



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA EKONOMIKY, MANAŽERSTVÍ A HUMANITNÍCH VĚD

DIPLOMOVÁ PRÁCE

EKONOMICKÁ EFEKTIVNOST ENERGETICKÉHO VYUŽITÍ ODPADU

ECONOMIC EFFICIENCY OF WASTE TO ENERGY

VEDOUCÍ PRÁCE: PROF. ING. OLDŘICH STARÝ, CSC.

STUDIJNÍ PROGRAM: ELEKTROTECHNIKA, ENERGETIKA A MANAGEMENT

STUDIJNÍ OBOR: MANAGEMENT ENERGETIKY A ELEKTROTECHNIKY

ONDŘEJ
MRÁZ

KVĚTEN 2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Mráz** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **457037**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Management energetiky a elektrotechniky**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Ekonomická efektivnost energetického využití odpadu

Název diplomové práce anglicky:

Economic efficiency of waste to energy

Pokyny pro vypracování:

Zpracujte přehled použitelných technologií
Zjistěte aktuální množství odpadu a způsob nakládání s ním
Popište reálné projekty zařízení pro energetické využití odpadů (ZEVO)
Shrňte legislativní požadavky v této oblasti
Navrhněte a ověřte zhodnocení ekonomie přestavby teplárny na ZEVO

Seznam doporučené literatury:

Kumar and S. R. Samadder, "A review on technological options of waste to energy for effective management of municipal solid waste," Waste Management, vol. 69, 2017
B. Leckner, "Process aspects in combustion and gasification Waste-to-Energy (WtE) units," Waste Management, vol. 37, 2015
A. Ramos, E. Monteiro, V. Silva, and A. Rouboa, "Co-gasification and recent developments on waste-to-energy conversion: A review," Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 81, 2018

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

prof. Ing. Oldřich Starý, CSc., katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **04.02.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **22.05.2020**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2021**

prof. Ing. Oldřich Starý, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce, a že jsem na konci práce uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, dne

Podpis

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce prof. Ing. Oldřichu Starému, CSc. za jeho ochotu a za podnětné připomínky při vedení této práce.

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je zhodnotit ