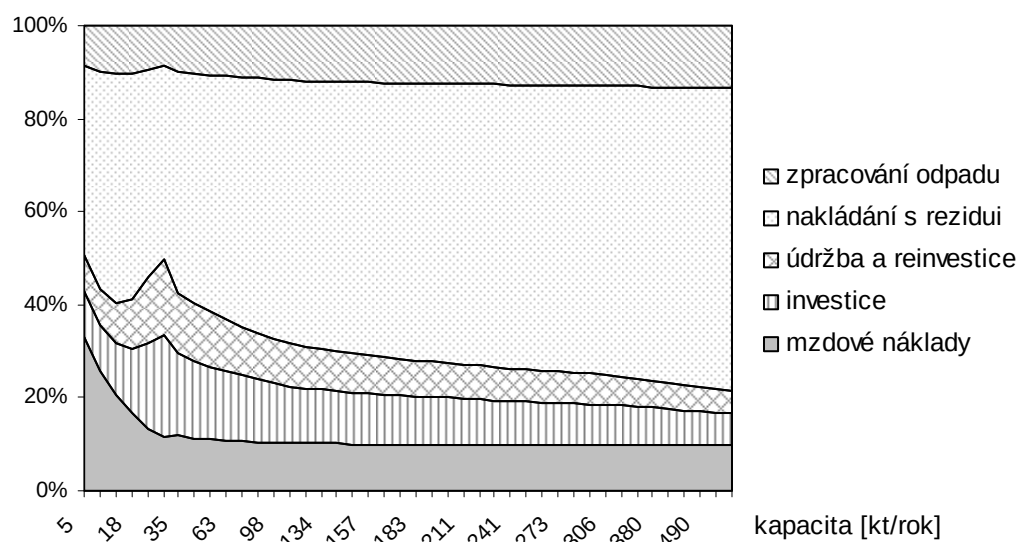
Obr. 6.10 udává procentuální zastoupení jednotlivých skupin nákladů jednotky EV SKO v závislosti na její roční zpracovatelské kapacitě bez zahrnutí nákladů na dopravu. Procentuální zastoupení nákladů jsou vypočtena vzhledem k nákladům za celou dobu životnosti. Za povšimnutí stojí postupně se zvyšující podíl mzdových nákladů u jednotek s nízkou roční zpracovatelskou kapacitou a větší procentuální zastoupení investičních nákladů u jednotek středních kapacit. To je způsobeno předpokládaným prudkým měrným nárůstem ceny pro jednotky středních kapacit. Při porovnání výsledku s obr. 6.1 v úvodu kapitoly 6 je zřejmé menší procentuální zastoupení investičních nákladů. Možnou příčinou může být zahrnutí nákladů na splácení úvěru do investiční ceny v obr. 6.1, které nebyly při výpočtech uvažovány. Vzhledem k absenci jakýchkoli dalších údajů či vysvětlení k obr. 6.1 je však další rozbor bezpředmětný.



Obr. 6.10 Procentuální zastoupení skupin celkových nákladů za dobu životnosti v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě pro jednotky EV SKO

Pro jednotky malých kapacit z obrázku vyplývá nutnost směřování případných úsporných opatření primárně do oblasti mzdových nákladů. Jednotky větších zpracovatelských kapacit by se měly především zaměřovat na úsporu nákladů na zpracování odpadu a nákladů spojených s rezidui. To je především představováno optimalizací dávkování sorbentů a úsporami elektrické energie. Při nakládání s odpady je klíčovou možností udání produkované škváry jako stavebního materiálu. Tím odpadají poplatky za uložení na skládku a naopak se prodej škváry může stát dalším zdrojem příjmů.

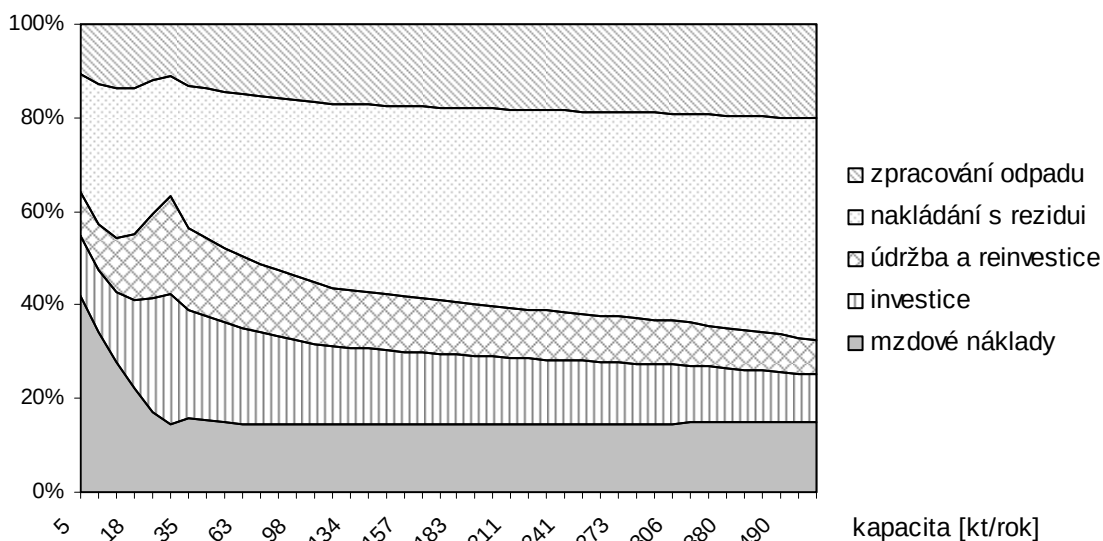
Obr. 6.11 analogicky udává procentuální zastoupení celkových nákladů za dobu životnosti pro jednotku MBÚ a to opět bez zahrnutí nákladů na dopravu. Průběh procentuálního zastoupení jednotlivých skupin nákladů v závislosti na kapacitě jednotky je kvalitativně podobný jako u jednotky EV SKO. Výjimkou je posunutí maximálního zastoupení investičních nákladů k jednotkám nižších kapacit. Vysoký podíl zastoupení nákladů souvisejících s odpady je dán předpokladem, že všechny hmotové proudy vystupující z technologie vyjma kovového šrotu budou ukládány na skládku.



Obr. 6.11 Procentuální zastoupení skupin celkových nákladů za dobu životnosti v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě pro jednotky MBÚ s ukládáním všech frakcí na skládku

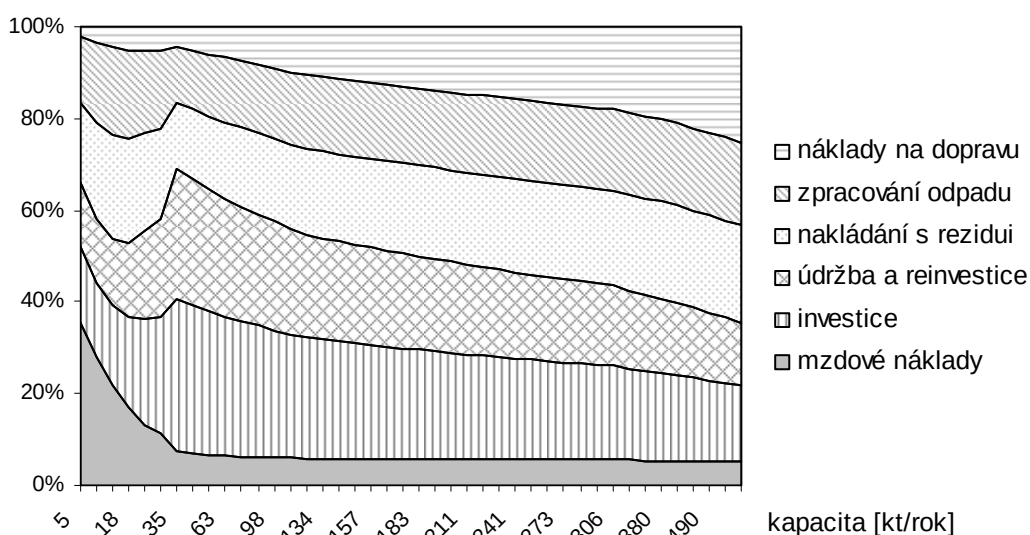
Situaci, kdy jediným proudem, který je nutné uložit na skládku, je těžká frakce, popisuje obr. 6.12. Vliv nákladů spojených s odpady je tímto předpokladem podstatně redukován a průběh závislosti procentuálního zastoupení jednotlivých skupin nákladů se přiblížil tímto předpokladem jednotce EV SKO i kvantitativně.

Doporučení úsporných opatření jsou v podstatě shodná s jednotkou EV SKO. Jen škvára je v případě MBÚ představována těžkou frakcí. Vzhledem k tomu, že těžká frakce často bývá představována kamením, popelem a stavební sutí opět je možné hledat její uplatnění formou stavebního materiálu.

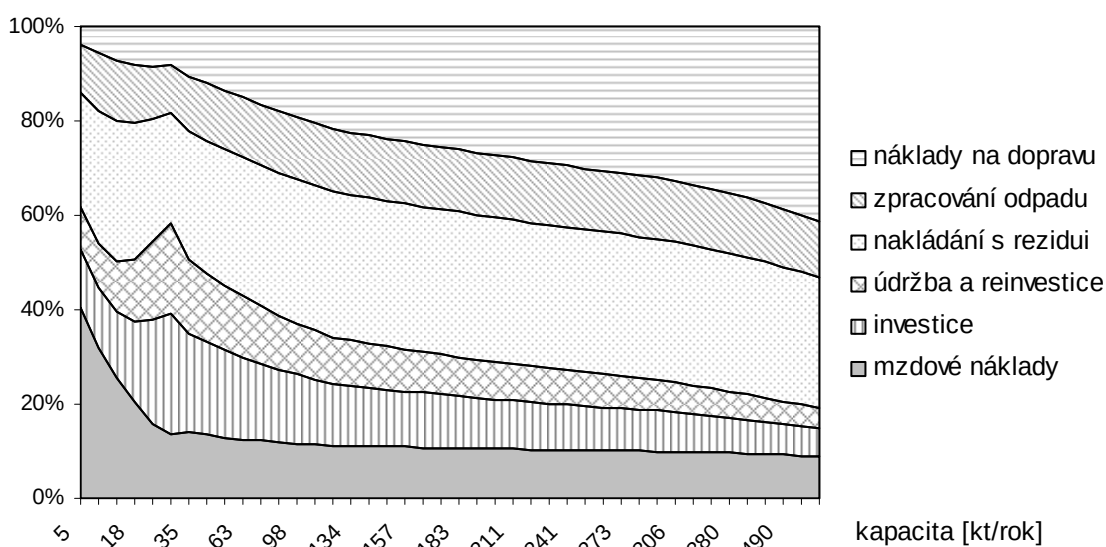


Obr. 6.12 Procentuální zastoupení skupin celkových nákladů za dobu životnosti jednotky v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě jednotky MBÚ s ukládáním těžké a stabilizované frakce na skládku

V okamžiku, kdy jsou uvaženy náklady na dopravu (což u v současnosti provozovaných jednotek není obvyklé), měly by se priority úspor u jednotek s větší zpracovatelskou kapacitou přesunout k opatřením snižujícím náklady na dopravu. Situaci pro jednotky EV SKO popisuje obr. 6.13 a pro jednotky MBÚ obr. 6.14. Měrná cena dopravy je v obou případech uvažována ve výši 5 Kč/(t.km). U jednotky MBÚ je uvažováno s ukládáním těžké a stabilizované frakce na skládku.



Obr. 6.13 Procentuální zastoupení skupin celkových nákladů za dobu životnosti v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě pro jednotky EV SKO s vlivem nákladů na dopravu



Obr. 6.14 Procentuální zastoupení skupin celkových nákladů za dobu životnosti v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě pro jednotky MBÚ s vlivem nákladů na dopravu a ukládáním těžké a stabilizované frakce na skládku

7 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. Tato účelová funkce bude rovna součtu všech funkcí vyjadřujících jednotlivé skupiny nákladů a příjmů za dobu životnosti jednotky. Jelikož ve skupině příjmů není uvažován hlavní příjem ve formě poplatku za zpracování odpadu, lze tuto funkci chápat jako celkový náklad. Pokud by se výše tohoto celkového nákladu rovnala výši poplatku za zpracování odpadu, pak by celková ekonomická bilance jednotky za dobu životnosti byla nulová.

Jako příklad je uvedena účelová funkce pro jednotku EV SKO s roční zpracovatelskou kapacitou nad 35kt:

$$C_{>35}^{EV} = C_{inv,>35}^{EV} + C_{udr, reinv}^{EV} + C_{mzdy}^{EV} + C_{zprac}^{EV} - I^{EV} + C_{doprava}^{EV}$$

$$C_{>35}^{EV} = 0,092491 * c_{doprava} * K_{rok}^{\frac{3}{2}} - 9,928 * K_{rok}^{1,0522} + 189,351 * K_{rok}^{0,6083} + 16,9837 * K_{rok} + 106,84 \quad (7.1)$$

Nalezení roční zpracovatelské kapacity, při níž budou celkové náklady minimální, je problémem nalezení globálního minima účelové funkce. To lze vyřešit nalezením kořenů derivace účelové funkce podle roční zpracovatelské kapacity.

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:

$$c^{EV} = \frac{1000 * C^{EV}}{0,925 * 24 * K_{rok}} = \frac{C^{EV}}{0,0222 * K_{rok}} \quad (7.2),$$

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].

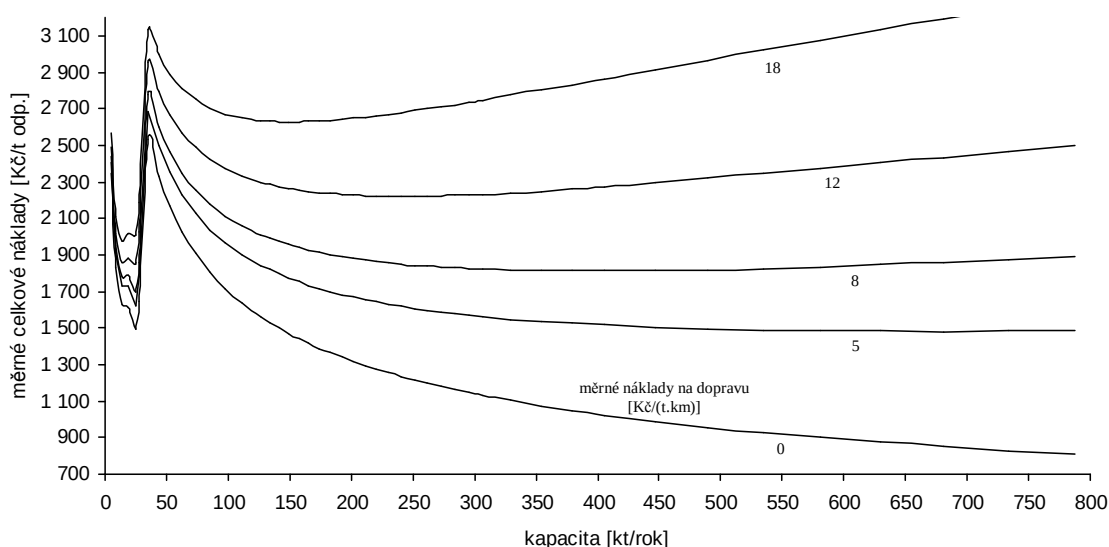
Analogicky mohou být vyjádřeny celkové měrné náklady i pro jednotku MBÚ:

$$c^{MBÚ} = \frac{1000 * C^{MBÚ}}{0,955 * 24 * K_{rok}} = \frac{C^{MBÚ}}{0,02292 * K_{rok}} \quad (7.3),$$

kde $c^{MBÚ}$ jsou celkové měrné náklady v [Kč/t], $C^{MBÚ}$ jsou celkové náklady a příjmy za dobu životnosti jednotky v [mil. Kč] a K_{rok} je roční zpracovatelská kapacita jednotky v [kt].

Obr. 7.1 ukazuje průběh celkových měrných nákladů v závislosti na zpracovatelské kapacitě pro různé hodnoty měrné ceny dopravy pro jednotku EV SKO. Při porovnání s poplatky za zpracování odpadu Termizo, a.s., které se pohybují od 1 300 do 2 300 Kč/t dle

typu odpadu [59], a s poplatky ZEVO Malešice [58], které jsou za zpracování SKO 2 290 Kč/t, vykazují výsledné celkové měrné náklady dobrou shodu. Je nezbytné si uvědomit, že v modelu jsou do celkových měrných nákladů promítnuty i náklady na dopravu a do příjmů není naopak zahrnut prodej tepla v jakékoli podobě. Přitom u jednotky EV SKO s kapacitou 100 kt/rok vybavené kondenzační turbínou (viz kapitola 6.8) je k dispozici teplo odebírané v kondenzátoru ve výši zhruba 7,3 GJ/t SKO. Ekonomický potenciál spočívající v prodeji tepla při ceně 600 Kč/GJ je tedy veliký.



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

Pozn. Z obrázku není zřejmý pomalý nárůst měrných nákladů u jednotek s kapacitou nad 790 kt/ročně při měrné ceně dopravy 5 Kč.

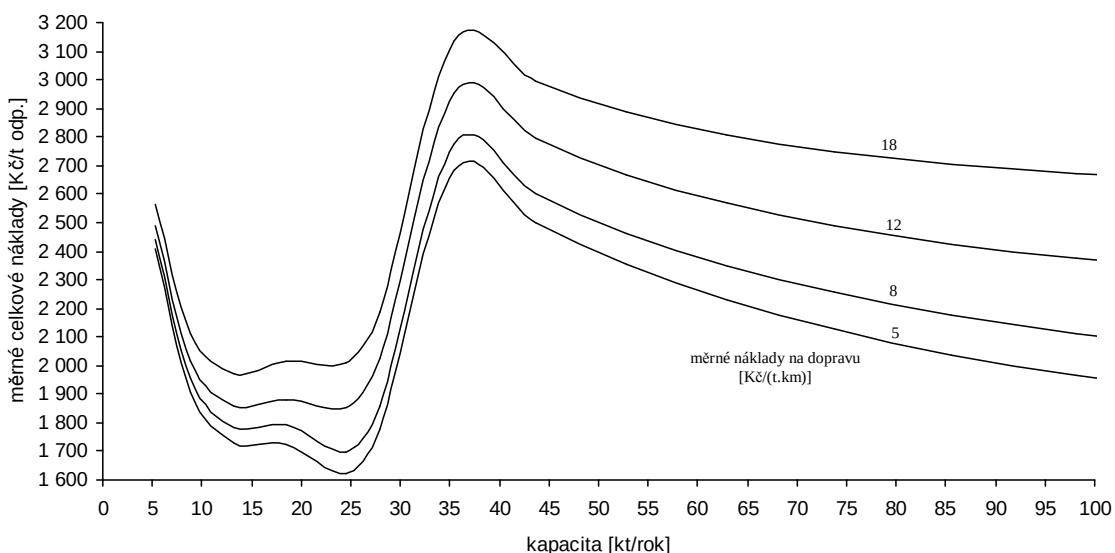
Z dat obsažených v obr. 7.1 lze vyvodit několik závěrů:

- Při nízké měrné ceně dopravy dosahují nejnižších měrných nákladů jednotky se svozovou vzdáleností 77 až 84 km, tzn. o roční zpracovatelské kapacitě v rozsahu 650 až 750 kt.
- Jednotky malých kapacit, tzn. se svozovou vzdáleností do 15 km, jsou konkurenceschopné při všech měrných cenách dopravy. Při měrné ceně dopravy 8 a více Kč/(t.km) dokonce dosahují nejnižších měrných nákladů s vlivem dopravy.
- Vzhledem k malým dopravním vzdálenostem jsou měrné náklady s vlivem dopravy jednotek malých kapacit nejméně citlivé na výši měrných cen dopravy.
- Z jednotek s kapacitou nad 100 kt/rok se nejméně citlivou vůči nákladům na dopravu jeví jednotka s roční zpracovatelskou kapacitou okolo 200 kt.
- Nejvyšších měrných nákladů při všech úrovních měrné ceny dopravy dosahují jednotky s roční zpracovatelskou kapacitou 40 až 60 kt.

Je pravděpodobné, že stavba jednotky na termické zpracování SKO o kapacitě 650 až 750 kt je v prostředí ČR nereálná. Zejména veřejnost je silně proti výstavbě nových jednotek, ačkoli ne vždy je její odpor opodstatněný. Toto se např. ukazuje i při pokusech o postavení nové jednotky EV SKO nebezpečných odpadů v Rybitví rakouskou společností AVE CZ

odpadové hospodářství, s.r.o. Malé jednotky by tak mohly mít větší šanci na realizaci díky tomu, že jsou zbaveny stigma tzv. „obří spalovny produkující tuny toxických emisí“. Navíc menší tepelný výkon umožňuje jejich napojení na menší síť centrálního zásobování teplem (např. sídlištní). Případně je možné jejich použití jako primárního zdroje tepla menších průmyslových provozů, jejichž tepelné zdroje mají výkony typicky okolo 3 MW. Využití tepla je přitom zcela nezbytné pro dosažení vysoké účinnosti využití energie paliva a ekomické rentability jednotky. Využití veškerého tepla u jednotek s vyšší roční zpracovatelskou kapacitou složitější a vyžaduje si velký spotřebič tepla, případně vybudování rozsáhlé sítě centrálního zásobování teplem, ve které bude zahrnuto více menších spotřebičů.

Obr. 7.2 v detailu zobrazuje průběh celkových měrných nákladů pro jednotky malých a středních kapacit. Zřetelně je vidět oblast nízkých měrných nákladů pro roční zpracovatelské kapacity v rozsahu 10 až 25 kt. Minimum u kapacity 25 kt/rok je dáno vysokou měrnou produkcí a prodejem elektrické energie. Lze předpokládat, že maximum celkových měrných nákladů pro jednotky o kapacitě 35 až 40 kt/rok by nebylo při hladkém navázání funkcí vyjadřujících výši investičních pomoci třetí funkce natolik výrazné.



Obr. 7.2 Závislost celkových měrných nákladů jednotky EV SKO na roční zpracovatelské kapacitě s vlivem dopravy pro jednotky malých kapacit

7.1 CENTRÁLNÍ SVOZ ODPADU

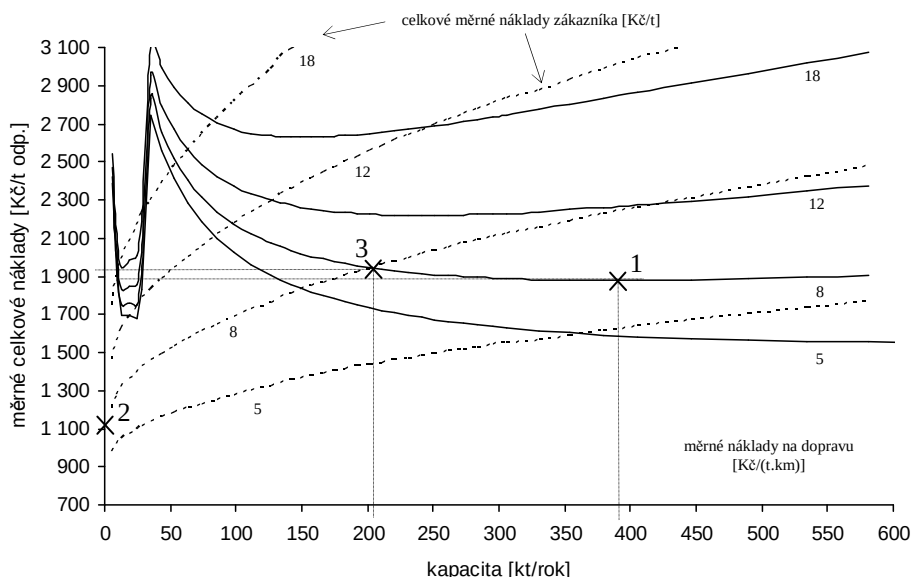
Situaci, kdy součástí celkových měrných nákladů jsou i náklady na dopravu, si lze představit jako centrální svoz realizovaný samotnou jednotkou nebo svozovou společností, která stanoví jednotnou cenu za odvoz pro všechny původce odpadu nacházející se ve svozové oblasti, a to bez ohledu na jejich skutečnou vzdálenost od jednotky. Zákazník vzdálený jeden kilometr od jednotky tedy zaplatí stejnou cenu za odvoz a zpracování odpadu jako zákazník vzdálený deset kilometrů od jednotky.

To lze také chápat tak, že cena dopravy bude zprůměrována a promítnuta do jednoho celkového poplatku za odvoz a zpracování odpadu. To není v dnešní době běžné a náklady na dopravu zpravidla nese sám zákazník. Je zřejmé, že zákazník v určité vzdálenosti od jednotky

zaplatí za dopravu tak velkou částku, že bude zvažovat odvoz do jiného zařízení, které sice může mít samotný poplatek za zpracování odpadu vyšší, ale díky nižším nákladům za dopravu zaplatí zákazník celkově za dopravu a zpracování odpadu stejně nebo méně.

Spojením a zprůměrováním poplatku za svoz a za zpracování odpadu si jednotka může zajistit konkurenční výhodu oproti jednotce, která má stanovený pouze poplatek za zpracování odpadu a neřeší dopravu odpadu od zákazníka do svého provozu.

Tuto situaci demonstruje obr. 7.3. Pro každou měrnou cenu dopravy je určena jednotka EV SKO s největší roční zpracovatelskou kapacitou a nejnižšími celkovými měrnými náklady se zahrnutím nákladů na dopravu. Následně jsou u této jednotky určeny celkové měrné náklady bez vlivu nákladů na dopravu (ty lze chápat jako poplatek za zpracování odpadu) a dále je stanovena vzdálenost, kdy konkurenční jednotka EV SKO se zavedeným celkovým poplatkem za odvoz a zpracování odpadu bude schopna nabídnout nižší cenu. Pro lepší srozumitelnost bude vše ukázáno na krátkém příkladu.



Obr. 7.3 Srovnání jednotek EV SKO s jednotným poplatkem za odvoz a zpracování odpadu s jednotkami EV SKO s poplatkem pouze za zpracování odpadu

Jednotkou s nejnižšími měrnými náklady (1 878 Kč/t SKO) s uvažováním nákladů na dopravu je pro měrnou cenu dopravy 8 Kč/(t.km) jednotka s roční zpracovatelskou kapacitou 380 kt/rok (bod 1). Tato jednotka má poloměr svozové vzdálenosti 59 km. Celkovým měrným nákladům s uvažováním nákladů na dopravu 1 878 Kč/t odpovídají celkové měrné náklady bez vlivu dopravy ve výši 1 115 Kč. Toto by tedy byl poplatek za zpracování odpadu, který by jednotka EV SKO stanovila v případě, že by si zákazníci odpad ke zpracování do jednotky EV SKO dováželi na své vlastní náklady. Teoreticky by měl náklady na zpracování a odvoz odpadu ve výši tohoto poplatku zákazník v nulové vzdálenosti od jednotky EV SKO (vyznačeno jako bod 2 na svislé ose). Jakýkoli jiný zákazník v nenulové vzdálenosti musí k tomuto poplatku připočíst náklady na dopravu odpadu do jednotky EV SKO.

Celkové měrné náklady pro zákazníka jsou tedy rovny poplatku za zpracování odpadu (1 115 Kč/t) a nákladům na dopravu odpadu. Tyto celkové měrné náklady zákazníka jsou vyznačeny pro jednotlivé měrné ceny dopravy tečkovanými čarami. V určité vzdálenosti

celkové měrné náklady zákazníka převyší díky nákladům na dopravu celkové měrné náklady s vlivem dopravy jiné konkurenční jednotky EV SKO (bod 3) a je tedy pro něj výhodnější dodat svůj odpad do této jednotky EV SKO. Ta si odpad ke zpracování sama od zákazníka odveze za jednotný poplatek stejný pro všechny zákazníky v její svozové oblasti. V tomto případě je to jednotka EV SKO s kapacitou 205 kt/rok s celkovými měrnými náklady s vlivem dopravy ve výši 1 935 Kč/t, která má poloměr svozové oblasti 44 km. To také jinak znamená, že zákazníkovi ve vzdálenosti 44 km od první jednotky EV SKO se vyplatí použití služeb jednotky EV SKO druhé. Druhá jednotka EV SKO s kapacitou 205 kt/rok má celkové měrné náklady bez uvážení nákladů na dopravu ve výši 1 359 Kč. Je tedy zřejmé, že jednotka EV SKO se zavedeným vlastním svozem odpadu a se zprůměrovaným jednotným poplatkem za odvoz a zpracování odpadu má konkurenční výhodu oproti jednotkám EV SKO, které sice mají nižší celkové měrné náklady na zpracování odpadu bez vlivu dopravy, ale nemají zavedený vlastní centrální svoz. Tabulka 7.1 shrnuje údaje v příkladu.

při měrné ceně dopravy 8 Kč(t.km)	jednotka EV SKO o kapacitě 205 kt/rok	jednotka EV SKO o kapacitě 380 kt/rok
svozová vzdálenost jednotky EV SKO [km]	44	59
celkové měrné náklady s vlivem nákladů na dopravu [Kč/t]	1 940	1 878
celkové měrné náklady bez vlivu nákladů na dopravu [Kč/t]	1 370	1 115
měrné náklady na dopravu zákazníka ve vzdálenosti 44 km [Kč/t]	830	830

Tabulka 7.1 Srovnání celkových měrných nákladů jednotek EV SKO

Je zřejmé, že zákazník ze vzdálenosti 44 km od jednotky EV SKO o kapacitě 380 kt/rok má měrné náklady na dopravu 830 Kč/t. Když tyto náklady sečteme s celkovými měrnými náklady bez vlivu dopravy ve výši 1 115 Kč/t (tzn. s poplatkem za zpracování odpadu), dostáváme celkovou částku 1 945 Kč. Tuto cenu však zákazníkovi může nabídnout jednotka EV SKO o kapacitě 205 kt/rok, avšak se zavedeným centrálním svozem a jednotným poplatkem za zpracování a odvoz odpadu.

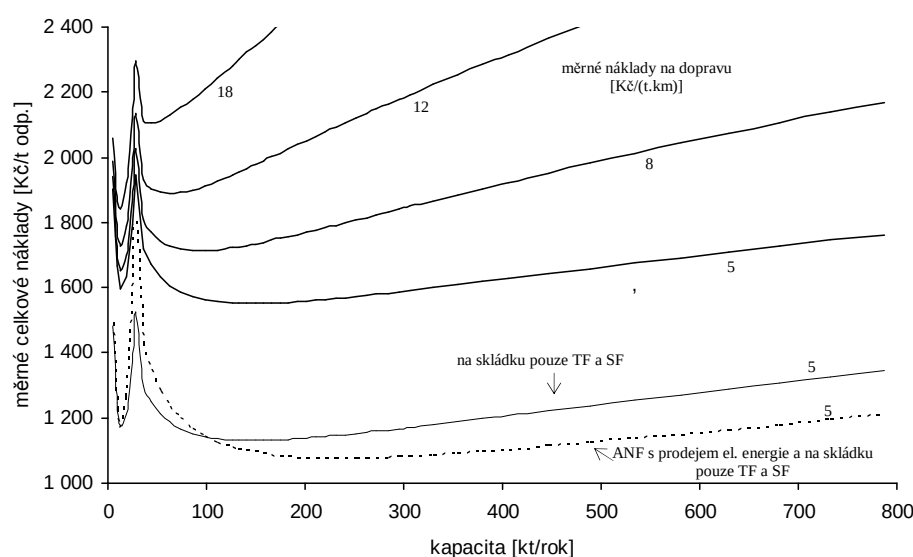
Lze předpokládat, že realizovatelnější bude spojení poplatku za zpracování a odvoz u jednotek s malou svozovou oblastí. Poloměr svozové oblasti jednotky s roční zpracovatelskou kapacitou 10 kt je přibližně 9,5 km. Tato vzdálenost dobře odpovídá mikroregionálnímu měřítku. Přičemž oblast mikroregionu je obvykle obhospodařována jednou svozovou firmou, která navíc často bývá vlastněna obecními nebo městskými samosprávami. V rámci mikroregionu jsou potom tyto samosprávy spojeny do svazku se společnými zájmy a problémy. V rámci mikroregionu by tak došlo ke spojení zájmů, které je ve větším měřítku obtížné díky různým zájmům různých subjektů. Ať už vlastníků svozových firem, které se na větším území (např. typu kraje) vyskytují, nebo i obecních samospráv. Všichni budou s velkou pravděpodobností hájit své partikulární zájmy.

8 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. 8.1 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).

V obou dvou variantách tak dojde ke změně nákladů v případě nakládání s rezidui, kdy bude použita rovnice (6.13). V případě MBÚ vybavené ANF se také změní příjmy díky prodeji el. energie a bude tedy použita rovnice (6.23).



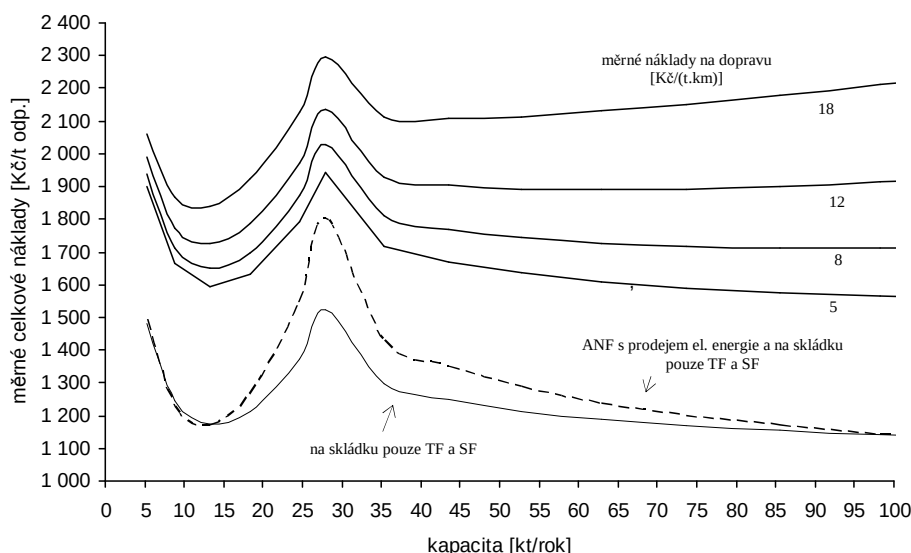
Obr. 8.1 Závislost celkových měrných nákladů jednotky MBÚ na roční zpracovatelské kapacitě s vlivem dopravy

Z dat obsažených v obrázku lze vyvodit následující závěry:

- Při měrné ceně dopravy 5 Kč/(t.km) dosahují nejnižších celkových měrných nákladů s vlivem dopravy jednotky se svozovou vzdáleností okolo 36 km, tzn. s roční zpracovatelskou kapacitou 141 kt.
- Jednotky malých kapacit, tzn. se svozovou vzdáleností do 15 km jsou při uvažování nákladů na dopravu konkurenceschopné při všech úrovních měrné ceny dopravy.

- Vzhledem k malým dopravním vzdálenostem jsou měrné náklady jednotek s vlivem dopravy malých kapacit nejméně citlivé na výši měrných cen dopravy.
- Z jednotek se střední a velkou kapacitou se nejméně citlivou vůči nákladům na dopravu jeví jednotka s roční zpracovatelskou kapacitou okolo 60 kt.
- Nejvyšších měrných nákladů při všech úrovních měrné ceny dopravy dosahují jednotky s roční zpracovatelskou kapacitou 25 až 30 kt.
- Jednotky MBÚ, které jsou pouze určeny ke stabilizaci BRKO pomocí AEF a nepočítají s dalším využitím složek odpadu ani materiálově ani energeticky (tzn. všechny složky odpadu jsou uloženy na skládku), jsou z ekonomického i environmentálního hlediska nevýhodné. Odporují hierarchii nakládání s odpady, kdy energetické využití odpadu stojí nad prostým skládkováním a znamenají prostou investici finančních a jiných prostředků do odklonění BRKO od skládkování bez dalšího využití.
- V případě využití lehké frakce má jednotka MBÚ s AEF pro nižší zpracovatelské kapacity nižší měrné celkové náklady než jednotka vybavená ANF a prodávající generovanou elektrickou energii. Je však nezbytné si uvědomit, že jednotka MBÚ s ANF může dále profitovat z případného prodeje tepla a v současné době uplatňovaných tzv. zelených bonusů za prodej el. energie.

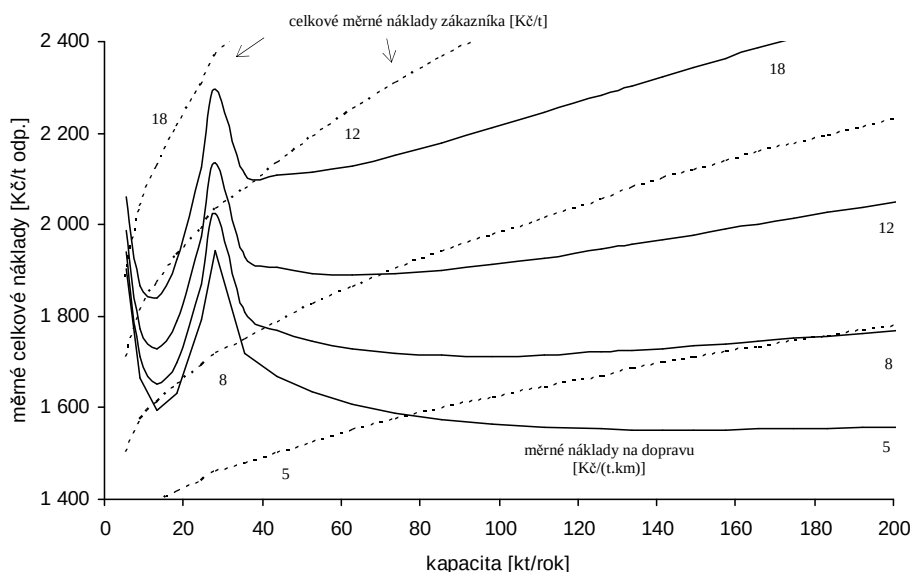
Obr. 8.2 v detailu zobrazuje průběh celkových měrných nákladů pro jednotky MBÚ malých a středních kapacit.



Obr. 8.2 Závislost celkových měrných nákladů jednotky MBÚ na roční zpracovatelské kapacitě s vlivem dopravy pro jednotky malých kapacit

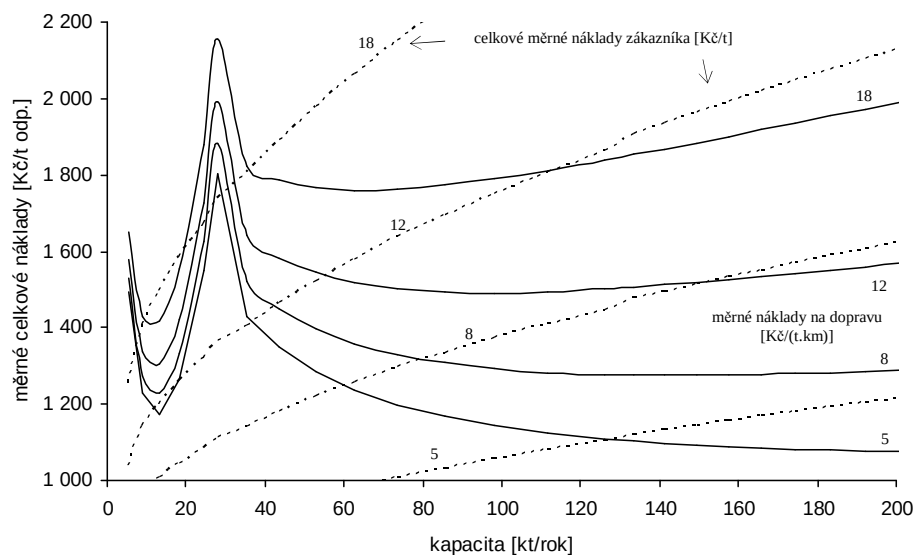
Podobně jako u jednotek termického zpracování SKO, tak i jednotka MBÚ může získat konkurenční výhodu v případě, že poplatek za zpracování odpadu spojí se zprůměrovanými náklady na dopravu do jednoho poplatku za odvoz a zpracování. Tento poplatek by byl stejný pro všechny zákazníky ve svozové oblasti. Situace je znázorněna v obrázku 8.3.

Za povšimnutí stojí, že díky velkému vlivu nákladů na dopravu, se u jednotek MBÚ stávají konkurenceschopnými jednotky mnohem nižších kapacit.



Obr. 8.3 Srovnání jednotek MBÚ s AEF s jednotným poplatkem za odvoz a zpracováním odpadu s jednotkami MBÚ s poplatkem pouze za zpracování odpadu

Obr. 8.4 uvádí závislosti celkových měrných nákladů s vlivem dopravy na roční zpracovatelské kapacitě pro jednotky MBÚ s technologií ANF.



Obr. 8.4 Srovnání jednotek MBÚ s ANF s jednotným poplatkem za odvoz a zpracováním odpadu s jednotkami MBÚ s poplatkem pouze za zpracování odpadu

Vlivem vyšších investičních nákladů oproti jednotkám MBÚ vybavených čistě technologií AEF dochází k menšímu ročních zpracovatelských kapacit konkurenčních jednotek s implementovaným centrálním svozem a bez centrálního svozu.

9 OPTIMALIZACE KAPACITY JEDNOTKY MBÚ S NAVAZUJÍCÍM ENERGETICKÝM VYUŽITÍM LEHKÉ FRAKCE

Velkým problémem provázejícím jednotky MBÚ je uplatnění lehké výhřevné frakce vytríděné ze SKO. Přitom, jak bylo ukázáno v předcházející kapitole 8, je vliv případného ukládání LF na skládky velice významný a rozhoduje o ekonomické udržitelnosti jednotky.

Prakticky jediným možným způsobem využití LF je její energetické zužitkování. To je však komplikováno faktem, že jde stále o materiál, který má charakter odpadu a není možné vždy zaručit všechny jeho vlastnosti. Mimo obsah problematických látek jde o směs částic různé velikosti a měrné hmotnosti, což může u některých spalovacích technologiích působit značné provozní problémy (např. úlet částic) a je nezbytná další mechanická úprava LF nejčastěji peletizací. S tím pochopitelně souvisejí další investiční a provozní náklady.

Nejčastějším obecně zmiňovaným způsobem energetického využití LF je spoluspalování ve směsi s jiným palivem. Přitom se předpokládá, že spoluspalování bude uskutečňováno již v existujícím zařízení, s jehož provozovatelem bude uzavřena smlouva o odběru LF. Nejčastěji přicházejí v úvahu cementárny, elektrárny spalující uhlí a jiná průmyslová energetická zařízení.

Vzhledem k tomu, že spoluspalování LF probíhá dle legislativy vždy v režimu spoluspalování odpadů, znamená to pro případného odběratele nemalé komplikace, protože musí zajistit mimo jiné na základě nařízení vlády č. 345/2002 Sb. ve znění pozdějších předpisů:

- čištění všech spalin vznikajících z primárního paliva a spoluspalované LF na úroveň emisních limitů požadovaných legislativou,
- splnění požadavků přejímky odpadů (evidence, odběry vzorků),
- kontinuální měření plynných emisí u definovaných látek,
- zajištění podmínek pro spalování paliva (tzn. teplota, zdržná doba).

Mimo výše uvedené legislativní požadavky může přinášet spoluspalování odpadu další problémy technického a technologického rázu, na které nemusí být spalovací zařízení uzpůsobeno. Tyto problémy souvisejí především s relativně vysokým obsahem chlóru, který je přítomen v LF díky PVC plastům a může způsobovat:

- nápeky,
- vysokoteplotní chloridovou korozi přehříváku a teplosměnných ploch kotle.

Pro získání základního přehledu o problematice chloridové koroze lze odkázat na následující literaturu [67, 82].

V souvislosti s nasazenou technologií čištění spalin pak může také dojít k nové produkci odpadních látek nebo k produkci odpadních látek s jinými vlastnostmi. Tento fakt spolu s výše uvedenými pak nemá jiný důsledek než dodatečné investiční a provozní náklady pro provozovatele spoluspalovacího zařízení. Vzhledem k čistě komerční orientaci většiny provozovatelů to vede k nejistému uplatnění LF jako paliva na trhu. Tím je zároveň zpochybněn celý účel MBÚ jako možnosti nakládání se SKO, protože nezaručuje dodržení

hierarchie nakládání s odpady v případě, že pro LF nebude nalezeno energetické využití a bude nutné ji ukládat na skládku. Materiálové využití je nepravděpodobné.

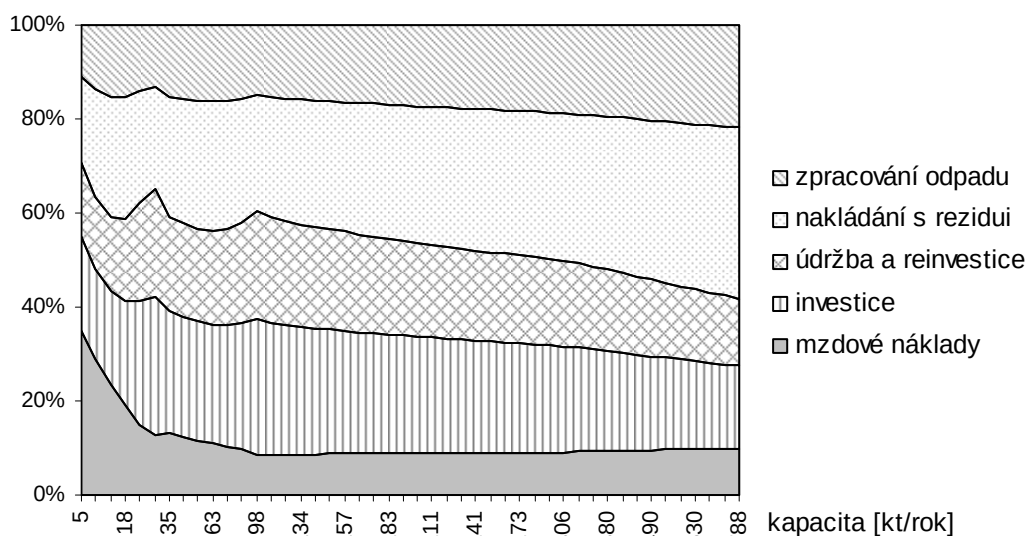
Při úvaze vybudování jednotky MBÚ je tedy nezbytné hledat primárně možnosti stabilního a dlouhodobého uplatnění LF ve formě zařízení, kde by bylo umožněno energetické využití LF. Bohužel identifikace tohoto nebo těchto zařízení, a tedy i investičních, provozních a dalších souvisejících nákladů, není obecně možné. Proto byla jako varianta možného řešení vybrána možnost vybudování zařízení na energetické využití LF bezprostředně spojeného s jednotkou MBÚ. Tato kombinovaná jednotka je uvažována ve složení:

- jednotka MBÚ vybavená suchou ANF a následující AEF, jak je popsána v kap. 3.2,
- jednotka na energetické využití lehké frakce v technologickém uspořádání jednotky pro EV SKO.

Propojení obou technologií bylo provedeno za následujících předpokladů:

- Roční zpracovatelská kapacita jednotky EV SKO je rovná množství ročně vyseparované LF jednotkou MBÚ. To znamená, že je 0,38 násobkem roční zpracovatelské kapacity jednotky MBÚ.
- Mzdové náklady jednotky EV LF byly sníženy vypuštěním pracovních pozic: ředitele-odpovědného za ekologii a odpady, obsluhy váhy, odpovědného za provoz a údržbu, účetní a údržbář elektro - manipulační dělník.
- Nepředpokládají se žádné náklady na přepravu LF mezi jednotkou MBÚ a jednotkou EV. Jednotky přímo technologicky navazují.
- Hmotová a energetická bilance jednotky EV LF vychází z hmotové a energetické bilance jednotky EV SKO a je uvedena v kapitole 4.3.4 s tím, že je zpracovávána LF.
- Závislost generované měrné elektrické energie na roční zpracovatelské kapacitě byla nově aproximována a to kvůli odlišnému průběhu entalpického spádu na roční zpracovatelské kapacitě. To je způsobeno vyšší výhřevností LF a jiným přebytkem spalovacího vzduchu, viz obr. 9.7.
- Měrné celkové náklady jsou přepočteny na 1 t SKO vstupujícího do kombinované jednotky MBÚ a EV.
- Na skládku je ukládána SF a TF z jednotky MBÚ. Z jednotky EV LF je na skládku ukládána škvára a popílek.

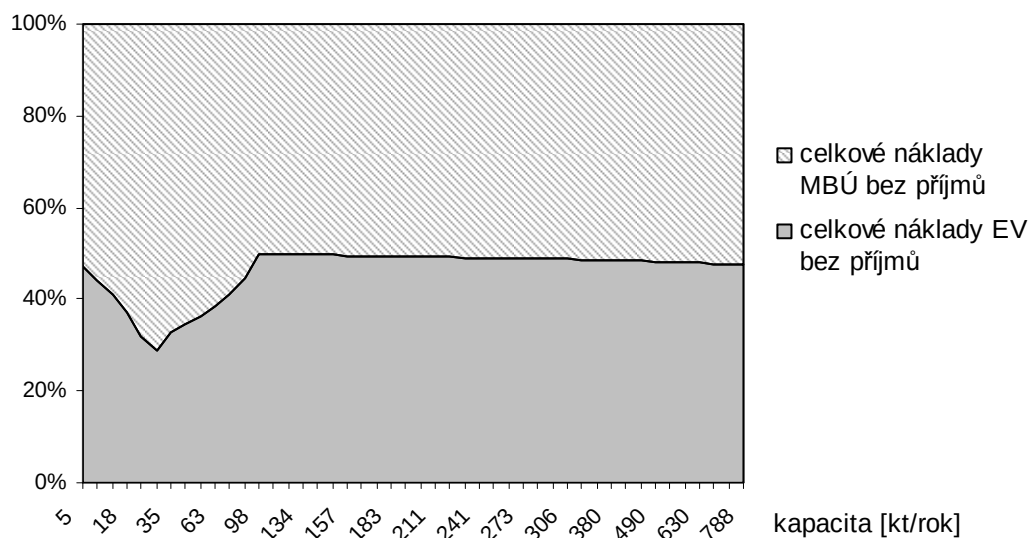
Za výše uvedených předpokladů obr. 9.1 ukazuje procentuální zastoupení jednotlivých skupin nákladů kombinované jednotky v závislosti na její roční zpracovatelské kapacitě bez zahrnutí nákladů na dopravu.



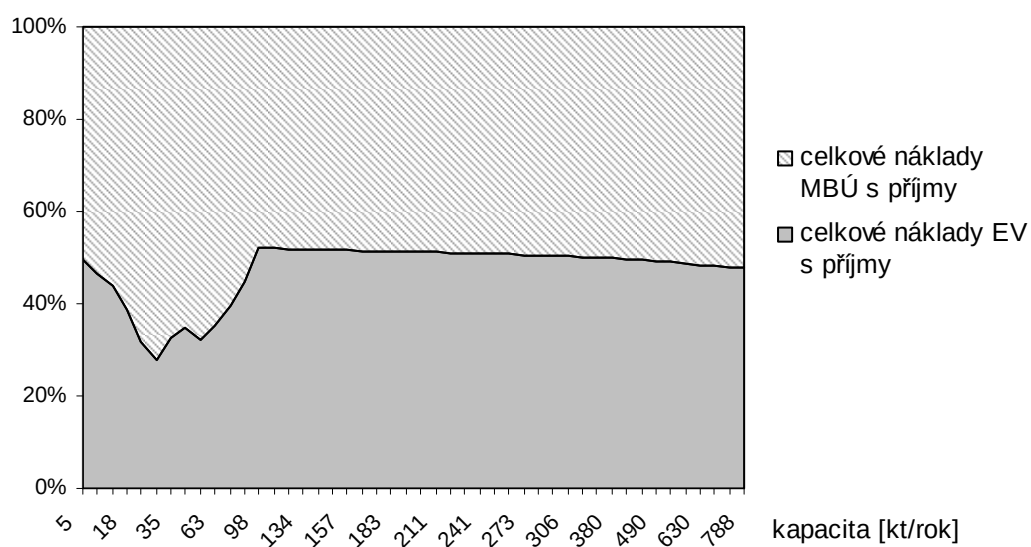
Obr. 9.1 Procentuální zastoupení skupin celkových nákladů za dobu životnosti v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě pro kombinovanou jednotku MBÚ a EV

Na obrázku jsou jasně rozpoznatelná dvě maxima investičních cen. První při hodnotě kapacity 35 kt/rok je dáno průběhem investičních nákladů jednotek MBÚ. Druhé maximum při hodnotě 100 kt/rok je dáno průběhem investičních nákladů pro jednotky EV. Posunutí tohoto maxima z 38 kt/rok pro samostatně uvažovanou jednotku EV na 100 kt/rok je dáno přepočtem kapacity jednotky dle obsahu LF v SKO.

Celkové náklady kombinované jednotky jsou dány součtem celkových nákladů jednotky MBÚ a celkových nákladů jednotky EV. Ačkoli roční zpracovatelská kapacita, na kterou je budována jednotka MBÚ, je více než dvojnásobná oproti kapacitě jednotky EV, tak poměr zastoupení v celkových nákladech tomuto neodpovídá. Obr. 9.2 udává procentuální podíl, kterým se jednotka MBÚ a jednotka EV podílí na celkových nákladech v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě kombinované jednotky a to bez uvážení vlivu příjmů a dopravy. Obr. 9.3 udává analogicky procentuální poměr nákladů jednotky MBÚ a EV ale s uvážením vlivu příjmů. Ani zde však nedojde k významné změně poměru v zastoupení nákladů.

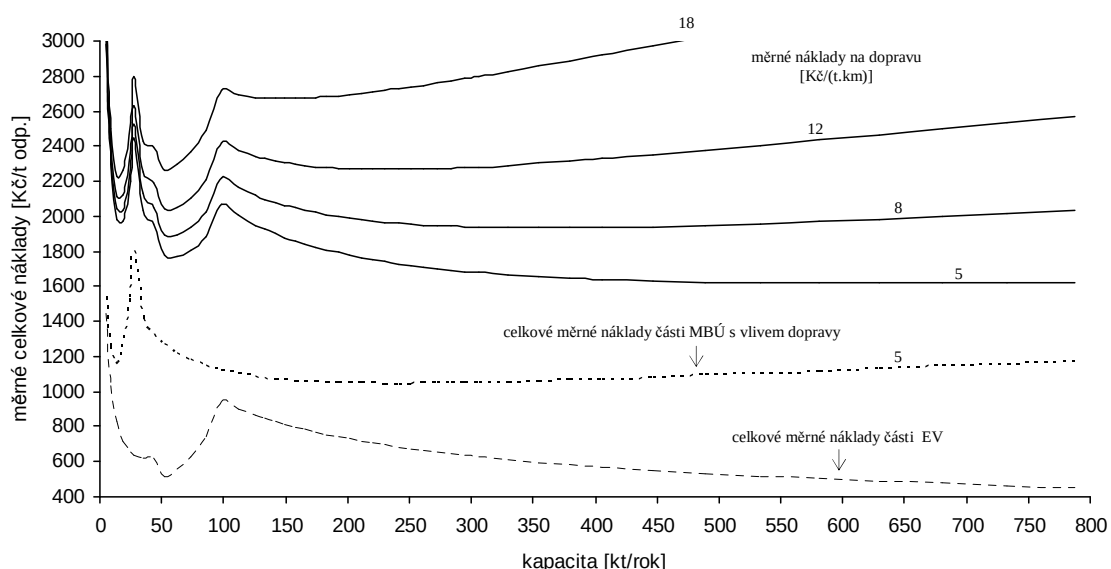


Obr. 9.2 Procentuální zastoupení nákladů za dobu životnost v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě pro kombinovanou jednotku MBÚ a EV bez vlivu příjmů



Obr. 9.3 Procentuální zastoupení nákladů za dobu životnost v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě pro kombinovanou jednotku MBÚ a EV s vlivem příjmů

Obr. 9.4 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 zvlášť 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.

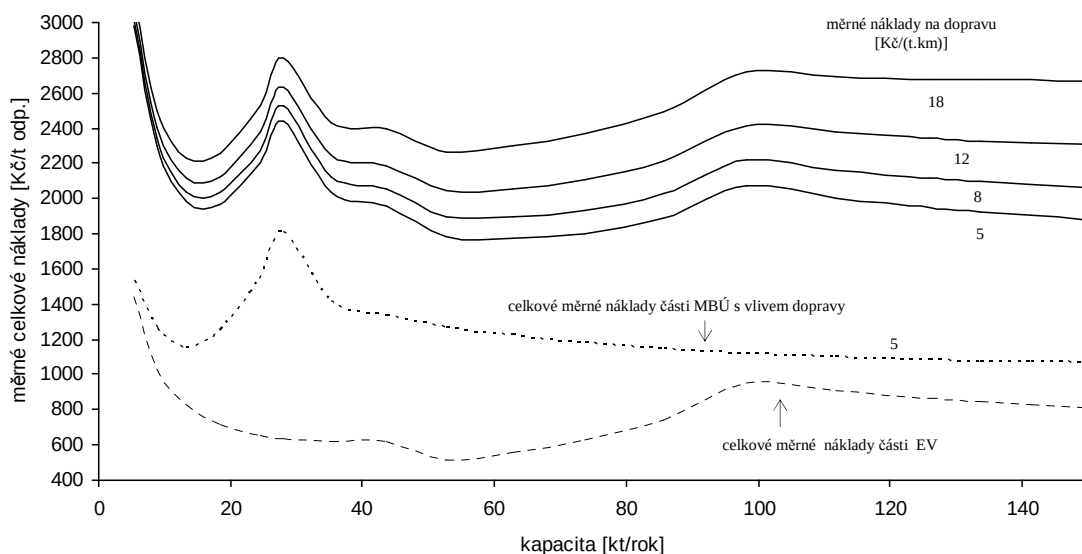


Obr. 9.4 Závislost celkových měrných nákladů kombinované jednotky MBÚ a EV na roční zpracovatelské kapacitě s vlivem dopravy

Z dat obsažených v obrázku lze vyvodit následující závěry:

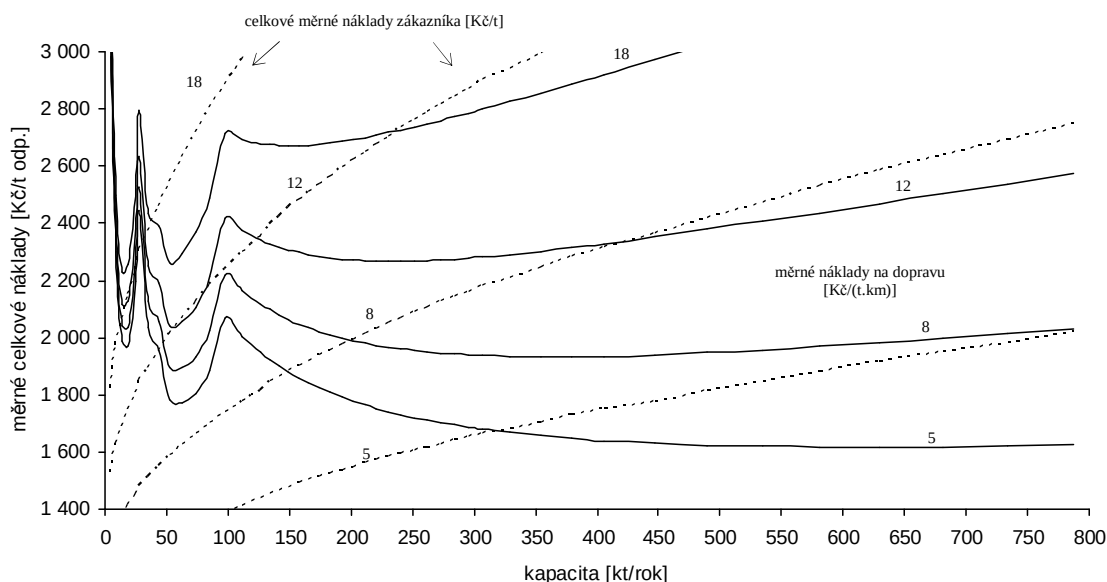
- Při měrné ceně dopravy 5 Kč/(t.km) dosahují nejnižších celkových měrných nákladů s vlivem dopravy jednotky se svozovou vzdáleností okolo 73 km, tzn. s roční zpracovatelskou kapacitou 571 kt.
- Jednotky malých kapacit, tzn. se svozovou vzdáleností do 15 km jsou při uvážení nákladů na dopravu konkurenceschopné až při zvýšených úrovních měrné ceny dopravy.
- Oproti samostatně koncipovaným nekombinovaným jednotkám MBÚ a EV se v tomto případě jednotky středních výkonů s kapacitou 50 až 90 kt/rok jeví jako výhodné řešení nakládání se SKO na regionální úrovni.
- Nejvyšších měrných nákladů při všech úrovních měrné ceny dopravy dosahují jednotky ve dvou pásmech s roční zpracovatelské kapacity. První pásmo se nachází okolo 30 kt/rok a druhé pásmo okolo 100 kt/rok. Jak již bylo řečeno, to je způsobeno individuálními maximy celkových měrných nákladů technologie MBÚ a EV.

Obr. 9.5 ukazuje v detailu průběh celkových měrných nákladů s vlivem dopravy pro jednotky malých a středních kapacit.

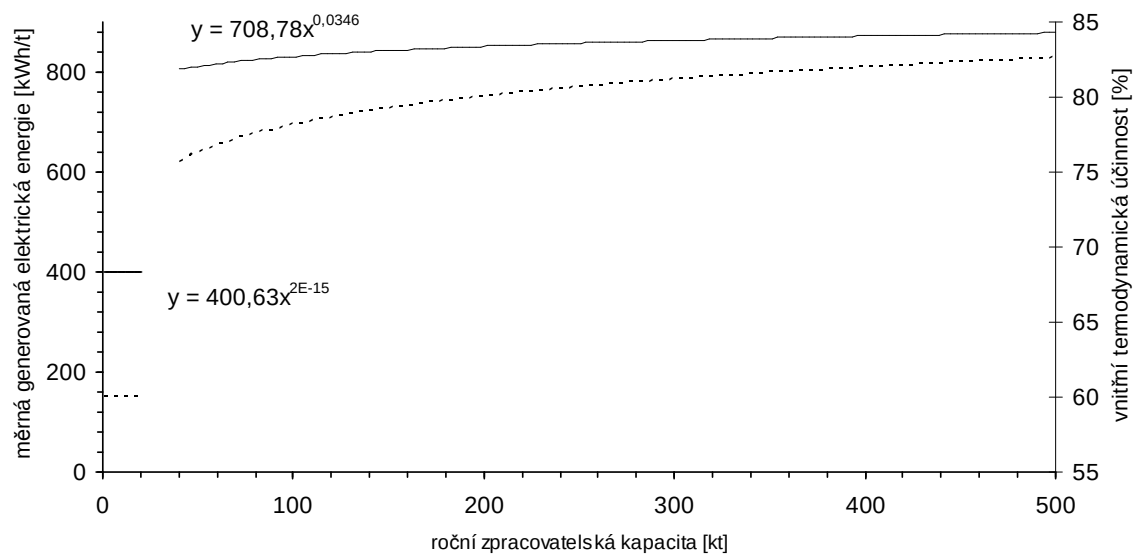


Obr. 9.5 Závislost celkových měrných nákladů kombinované jednotky MBÚ a EV na roční zpracovatelské kapacitě s vlivem dopravy pro jednotky malých a středních kapacit

Podobně jako v předchozích kapitolách, obr. 9.6 dává do vztahu konkurenční jednotky se zavedeným celkovým poplatkem za zpracování a svoz odpadu a jednotky s poplatkem pouze za zpracování odpadu.



Obr. 9.6 Srovnání kombinovaných jednotek MBÚ a EV s jednotným poplatkem za odvoz a zpracováním odpadu s kombinovanými jednotkami MBÚ a EV s poplatkem pouze za zpracování odpadu



Obr. 9.7 Závislost měrné generované elektrické energie a vnitřní termodynamické účinnosti turbíny jednotky EV LF na roční zpracovatelské kapacitě jednotky MBÚ s navazující EV LF

10 SROVNÁNÍ JEDNOTEK EV SKO A JEDNOTEK MBÚ

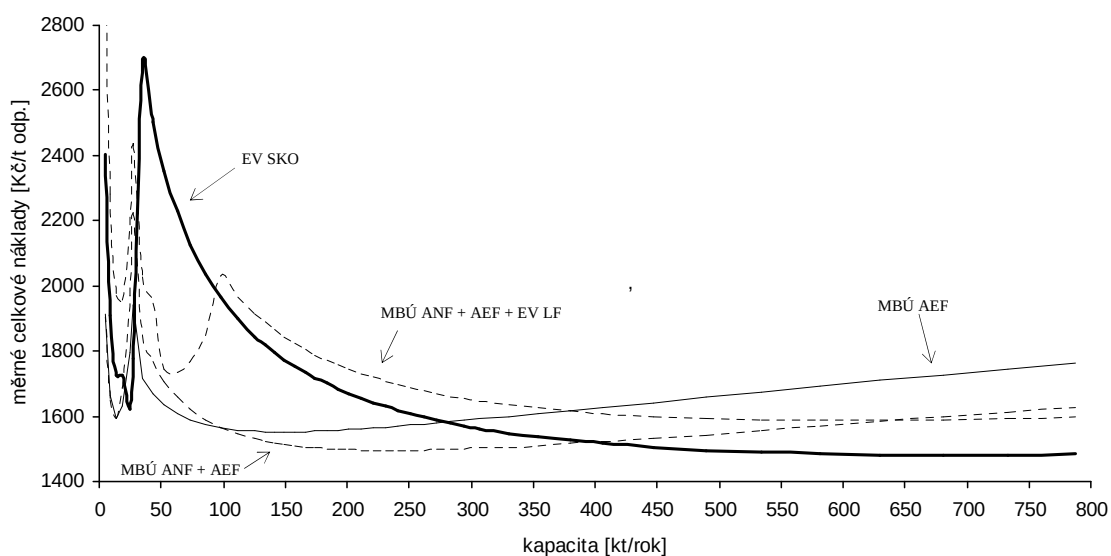
Celkové srovnání je provedeno pro jednotky ve variantách zajišťujících maximalizaci využití SKO. Případně je v rámci celkových nákladů na zpracování odpadu uvažováno s konečným uložením všech reziduí a dalších z jednotky vystupujících hmotových proudů na skládku. Uvažované varianty nakládání se SKO jsou:

- 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.

Stejně jako dříve není uvažováno s prodejem tepelné energie. Výkupní cena elektrické energie je pro všechny výše uvedené varianty stejná. Ačkoli v případě prodeje elektrické energie generované z bioplynu pocházejícího z ANF, je reálná prodejní cena vyšší díky tzv. „zeleným bonusům“. Konkrétně dle rozhodnutí č. 4/2009 Energetického regulačního úřadu činí v tomto případě „zelený bonus“ 2 580 Kč/MWh.

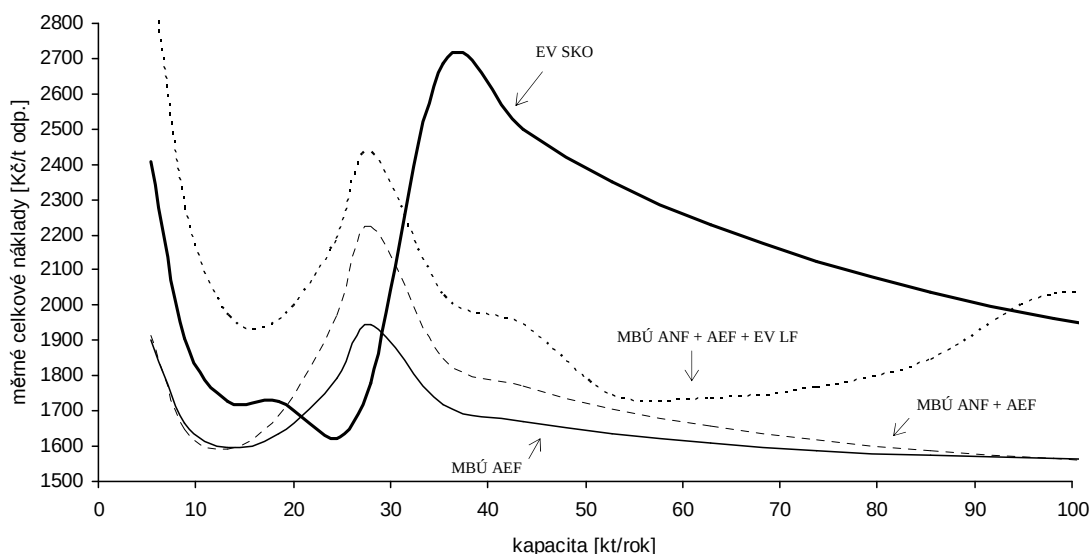
Do jisté míry lze tento fakt považovat za nespravedlivý, protože jednotky EV SKO ke generování části elektrické energie také využívají té samé frakce SKO, tzn. BRKO.

Na obr. 10.1 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. 10.1 Srovnání závislosti celkových měrných nákladů na roční zpracovatelské kapacitě s vlivem dopravy pro různé jednotky

Obr. 10.2 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. 10.2 Závislost celkových měrných nákladů různých jednotek na roční zpracovatelské kapacitě s vlivem dopravy pro jednotky malých a středních kapacit

Z obr. 10.1 a 10.2 lze vyvodit následující:

- Bez uvážení možného prodeje tepla a při měrné ceně dopravy 5 Kč/(t.km) se konkurenceschopnými jednotky EV SKO a kombinované jednotky MBÚ ANF + AEF+ EV LF stávají až při velmi velkých zpracovatelských kapacitách nad 400 kt/rok. Zde je nutné opět připomenout, že není uvažováno s prodejem tepla.
- Výjimkou je jednotka EV SKO se zpracovatelskou kapacitou 25 kt/rok, která dosahuje nejnižších celkových měrných nákladů s uvážením dopravy díky zvýšenému množství měrné generované elektrické energie.
- Je nezbytné si uvědomit, že jednotky MBÚ s technologií AEF nebo s kombinovanou technologií ANF a AEF a s ukládáním všech frakcí na skládku odporují hierarchii nakládání s odpady, protože není využívána zbývající energie ve vystupujících frakcích.
- Zajímavou alternativou by se s uvážením možného prodeje tepla stávala kombinovaná jednotka MBÚ s EV LF. A to v případě jejího použití pro roční zpracovatelské kapacity okolo 70 kt. Jednotky této kapacity mají svozovou vzdálenost 25 km, což odpovídá přibližně regionálnímu měřítku (tj. kraji).
- Z jednotek s roční kapacitou do 100 kt dosahují jednotky malých ročních zpracovatelských kapacit u všech variant (s výjimkou kombinované jednotky MBÚ a EV LF) nejnižších měrných nákladů s vlivem dopravy.
- V rámci mikroregionu (tzn. jednotek s kapacitou od 10 do 25 kt/rok) jsou z hlediska celkových měrných nákladů prakticky rovnocenné jednotky MBÚ s AEF, jednotky MBÚ s ANF a dostabilizací BRKO pomocí AEF a jednotky EV SKO.

11 NÁKLADY NA ÚSPORU PRIMÁRNÍCH ENERGIÍ

V předchozích kapitolách nebylo v při vzájemném posuzování nakládání se SKO vůbec uvažováno s prodejem tepla nebo s odlišnými výkupními cenami elektrické energie. To bylo dáno snahou o co nejvíce objektivní přístup v porovnávání jednotlivých technologií. 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 a přístup tak není zcela ideální.

V této kapitole je proto navržen odlišný přístup hodnocení navrhovaných technologií a to pomocí měrných nákladů na úsporu primární energie. Princip tohoto vzájemného hodnocení technologií vychází z konceptu úspor tzv. „primární energie“, jak byl navržen v [84]. Autor do jisté míry vychází z konceptu energetické účinnosti, jak je popsán ve směrnici 2008/98/ES (viz kap. 1.1.4), a zejména potom ze způsobu hodnocení kogeneračních zdrojů dle metodiky dané směrnicí Evropského parlamentu a rady 2004/8/ES o podpoře společné výroby elektřiny a tepla (kogenerace).

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 [42] (a která tak může být prakticky beze zbytku využita) je z tohoto pohledu cennější než tepelná energie. Ta může být využita pouze částečně. Tento rozdíl je ve všech výše uvedených metodikách hodnocení zohledněn zavedením referenčních účinností samostatného generování elektrické a tepelné energie. Kvalita energie je potom zohledněna vynásobením jejího množství koeficientem, který je převrácenou hodnotou účinnosti běžně dosahované ve zdrojích zaměřených na samostatné generování dané energie, tzn. elektrické nebo tepelné.

Referenční hodnota účinnosti samostatné výroby elektrické energie je uvažována:

$$\eta_{el}^{ref} = 0,385 \quad (11.1).$$

Referenční hodnota účinnosti samostatné výroby tepelné energie je uvažována:

$$\eta_{tep}^{ref} = 0,909 \quad (11.2).$$

Koeficient výroby elektrické energie je tedy roven:

$$k_{el}^{ref} = \frac{1}{\eta_{el}^{ref}} = \frac{1}{0,385} \approx 2,6 \quad (11.3)$$

a koeficient výroby tepla je tedy roven:

$$k_{tep}^{ref} = \frac{1}{\eta_{tep}^{ref}} = \frac{1}{0,909} \approx 1,1 \quad (11.4).$$

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

Pro názornost je uveden následující příklad. Jednotka EV SKO s roční zpracovatelskou kapacitou 10 kt je zdrojem elektrické i tepelné energie. Je tedy kogenerační zdrojem. Měrná produkce elektrické energie je 270 kWh/t SKO při technologické spotřebě jednotky 99 kWh/t SKO a měrná produkce tepelné energie je 2 255 kWh/t SKO. Pokud by tato množství energií měla být produkována ve zdrojích samostatné výroby elektrické energie a tepla, bylo by zapotřebí následující množství primárních energií:

$$E_{el}^{prim} = k_{el}^{ref} * E_{el} = 2,6 * (270 - 99) \approx 445 \quad (11.5),$$

$$E_{tep}^{prim} = k_{tep}^{ref} * E_{tep} = 1,1 * 2255 \approx 2480 \quad (11.6),$$

kde E_{el}^{ref} je potřebné množství primární energie k výrobě daného množství elektrické energie v [kWh] a E_{tep}^{ref} je potřebné množství primární energie k výrobě daného množství tepelné energie v [kWh].

Celkově je tedy jednotkou produkována energie nahrazující 2925 kWh primární energie, kterou by bylo jinak nutné vynaložit ve zdrojích samostatně produkujících elektrickou a tepelnou energii.

Pro další postup prací je tedy nezbytné vyjádřit uspořené množství primární energie pro jednotlivé technologie vztažené na 1 t zpracovaného SKO. Je nutné si uvědomit, že do všech jednotek vstupuje SKO o stejném složení a tedy i stejné množství energie v něm obsažené. Dále také pro všechny jednotky platí zákon zachování hmoty a energie. Maximální množství energie, které by tedy mohlo být v jakékoli z uvažovaných jednotek získáno z 1 t SKO (za předpokladu prostého spálení), je 2917 kWh. Tato hodnota je dána výhřevností SKO.

Reálně získaná množství elektrické a tepelné energie jsou však závislá na technologii a uspořádání jednotky, jak je zřejmé z bilancí uvedených v kap. 3.2.3 a 4.3.4. Zde je nutné poznamenat, že jednotka MBÚ čistě s AEF v uvažované konfiguraci negeneruje žádnou energii. Teplo uvolněné během procesu AEF je mařeno volným vypuštěním teplého a vlhkého vzduchu do atmosféry a energií v LF je mrháno jejím uložením na skládku.

Tabulka 11.1 uvádí množství energií generovaných jednotlivými variantami technologií nakládání se SKO.

varianta	pozn.	gen. elektrická energie [kWh/t SKO]	gen. tepelná energie [kWh/t SKO]	spotřeba elekt. energie [kWh/t SKO]	úspora primární energie [kWh/t SKO]
MBÚ ANF	pro všechny kapacity	200	295	72	657
MBÚ ANF + EV LF	do 50 kt/rok	352	1 562	110	2 347
	pro 100 kt/rok	507	1 407	110	2 580
EV SKO	do 20 kt/rok	270	2 255	99	2 926
	pro 100 kt/rok	547	1 978	99	3 341

Tab. 11.1 Úspory primární energie pro různé varianty zpracování SKO

U jednotky EV SKO a u jednotky MBÚ ANF a AEF s navazující jednotkou EV LF s kapacitami nad 20 kt/rok, respektive 50 kt/rok, je uveden pouze příklad generovaných energií. A to pro jednotky s kapacitou 100 kt/rok. Poměr generované elektrické a tepelné energie je totiž u jednotek těchto kapacit proměnný v závislosti na kapacitě jednotky, nebo-li na vnitřní termodynamické účinnosti parní turbíny (viz kap. 6.8).

Dále byla při vyjadřování úspor primární energie v tab. 11.1 od generované elektrické energie odečtena elektrická energie spotřebovávaná technologií. Tím je vyjádřena čistá jednotkou exportovaná elektrická energie.

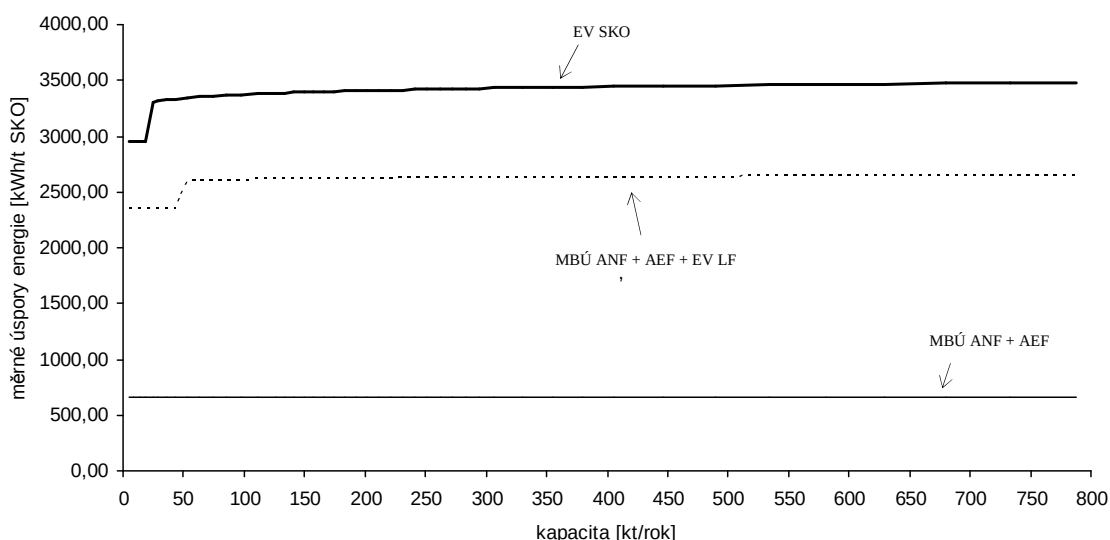
Z tab. 11.1 lze odvodit, že celková měrná čistá generovaná energie pro danou technologii je vždy konstantní:

- 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 měrná úspora primární energie, protože u jednotek EV SKO s kapacitou nad 20 kt/rok se mění vlivem vnitřní termodynamické účinnosti parní turbíny poměr generované elektrické a tepelné energie. To platí také pro jednotky MBÚ ANF a navazující jednotkou EV LF (viz kap. 9) s kapacitou nad 50 kt/rok. U jednotek nižších kapacit zmiňovaných technologií je použit parní motor s prakticky konstantní vnitřní termodynamickou účinností a proto je také měrná úspora primárních energií konstantní podobně jako u jednotky MBÚ ANF.

Je nutné poznamenat, že vlivem koeficientů výroby elektrické a tepelné energie mohou úspory primární energie překročit energii obsaženou v SKO (vztaženo na 1 t). To je dáno kogenerací elektrické a tepelné energie. Např. úspory primární energie pro jednotku EV SKO s kapacitou 100 kt/rok jsou 3341 kWh na 1 t SKO, přičemž v 1 t SKO je obsaženo „pouze“ 2917 kWh energie.

Závislost měrných úspor primární energie pro jednotlivé technologie v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě jednotky je ukázána na obr. 11.1.



Obr. 11.1 Závislost měrných úspor primární energie pro různé technologie na roční zpracovatelské kapacitě

V předcházejících kap. 7, 8 a 9 byly vyjádřeny celkové měrné náklady s vlivem dopravy pro různé technologie nakládání se SKO. Ty jsou po úpravě vlivem uvedených předpokladů použity k vyjádření tzv. měrných nákladů na úsporu primární energie:

- Z příjmů jednotek byla vynechána prodávaná elektrická energie. To důvodu posuzování skutečně „čistých“ celkových nákladů.
- Z nákladů na zpracování odpadu byla vynechána elektrická energie. Předpokládá se, že bude kryta vlastní produkcí elektrické energie jednotkou. Tento předpoklad je zaveden formou snížení produkované energie o množství spotřebovávané jednotkou, viz dříve tab. 11.1.

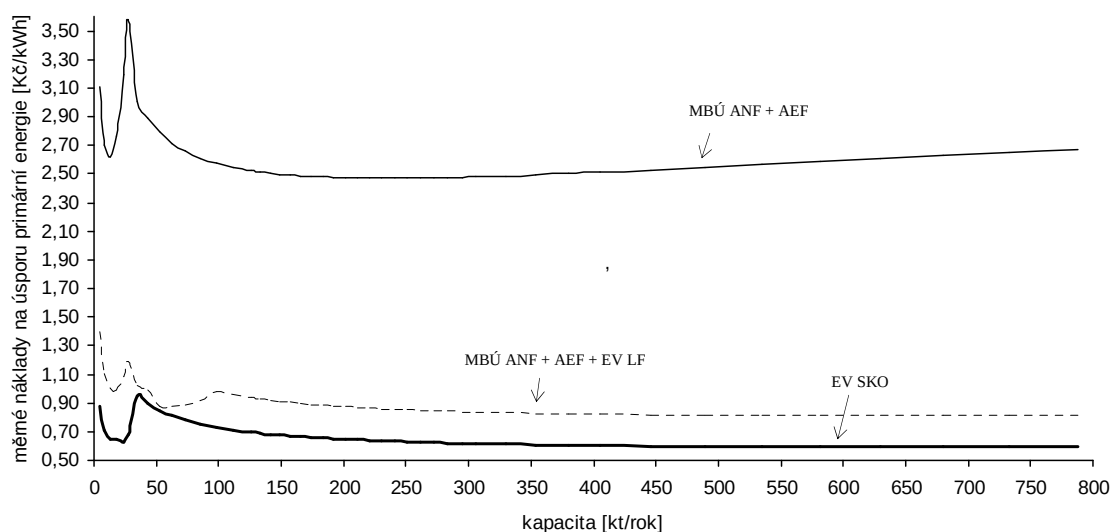
Účelová funkce měrných nákladů na úsporu primární energie může být tedy obecně zapsána ve tvaru:

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

kde c v [Kč/t SKO] jsou celkové měrné náklady pro danou technologii, jak byly definovány v rovnicích (7.2) a (7.3) v kap. 7, 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]. V případě měrných úspor primární energie je uvažováno s využitím veškeré energie generované jednotkou, tedy i tepelné. Do jisté míry lze tedy tuto metodiku hodnocení technologií nakládání se SKO považovat za kombinaci přístupu ekonomického a environmentálního.

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

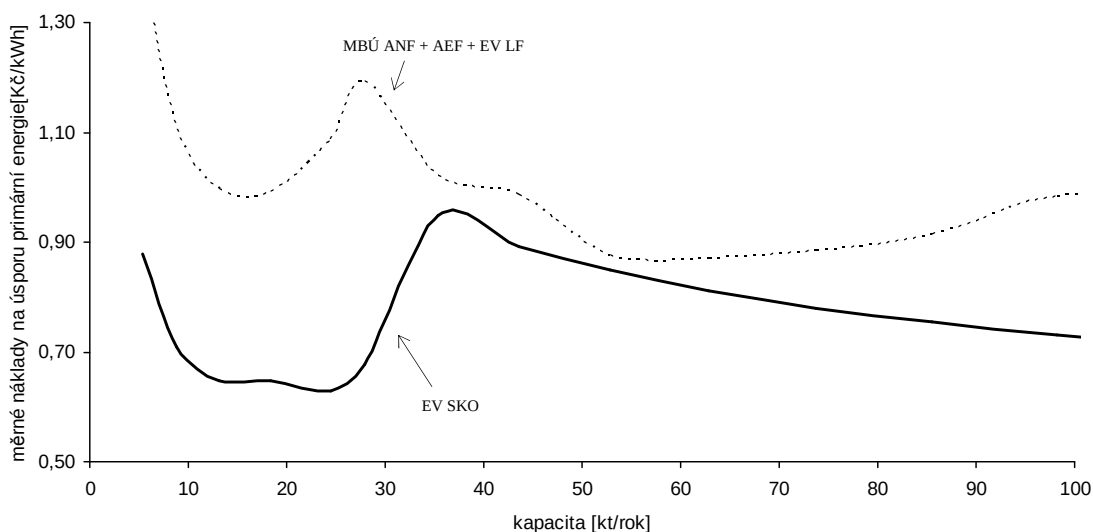
Obr. 11.2 ukazuje závislost měrných nákladů na úsporu primární energie v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě pro různé technologie.



Obr. 11.2 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

Z průběhů závislostí vyplývá následující:

- Jednotky EV SKO vykazují pro všechny závislosti nejmenší náklady na úsporu primární energie.
- Kombinovaná jednotka MBÚ ANF s navazující EV LF je srovnatelnou variantou nakládání se SKO v případě ročních zpracovatelských kapacit od 50 do 60 kt. Opět se tak potvrzuje možnost jejich použití v rámci regionálním (tj. krajském) či okresním.
- Jednotky malých kapacit SKO vykazují nižší náklady na úsporu primární energie než jednotky vyšších kapacit až přibližně 200 kt/rok.
- V případě využití produkované tepelné energie se tedy potvrzuje jejich realizovatelnost.
- Výše nákladů na úsporu primární energie u jednotky EV SKO středních kapacit se ukazuje jako nejméně příznivá. Jednotky těchto kapacit by tedy měly být pečlivěji posuzovány z hlediska jejich případné realizace.

12 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 uvažování nákladů na dopravu jsou jednotky nízkých ročních zpracovatelských kapacit všech technologií konkurenceschopné v porovnání s jednotkami větších kapacit.

Naopak konkrétně malé jednotky EV SKO dokonce dosahují nižších měrných nákladů, než v ČR obvykle budované jednotky středních kapacit, tzn. 100 až 200 kt/rok. V případě zvyšování cen dopravy je ekonomická výhodnost malých jednotek ještě více výrazná a dokonce dosahují nejnižších celkových měrných nákladů s vlivem dopravy z jednotek všech kapacit.

Celkové měrné náklady s vlivem dopravy také ukázaly, že jednotka může získat konkurenční výhodu pomocí zavedení tzv. centrálního svozu odpadu. Jde o účelové spojení poplatku za zpracování odpadu (SKO) a poplatku za dopravu odpadu z místa jeho produkce do jednotky. Tento poplatek by byl stanoven v jednotné výši pro všechny zákazníky ve svozové oblasti jednotky. V konečném důsledku to znamená rozšíření reálné svozové oblasti jednotky, získáním dalších zákazníků ve větších vzdálenostech, kterým by se vzhledem k vysokým nákladům na dopravu nevyplatilo odpad do jednotky vozit.

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 rozvodné síti je její prodej prakticky téměř vždy zaručen.

S uvažováním prodeje pouze generované elektrické energie vycházejí nejvýhodněji jednotky MBÚ a 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 uvažováním dopravy nejnižší až do vysokých ročních zpracovatelských kapacit okolo 400 kt/rok, kdy díky vyšší měrné produkci elektrické energie mají nejnižší 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, jak již bylo uvedeno, velmi proměnná. Rozdílná kvalita elektrické a tepelné energie z hlediska obsažené exergie je v konceptu měrných nákladů na úsporu primární energie promítnuta použitím koeficientů samostatné výroby elektrické energie a tepla.

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 nakládání se SKO

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 spalování lehké výhřevné 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 POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Hřebíček J. Friedmann B. Hejč M. Horsák Z. Chudárek T. Kalina J. Pilar F. (2009) Integrovaný systém nakládání s odpady na regionální úrovni, Littera (2009), ISBN 978-80-85763-54-6
- [2] Hřebíček J. (2009) Prognóza nakládání s biodegradabilním odpadem v ČR do roku 2020, Biom.cz (2010) [online], aktualizováno [2009-05-13], cit. [2010-08-16], dostupné z <biom.cz/cz/odborne-clanky/prognoza-nakladani-s-biodegradabilnim-odpadem-v-cr-do-roku-2020>, ISSN: 1801-2655
- [3] Vrbová M. (2010) Co je to komunální odpad, Economia (2010), aktualizováno [2010-7-7], cit. [2010-8-11], dostupné z <http://odpady.ihned.cz/c1-44628190-co-je-to-komunalni-odpad>, ISSN 1213-7693
- [4] European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (2010) Reference document on best available techniques for the Waste Incineration (2006), cit. [2010-5-20], dostupné z <eippcb.jrc.es/reference/wi.html>
- [5] Grosso M. Motta A. Rigamonti L. (2010) Efficiency of energy recovery from waste incineration, in the light of the new Waste Framework Directive, Waste Management vol. 30 (2010), pp. 1238-1243
- [6] Pavlas M. Touš M. (2009) Efficient waste-to-energy system as a contribution to clean technologies, Clean Technologies and Environmental Policy, Vol. 11, No. 1, pp. 19-29
- [7] Hyžík J. (2010) Energetické využívání vysocevyhřevné frakce z procesu MBÚ - utopie nebo problém? In Spalovny komunálního odpadu 2010, příspěvek odborné konference, březen 2010, Praha
- [8] Hnat'uková 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>
- [9] 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/rozbor_Dvur_Kralove.pdf>
- [10] Altmann V. (2010) Nakládání s biologicky rozložitelnými odpady, Biom.cz (2010) [online], cit. [2010-08-25], dostupné z <biom.cz/cz/odborne-clanky/nakladani-s-biologicky-rozlozitelnymi-odpady>, ISSN 1801-2655
- [11] Phyllis database (2010) ,Energy research Centre of the Netherlands (2010) [database online], verze 4.13., cit. [2010-6-7], dostupné z <www.ecn.nl/phyllis/>, The composition of biomass and waste

- [12] Straka F. Dohányos M. Zábranská J. Jeníček P. Dědek J. Malihevský A. Novák J. Oldřich J. Kunčarová M. (2003) Bioplyn, GAS s.r.o., Říčany 2003, ISBN 80-7328-029-9.
- [13] Guendous J. Buffière P. Cacho J. Carrère M. Delgenes J.-P. (2010) Dry anaerobic digestion in batch mode: Design and operation of laboratory-scale, completely mixed reactor, *Waste Management* (2010), doi:10.1016/j.wasman.2009.12.024
- [14] Porteous A. (1981) *Refuse derived fuels*, Applied science publishers (1981), 133 pp., ISBN 0-85334-937-1
- [15] European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (2010) Reference document on best available techniques for the Waste Treatment Industries (2006), cit. [2010-5-18], dostupné z <eippcb.jrc.es/reference/wt.html>
- [16] Archer E. Baddeley A. Klein A. Schwager J. Whiting K. (2005) *Mechanical-Biological Treatment: A guide for decision makers*, Processes, Policies and Markets, Juniper consultancy services 2005, cit. [2010-6-6], dostupné z <www.juniper.co.uk/Publications/mbt_report.html>
- [17] Lindner-Recyclingtech (2010) Primary shredder, technical data, cit. [2010-8-2], dostupné z < www.l-rt.com/index.php?id=1&L=1 >
- [18] Lindner-Recyclingtech (2010) Heavy fraction separator HFS 1200, cit. [2010-8-2], dostupné z < http://www.l-rt.com/index.php?id=20&L=1>
- [19] MAGSY (2005) Magnetický separátor nemagnetických kovů, cit. [2010-8-2], dostupné z <www.magsy.cz/page/11337.magneticky-separator-nemagnetickych-kovu>
- [20] Stejskal B. Kotovicová J. Vaverková M. (2007) Srovnání technologie MBÚ a spalování komunálních odpadů, In *Odpadové fórum 2007*, sborník přednášek konference, duben 2007, Milovy, PetroChemProgress (2007), Praha, svazek 3, str. 3332 -3336, ISBN 978-80-02-01891-9
- [21] ETC Consulting Group (2010) Spotřeby v rámci mechanicko-biologických úprav, aktualizováno [2010-4-13], cit. [2010-7-9], dostupné z <www.mbu.cz/cz/Legislativa.php>
- [22] Fricke K., Santen H. Wallmann R. (2005) Comparison of selected aerobic and anaerobic procedures for MSW treatment, *Waste Management* vol. 25 (2005), pp. 799-810
- [23] Zhang D.Q. He P.J. Jin T.F. Shao L.M. (2008) Bio-drying of municipal solid waste with high water content by aeration procedures regulation and inoculation, *Bioresource Technology* vol. 99 (2008), pp. 8793-8802
- [24] Shilev S. Naydenov M. Vancheva V. Aladjadjian A. (2007) *Composting of food and agricultural waste, Utilization of by-products and treatment of waste in the food industry*, Springer-Verlag New York (2007), pp. 283-301, ISBN 978-0-387-33511-7

- [25] López M. Soliva M. Martínez-Farré X. Fernández M. Huerta-Pujol O. (2009) Evaluation of MSW organic fraction for composting: Separate collection or mechanical sorting, *Resources, conservation and Recycling* vol. 54 (2010), pp. 222-228
- [26] Adani F. Habart J. (2003) Biologická stabilita, dynamický respirační index a jeho uplatnění v odpadové hospodářství, *Biom.cz*, aktualizováno [2003-08-31], cit. [2010-08-5], dostupné z <biom.cz/cz/odborne-clanky/biologicka-stabilita-dynamicky-respiracni-index-a-jeho-uplatneni-v-odpadove-hospodarstvi> ISSN 1801-2655.
- [27] Ponsá S. Gea T. Alerm L. Cerezo J. Sánchez A. (2008) Comparison of aerobic and anaerobic stability indices through a MSW biological treatment process, *Waste Management* vol. 28 (2008), pp. 2735-2742
- [28] Váňa J. (2002) Možnosti intenzifikace zrání kompostu, *Biom.cz*, aktualizováno [2002-12-5], cit. [2010-08-15], dostupné z <biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-intenzifikace-zrani-kompostu>, ISSN: 1801-2655.
- [29] Pierucci P. Porazzi E. Martinez M. P. Adani F. Carati C. Rubino M. Colombi A. Calcaterra E. Benfenati E. (2005) Volatile organic compounds produced during the aerobic biological processing of municipal solid waste in a pilot plant, *Chemosphere*, Vol. 59 (2005), pp. 423-430
- [30] Reynolds T.D. Richards P.A. (1996) Unit operations and processes in environmental engineering, PWS Publishing (1996), pp. 611-653, 573-589
- [31] Farrell M. Jones D.L. (2009) Critical evaluation of municipal solid waste composting and potential compost markets, *Bioresource technology* vol. 100 (2009), pp. 4301-4310
- [32] Susta M.R. (2007) Biogas production from MSW, Imte, příspěvek na konferenci Power-GEN Asia 2007, Bangkok, Thajsko (2007), cit. [2010-7-8], dostupné z <www.imteag.com/2-PGA-2007.pdf>
- [33] Blades R. (2007) Converting organic waste to energy, Biological dryers vs. anaerobic digestion, White paper (2007), dostupné z <www.wrighttech.ca/Converting%20Organic%20Waste%20to%20Energy-%20White%20Paper.pdf>
- [34] Zábranská J. (2002) Sirné sloučeniny ve vodohospodářské praxi a v ochraně prostředí, *SOVAK*, čís. 9 (2002), str.256-259
- [35] Habart J. Váňa J. (2006) Možnosti produkce bioplynu na zařízeních mechanicko-biologické úpravy, *Biom.cz*, aktualizováno [2006-08-011], cit. [2010-07-21], dostupné z <biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-produkce-bioplynu-na-zarizenich-mechanicko-biologicke-upravy>, ISSN 1801-2655
- [36] Bufka A. Rosecký D. Bednář P. Kyselák M. (2010) Statistika energetického využívání odpadů 1905 - 2009, Ministerstvo průmyslu a obchodu (2005), vydáno [2010-4-8], 51 str., cit. [2010-8-1], dostupné z <www.mpo.cz/dokument72541.html>

- [37] Ludwig Ch. Hellweg S. Stucki S. (2003) *Municipal Solid Waste Management*, Springer-Werlag, Germany, 2003
- [38] Brunner C.R (1996) *Incineration Systems Handbook*, ICI, USA, 1996
- [39] Achternbosch M. Richers U. (1999) *Material flows and investment costs of flue gas cleaning systems of municipal solid waste incinerators*, Forschungszentrum Karlsruhe, Wissenschaftliche Berichte, FZKA 6306, Juli 1999, dostupný z <www.itas.fzk.de/deu/Itaslit/acri02b.pdf>, ISSN 0947-8620
- [40] Filip M. (2009) *Aplikace účinných aparátů pro čištění spalín v reálných technologických linkách*, disertační práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojího inženýrství, Ústav procesního a ekologického inženýrství (2009), 138 str., vedoucí disertační práce doc. Ing. Ladislav Bébar, CSc.
- [41] Pavlas M. Máša V. Urban L. Hájek J. Stehlík P. (2008) *Novel technology for biomass combustion with heat recovery and optimized operation*, Proceedings of the 6th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics HEFAT 2008, pp. 1-5, ISBN 978-1-86854-691-6
- [42] 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>
- [43] Carlsson K. (2008) *Gas cleaning in flue gas from combustion of biomass*, EcoExpert, EU project - Thermal Net (2008), Deliverable 2E-3, dostupný z <www.thermalnet.co.uk/Resources/user/docs/2E-3%20Gas%20cleaning%20in%20flue%20gas%20from%20combustion%20of%20biomass.pdf>
- [44] Hemerka J. Hrdlička F. (2004) *Emise z kotelen a ochrana ovzduší (I)*, TZB-info [online], cit. [2010-8-13], dostupný z <www.tzb-info.cz/2294-emise-z-kotelen-a-ochrana-ovzdusi-i>, ISSN 1801-4399
- [45] ERC (2010) *carbamin 5745* [online], cit. [2010-8-13], dostupné z <www.erc-online.de/en/industry-power-plants/products/solid-fuel-additives/nox-reducing-agent/carbamin-5745/>
- [46] NALCO/FUEL-TECH, *Technologie pro hospodárnou ochranu životního prostředí, firemní prospekt*, (2008)
- [47] Solvay S.A. (2001) *Flue gas cleaning*, [on-line], cit. [2010-8-14], dostupné z <www.neutrec.com/process/recycling/0,0,1614-_EN,00.html>
- [48] Clear Edge (2010) *Cerafil TopKat* [online], cit. [2010-7-20], dostupné z <www.clear-edge.com/cerafil_topkat/>
- [49] Knorre G.F. (1951) *Pochody spalování*, Státní nakladatelství technické literatury (1956), typové číslo L13-B3-4-II

- [50] Němec Z. Matoušek R. Bébar L. Pařízek T. (2006) Automatic control of nitrogen oxides reduction during waste combustion, In CHISA 2006, August 2006, Praha, Process Engineering Publisher (2006), s. P5.082 (5 p.), ISBN: 80-86059-45-6.
- [51] Termizo a.s. (2010) Technologie - základní technické informace, cit. [2010-7-22], dostupné z <www.termizo.cz/indexcz.html>
- [52] Reimann D. O. (2005) CEWEP Energy Report (Status 2001-2004), Result of Specific Data for Energy, Efficiency Rates and Coefficients, Plant Efficiency factors and NCV of 97 European W-t-E Plants and Determination of the Main Energy Results, Bamberg, Germany, aktualizováno [2006-6], cit. [2010-4-5], dostupné z <www.cewep.eu/storage/med/media/statements/106_11_07_06_CEWEP-Report_Final_Version.pdf?fCMS=b78aeaa562765a376291e1549700dc3e>
- [53] Váňa J. (2003) Mechanicko - biologická úprava odpadů, Biom.cz [online], aktualizováno [2003-9-4], cit. [2010-07-20], dostupné z <biom.cz/cz/odborne-clanky/mechanicko-biologicka-uprava-odpadu>, ISSN 1801-2655
- [54] Rand T. Haukohl J. Marxen U. (2000) Municipal solid waste incineration, Requirements for a successful project, World bank technical paper no. 462, International bank for reconstruction and development/ The World bank (2000), cit. [2010-7-23], dostupné z <www.wds.worldbank.org/external/default/WDSCContentServer/WDSP/IB/2000/08/14/000094946_00072505420045/Rendered/PDF/multi_page.pdf>
- [55] Silla H. (2003) Chemical Process Engineering- Design and Economics, Marcel Dekker, Inc., New York, 2003
- [56] Wiehn G. Górak A. Pedrycz W. (1994) Cost modelling of waste in incineration plants: an application of fuzzy sets toward decision making under uncertainty, Ecological Modelling vol. 85 (1996), str. 83-91
- [57] [ČHMÚ <http://www.chmi.cz/uoco/emise/spalovny/index.html>].
- [58] Pražské služby (2010) Ceník ZEVO, aktualizováno [2010-1-1], cit. [2010-7-22], dostupné z <www.psas.cz/psas/assets/File/cenikZevo.pdf>
- [59] Termizo (2010) Ceník likvidace odpadů, cit. [2010-7-22], dostupné z <www.termizo.cz/indexcz.html>
- [60] Spalovna a komunální odpady Brno (2010) Technologický proces [online], cit. [2010-7-22], dostupné z <www.sako.cz/spalovna/proces/>
- [61] Český statistický úřad (2010) Index cen stavebních prací, Index cen průmyslových výrobců, aktualizováno [2010-7-12], cit. [2010-7-17], dostupné z <[www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/icsp_icpv/\\$File/ICSP_ICPV1998_2009.xls](http://www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/icsp_icpv/$File/ICSP_ICPV1998_2009.xls)>
- [62] Lam H. L. Varbanov P.S. Klemeš J.J. (2009) Optimisation of Regional Energy Supply Chains Utilising Renewables: P-Graph Approach, Computer Aided Chemical Engineering, Volume 26 (2009), str. 1003-1008

- [63] Cormio C. Dicorato M. Minoia A. Trovato M. (2003) A regional energy planning methodology including renewable energy sources and environmental constraints, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 7, Issue 2, str. 99-130
- [64] G-Team, a.s. (2010) Točivé redukce, cit. [2010-6-21], dostupné z <www.g-team.cz/pdf/redukce_cz.pdf>
- [65] Grolig O. Šikula J. Pavlas M. Stehlík P. (2009) Kogenerace z biomasy v jednotkách středních výkonů, 56. konference chemického a procesního inženýrství, CHISA 2009 Praha, Česká společnost chemického inženýrství (2009), sborník příspěvků, V045, ISBN 978-80-86059-51-8.
- [66] Thek G. Obernberger I. (2004) BIOS Energiesysteme GmbH. (2004) Techno-economic evaluation of selected decentralized CHP applications based on biomass combustion in IEA partner countries, final report, dostupné z <www.ieabcc.nl/publications/IEA-CHP-Q2-final.pdf>
- [67] Lee S. Themelis N. J. Castaldi M. J. (2006) High-temperature corrosion in waste-to-energy boilers, *Journal of thermal spray technology* vol.16 (2007), č. 1, str. 104-110, ISSN 1059-9630
- [68] Český statistický úřad (2010) Analýza vývoje průměrných mezd zaměstnanců, cit. [2010-7-18], dostupné z <www.czso.cz/csu/csu.nsf/ainformace/76E00048E0B2>
- [69] SPRINGER-VDI-VERLAG (2010) EBS-Heizkraftwerk in Bitterfeld-Wolfen am Netz, *Umwelt Magazin* [online], vydáno [2010-3-11], cit. [2010-07-26], dostupný z <[http://www.technikwissen.de/umwelt/news.php?data\[article_id\]=53730](http://www.technikwissen.de/umwelt/news.php?data[article_id]=53730)>
- [70] Merci (2010) Chemikálie [online], cit. [2010-07-13], dostupný z <www.merci.cz/cz/e-shop/chemikalie/>
- [71] ČEZ (2010) Produkty pro rok 2010 - velkoodběratelé [online], cit. [2010-07-13], dostupný z <www.cez.cz/cs/pro-zakazniky/elektrina-a-tarify/velkoodberatele/elektrina-2010/produkty-pro-rok-2010.html>
- [72] Ekologie s.r.o. (2006-2010), Ceník skládkování, cit. [2010-5-10], dostupný z <www.skladka-ekologie.cz/?page=cenik-skladkovani>
- [73] Městský úřad Nová Role (2005-2010), Ceník za uložení odpadu na skládku technické služby Nová Role, cit. [2010-5-10], dostupný z <www.novarole.cz/obsah/technicka-sluzba-cenik-za-ulozeni-odpadu-na-skladku-ts-novarole.html>
- [74] Šumperská provozní vodohospodářská společnost (2010), Vývoj ceny vodného a stočného, cit. [2010-5-10], dostupný z <www.spvs.cz/cena_vody>
- [75] Pavlas M. (2004) Výpočtový systém pro analýzu využití energie u technologickýchlinek, Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního a ekologického inženýrství (2004), vedoucí diplomové práce prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.

- [76] Varbanov P.S. (2004) Optimisation and synthesis of process utility systems, 333 str., disertační práce, Univesity of Manchester Institute of science and technology, vedoucí disertační práce prof. Robin Smith
- [77] Peterson J.F. Mann W.L. (1985) Steam System Design: How it Evolves, Chemical Engineering, vol. 92, No. 21, pp.62-74
- [78] Český statistický úřad (2010) Produkce, využití a odstranění odpadů v roce 2008, aktualizováno [2009-8-25], cit. [2010-7-18], dostupné z <[www.czso.cz/csu/tz.nsf/bce41ad0daa3aad1c1256c6e00499152/5da7a17010ef28ebc1257619002cd9dc/\\$FILE/TZ0908Odpady.doc](http://www.czso.cz/csu/tz.nsf/bce41ad0daa3aad1c1256c6e00499152/5da7a17010ef28ebc1257619002cd9dc/$FILE/TZ0908Odpady.doc)>
- [79] Český statistický úřad (2010) Pohyb obyvatelstva - 1. čtvrtletí 2010, cit. [2010-7-18], dostupné z <www.czso.cz/csu/csu.nsf/informace/coby061410.doc>
- [80] Zdeněk Tichý (2010) Ceník autodopravy, aktualizováno [2010-7-9], cit. [2010-7-20], dostupné z <www.stavby-tichy.cz/Autodoprava/Cenik.php>
- [81] AUTODOPRAVA CHALUPECKÝ (2010) Ceník služeb pro rok 2010, cit. [2010-7-20], dostupné z <www.dopravachalupecky.cz/getpdf.php>
- [82] Amin N. Amin M. M. Jamaludin S. B. Hussin K. (2008) The role of chloride salts on high temperature corrosion of 321 stainless steel, Materials and technology 42 (2008), č. 6, str. 273-276, ISSN 1580-2949
- [83] PLANstudio (2005) Plánovač trasy, cit. [2010-7-29] , dostupný z <www.mapy.cz>
- [84] 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)

Citované právní předpisy a normy

Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 4/2009 ze dne 3. listopadu 2009, kterým se stanovuje podpora pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů

Česká technická norma ČSN 07 7401, Voda a pára pro tepelná energetická zařízení s pracovním tlakem páry do 8 MPa, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (1992)

Nařízení vlády č. 197/2003 Sb. ze dne 4. června 2003 o Plánu odpadového hospodářství České republiky

Nařízení vlády č. 354/2002 Sb. ze dne 3. července 2002, kterým se stanoví emisní limity a další podmínky pro spalování odpadu

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 2000/76/ES ze dne 4. prosince 2000 o spalování odpadů (2000) Úřední věstník Evropské unie L 332

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

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES ze dne 19. listopadu 2008 o odpadech a o zrušení některých směrnic (2008) Úřední věstník Evropské unie L 312

Vyhláška č. 294/2005 Sb. o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady

Vyhláška č. 482/2005 Sb. ze dne 2. prosince 2005 o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy

Zákon č. 100/2001 Sb. ze dne 20. února 2001 o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o posuzování vlivů na životní prostředí)

Zákon č. 185/2001 Sb. ze dne 15. května 2001 o odpadech a o změně některých dalších zákonů

Zákon č. 565/1990 Sb. o místních poplatcích

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka	význam
AEF	aerobní fermentace
AMS	automatický emisní monitoring
ANF	anaerobní fermentace
BAT	Best Available Technique
BMÚ	biologicko-mechanická úprava
BREF	Best Available Technique Reference Documents
BRKO	biologicky rozložitelná složka komunálního odpadu
BRO	biologicky rozložitelný odpad
ČOV	čistírna odpadních vod
ČSÚ	Český statistický úřad
EIA	Environmental Impact Assessment
EV	energetické využití
ICPV	index cen průmyslových výrobců
ICSP	index cen stavebních prací
ISC	index spotřebitelských cen
KO	komunální odpady
LF	lehká frakce SKO
MaR	měření a řízení
MBÚ	mechanicko-biologická úprava
MFÚ	mechanicko-fyzikální úprava
NO _x	oxidy dusíku
OZE	obnovitelné zdroje energie
OZE	obnovitelné zdroje energie
PCDD/F	polychlorované dibenzodioxiny/furany
PET	polyetylentereftalát
PF	podsítná frakce SKO
PVC	polyvinylchlorid
SCR	Selective Catalytic Reduction - selektivní katalytická redukce
SF	stabilizovaná frakce SKO
S-IO	skládka inertního odpadu
SKO	směsný komunální odpad
SNCR	Selective non-Catalytic Reduction - selektivní nekatalytická redukce
S-OO	skládka ostatního odpadu
SO _x	oxidy síry
TAP	tuhé alternativní palivo
TF	těžká frakce SKO
TOC	celkový organický uhlík
TZL	tuhé znečišťující látky

Symbol	význam	jednotka
C	náklady	mil. Kč
c	celkové měrné náklady	Kč/t
$C_{doprava}$	měrná cena dopravy SKO	Kč/(km.t)
$C_{prim.en.}$	měrné náklady na úsporu primární energie	Kč/kWh
E_f	roční energetický vstup do systému z paliv přispívajících k výrobě páry	GJ/rok
E_i	spotřebovaná energie	GJ/rok
E_p	produkovaná energie	GJ/rok
E_{tep}^{prim}	množství primární energie potřebné k výrobě daného množství tepelné energie	kWh
E_{el}^{prim}	množství primární energie potřebné k výrobě daného množství elektrické energie	kWh
e_{prim}	měrné úspory primární energie	kWh/t SKO
E_w	množství energie obsažené ve zpracovávaných odpadech	GJ/rok
I	příjmy	mil. Kč
$k_{nepřimost}$	koeficient nepřímosti trasy	-
k_{el}^{ref}	koeficient výroby elektrické energie	-
k_{tep}^{ref}	koeficient výroby tepelné energie	-
K_{rok}	roční zpracovatelská kapacita	kt
$\dot{m}_{pára}$	hmotnostní průtok páry	kg/hod
P_{odpad}^S	produkce odpadu v dané ploše	kg/rok
P_{odpad}^S	měrná produkce SKO	kg/(obyv.rok)
$P_{turb.}$	výkon turbíny na hřídeli	kW
r	svozová vzdálenost	km
S	plocha	m ²
S_{prima}	přímá vzdálenost mezi lokacemi	km
$S_{skut.}$	skutečná dopravní vzdálenost mezi lokacemi	km
t	čas	s
Δh_{ideal}	ideální měrný entalpický spád	[kWh/t.t/h), kW]
ΔH_{ideal}	ideální entalpický spád	kW
$\Delta T_{sat.}$	rozdíl saturačních teplot	°C
η_{energ}	energetická účinnost	-
$\eta_{turb.}$	vnitřní termodynamická účinnost turbíny	-
$\rho_{obyt.}$	hustota zalidnění	obyv./km ²
η_{tep}^{ref}	referenční hodnota samostatné výroby tepelné energie	-
η_{el}^{ref}	referenční hodnota samostatné výroby elektrické energie	-

Index	význam
<x	pro roční zpracovatelskou kapacitu menší než x
>x	pro roční zpracovatelskou kapacitu větší než x
AEF	týkající se aerobní fermentace
ANF	týkající se anaeaerobní fermentace
doprava	týkající se nákladů na dopravu
EV	vztahující se k jednotce EV
inv	vztahující se k investicím
MBÚ	vztahující se k jednotce MBÚ
mzdy	týkající se mzdových nákladů
ref	referenční
rezidua	týkající se reziduí
SF	týkající se stabilizované frakce
TF	týkající se těžké frakce
udr,reinv	týkající se údržby a reinvestic
zprac	týkající se zpracování odpadu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1	Hierarchie nakládání s odpady	3
Obr. 1.2	Predikce množství BRKO, zdroj [2]	6
Obr. 1.3	Hmotnostní materiálové složení SKO, převzato z [9].....	14
Obr. 1.4	Hmotnostní frakční složení SKO	15
Obr. 3.1	Obecné schéma MBÚ	19
Obr. 3.2	Obecné schéma mechanické části MBÚ	21
Obr. 3.3	Separátor TF, převzato [18]	22
Obr. 3.4	Separátor kovů, převzato [19]	23
Obr. 3.5	Hmotová a energetická bilance mechanické části jednotky MBÚ	24
Obr. 3.6	Obecné schéma aerobní fermentace	25
Obr. 3.7	Závislost teploty zakládky na čase, převzato [24].....	27
Obr. 3.8	Složení bioplynu v závislosti na zdržné době, převzato [32]	29
Obr. 3.9	Obecné schéma anaerobní fermentace	30
Obr. 3.10	Schéma kombinované anaerobní a aerobní fermentace	32
Obr. 3.11	Hmotová a energetická bilance biologické části jednotky MBÚ, varianta pouze s AEF	33
Obr. 3.12	Hmotová a energetická bilance biologické části jednotky MBÚ, varianta ANF s AEF	33
Obr. 4.1	Procentuální zastoupení spaloven SKO a skládkování SKO ve státech Evropy, převzato [4].....	36
Obr. 4.2	Obecné schéma jednotky EV SKO	37
Obr. 4.3	Aparátová skladba souboru čištění spalin	42
Obr. 4.4	Vliv teploty a součinitele přebytku spalovacího vzduchu na tvorbu jednotlivých typů oxidů dusíku, převzato z [44].....	42
Obr. 4.5	Čpavkový skluz a účinnost redukce NO _x pro různé teplotní hladiny, převzato [46].....	43
Obr. 4.6	Vliv kalcinace na povrch částice, převzato [47]	45
Obr. 4.7	Vliv velikosti částice na účinnost odstranění SO ₂ , převzato [47].....	46
Obr. 4.8	Hmotová a energetická bilance spalovacího zařízení jednotky EV SKO	48
Obr. 4.9	Hmotová a energetická bilance utilizace tepla jednotky EV SKO s kapacitou do 20 kt/rok	49
Obr. 4.10	Hmotová a energetická bilance utilizace tepla jednotky EV SKO s kapacitou nad 20 kt/rok.....	50
Obr. 4.11	Hmotová a energetická bilance suché sorpce a povrchové filtrace jednotky EV SKO vztažená na 1 t SKO.....	51
Obr. 4.12	Hmotová a energetická bilance DeNO _x jednotky EV SKO vztažená na 1 t SKO	51
Obr. 4.13	Částečná bilance energocentra jednotky EV SKO s kapacitou do 20 kt/rok vztažená na 1 t SKO	52
Obr. 4.14	Celková bilance energocentra jednotky EV SKO s kapacitou do 20 kt/rok vztažená na 1 t SKO	53
Obr. 4.15	Částečná bilance energocentra jednotky EV SKO s kapacitou nad 20 kt/rok vztažená na 1 t SKO	53
Obr. 5.1	Závislost investičních nákladů MBÚ na roční zpracovatelské kapacitě	58
Obr. 5.2	Závislost investičních nákladů jednotky EV SKO na roční zpracovatelské kapacitě	60
Obr. 5.3	Závislost investičních nákladů jednotky EV SKO na roční zpracovatelské kapacitě s vlivem jednotek nízkých kapacit.....	70
Obr. 5.4	Závislost investičních nákladů malých jednotek EV SKO na roční zpracovatelské kapacitě.....	71

Obr. 5.5	Závislost investičních nákladů jednotky MBÚ na roční zpracovatelské kapacitě s vlivem jednotek nízkých kapacit.....	73
Obr. 6.1	Výdaje a příjmy jednotky EV SKO s využitím odpadního tepla[67].....	75
Obr. 6.2	Celkové mzdové náklady jednotky EV SKO v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě za dobu životnosti	87
Obr. 6.3	Celkové mzdové náklady jednotky MBÚ v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě za dobu životnosti	90
Obr. 6.4	Závislost ideálního entalpického spádu na roční zpracovatelské kapacitě jednotky EV SKO.....	97
Obr. 6.5	Závislost měrné generované elektrické energie a vnitřní termodynamické účinnosti turbíny na roční zpracovatelské kapacitě jednotky EV SKO	100
Obr. 6.6	Určení kapacity jednotky v závislosti na ploše svozové oblasti.....	103
Obr. 6.7	Závislost koeficientu nepřímosti trasy na roční zpracovatelské kapacitě jednotky.....	108
Obr. 6.8	Závislost kapacity, celkových investičních a dopravních nákladů na svozové vzdálenosti pro jednotku EV SKO	109
Obr. 6.9	Závislost kapacity, celkových investičních a dopravních na svozové vzdálenosti pro jednotku MBÚ	109
Obr. 6.10	Procentuální zastoupení skupin celkových nákladů za dobu životnost v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě pro jednotky EV SKO	111
Obr. 6.11	Procentuální zastoupení skupin celkových nákladů za dobu životnosti v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě pro jednotky MBÚ s ukládáním všech frakcí na skládku.....	112
Obr. 6.12	Procentuální zastoupení skupin celkových nákladů za dobu životnosti jednotky v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě jednotky MBÚ s ukládáním těžké a stabilizované frakce na skládku	112
Obr. 6.13	Procentuální zastoupení skupin celkových nákladů za dobu životnost v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě pro jednotky EV SKO s vlivem nákladů na dopravu	113
Obr. 6.14	Procentuální zastoupení skupin celkových nákladů za dobu životnost v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě pro jednotky MBÚ s vlivem nákladů na dopravu a ukládáním těžké a stabilizované frakce na skládku.....	113
Obr. 7.1.	Závislost celkových měrných nákladů jednotky EV SKO na roční zpracovatelské kapacitě s vlivem dopravy.....	115
Obr. 7.2	Závislost celkových měrných nákladů jednotky EV SKO na roční zpracovatelské kapacitě s vlivem dopravy pro jednotky malých kapacit	116
Obr. 7.3	Srovnání jednotek EV SKO s jednotným poplatkem za odvoz a zpracováním odpadu s jednotkami EV SKO s poplatkem pouze za zpracování odpadu	117
Obr. 8.1	Závislost celkových měrných nákladů jednotky MBÚ na roční zpracovatelské kapacitě s vlivem dopravy.....	119
Obr. 8.2	Závislost celkových měrných nákladů jednotky MBÚ na roční zpracovatelské kapacitě s vlivem dopravy pro jednotky malých kapacit	120
Obr. 8.3	Srovnání jednotek MBÚ s AEF s jednotným poplatkem za odvoz a zpracováním odpadu s jednotkami MBÚ s poplatkem pouze za zpracování odpadu.....	121
Obr. 8.4	Srovnání jednotek MBÚ s ANF s jednotným poplatkem za odvoz a zpracováním odpadu s jednotkami MBÚ s poplatkem pouze za zpracování odpadu.....	121

Obr. 9.1	Procentuální zastoupení skupin celkových nákladů za dobu životnost v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě pro kombinovanou jednotku MBÚ a EV	124
Obr. 9.2	Procentuální zastoupení nákladů za dobu životnost v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě pro kombinovanou jednotku MBÚ a EV bez vlivu příjmů.....	125
Obr. 9.3	Procentuální zastoupení nákladů za dobu životnost v závislosti na roční zpracovatelské kapacitě pro kombinovanou jednotku MBÚ a EV s vlivem příjmů.....	125
Obr. 9.4	Závislost celkových měrných nákladů kombinované jednotky MBÚ a EV na roční zpracovatelské kapacitě s vlivem dopravy	126
Obr. 9.5	Závislost celkových měrných nákladů kombinované jednotky MBÚ a EV na roční zpracovatelské kapacitě s vlivem dopravy pro jednotky malých a středních kapacit	127
Obr. 9.6	Srovnání kombinovaných jednotek MBÚ a EV s jednotným poplatkem za odvoz a zpracováním odpadu s kombinovanými jednotkami MBÚ a EV s poplatkem pouze za zpracování odpadu.....	127
Obr. 9.7	Závislost měrné generované elektrické energie a vnitřní termodynamické účinnosti turbíny jednotky EV LF na roční zpracovatelské kapacitě jednotky MBÚ s navazující EV LF	128
Obr. 10.1	Srovnání závislosti celkových měrných nákladů na roční zpracovatelské kapacitě s vlivem dopravy pro různé jednotky	129
Obr. 10.2	Závislost celkových měrných nákladů různých jednotek na roční zpracovatelské kapacitě s vlivem dopravy pro jednotky malých a středních kapacit	130
Obr. 11.1	Závislost měrných úspor primární energie pro různé technologie na roční zpracovatelské kapacitě	133
Obr. 11.2	Závislost měrných nákladů na úsporu primární energie pro různé technologie na roční zpracovatelské kapacitě	134
Obr. 11.3	Závislost měrných nákladů na úsporu primární energie na roční zpracovatelské kapacitě pro jednotky malých kapacit	135

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1	Predikce množství SKO nutného odklonit od skládkování, převzato [2].....	6
Tab. 1.2	Srovnání emisních limitů, převzato [7].....	10
Tab. 1.3	Palivářské složení SKO.....	15
Tab. 1.4	Obvyklé rozsahy složení SKO	16
Tab. 1.5	Palivářské složení LF	16
Tab. 1.6	Palivářské složení SF	17
Tab. 1.7	Palivářské složení PF	17
Tab. 3.1	Přehled procesů MBÚ	19
Tab. 3.2	Měrné spotřeby energií a médií mechanické části MBÚ	24
Tab. 3.3	Rozdělení anaerobních mikroorganismů, převzato z [12].....	30
Tab. 3.4	Měrné spotřeby energií a médií biologické části MBÚ	34
Tab. 3.5	Měrné spotřeby energií a médií jednotky MBÚ.....	35
Tab. 3.6	Měrné spotřeby energií a médií jednotky MBÚ s AEF.....	35
Tab. 3.7	Měrné spotřeby energií a médií jednotky MBÚ s ANF a AEF	35
Tab. 4.1	Přehled znečišťujících látek a metod odstraňování	41
Tab. 4.2	Složení spalovacího vzduchu	48
Tab. 4.3	Parametry páry	49
Tab. 4.4	Měrné spotřeby energií a médií jednotky EV SKO	55
Tab. 4.5	Hmotová bilance jednotky EV SKO	55
Tab. 5.1	Výše investičních nákladů MBÚ	57
Tab. 5.2	Výše investičních nákladů jednotek EV SKO.....	57
Tab. 5.3	Investiční náklady MBÚ se zpracovatelskou kapacitou 60 kt/r	62
Tab. 5.4	Vývoj inflace za období 1999 až 2009.....	65
Tab. 5.5	Investiční náklady jednotky EV SKO v roce 1999	65
Tab. 5.6	Investiční náklady jednotky EV SKP pro rok 2009	66
Tab. 5.7	Předpokládaná výše investičních nákladů jednotek EV SKO s nízkou roční zpracovatelskou kapacitou	68
Tab. 5.8	Investiční náklady jednotky EV SKO s roční zpracovatelskou kapacitou 10 kt	69
Tab. 5.9	Přehled rovnic použitých pro výpočet investičních cen jednotky EV SKO a jednotky MBÚ	73
Tab. 6.1	Skutečná celková zpracovatelská kapacita jednotky EV SKO.....	77
Tab. 6.2	Skutečná celková zpracovatelská kapacita jednotky MBÚ.....	78
Tab. 6.3	Roční procentuální výše nákladů na údržbu jednotky EV SKO	79
Tab. 6.4	Výše nákladů na údržbu referenční jednotky EV SKO.....	80
Tab. 6.5	Reinvestice referenční jednotky EV SKO.....	80
Tab. 6.6	Celkové náklady na údržbu a reinvestice referenční jednotky EV SKO.....	81
Tab. 6.7	Úvazkové a personální obsazení jednotky EV SKO s roční zpracovatelskou kapacitou 100 kt	83
Tab. 6.8	Výše mzdových nákladů jednotky EV SKO s roční zpracovatelskou kapacitou 100 kt	84
Tab. 6.9	Minimální úvazkové a personální obsazení jednotky EV SKO s malou roční zpracovatelskou kapacitou	85
Tab. 6.10	Minimalizovaná výše mzdových nákladů jednotky EV SKO	86
Tab. 6.11	Výše mzdových nákladů jednotky EV SKO s roční zpracovatelskou kapacitou 200 kt	86

Tab. 6.12	Výše mzdových nákladů jednotky EV SKO s roční zpracovatelsko kapacitou 400 kt	87
Tab. 6.13	Personální obsazení jednotky MBÚ s roční zpracovatelskou kapacitou 60 kt	88
Tab. 6.14	Výše mzdových nákladů jednotky MBU s roční zpracovatelsko kapacitou 60 kt	89
Tab. 6.15	Výše mzdových nákladů jednotky MBU s roční zpracovatelsko kapacitou 120 kt	89
Tab. 6.16	Výše mzdových nákladů jednotky MBU s roční zpracovatelsko kapacitou 240 kt	89
Tab. 6.17	Výše měrných nákladů na zpracování 1 t odpadu v jednotce EV SKO	91
Tab. 6.18	Výše nákladů na zpracování 1 t odpadu v mechanické části jednotky MBÚ	91
Tab. 6.19	Výše nákladů na zpracování 1 t odpadu v biologické části jednotky MBÚ	92
Tab. 6.20	Výše nákladů spojené s odpady vzniklými ze zpracování 1 t odpadu v jednotce EV SKO	93
Tab. 6.21	Výše nákladů spojené s odpady vzniklých ze zpracování 1 t odpadu v jednotce MBÚ	94
Tab. 6.22	Výše příjmů za prodej elektrické energie a kovového šrotu vzniklých ze zpracování 1 t SKO v jednotce EV SKO s roční zpracovatelskou kapacitou 100 kt.....	95
Tab. 6.23	Parametry páry	96
Tab. 6.24	Přehled parních turbín, převzato z [75]	97
Tab. 6.25	Koeficienty kondenzačních turbín , převzato z [76]	98
Tab. 6.26	Výsledné koeficienty kondenzačních turbín pro dané podmínky	99
Tab. 6.27	Vnitřní termodynamická účinnost turbíny v závislosti na jejím výkonu.....	99
Tab. 6.28	Výše příjmů z prodeje kovového šrotu a elektrické energie vzniklé zpracováním 1 t SKO v jednotce MBÚ	101
Tab. 6.29	Přehled cen dopravců	105
Tab. 6.30	Přehled přímých a skutečných dopravních vzdáleností	107
Tab. 6.31	Přehled vztahů pro příjmy a výdaje jednotky EV SKO	110
Tab. 6.32	Přehled vztahů pro příjmy a výdaje jednotky MBÚ	110
Tab. 7.1	Srovnání celkových měrných nákladů jednotek EV SKO	118
Tab. 11.1	Úspory primární energie pro různé varianty zpracování SKO	132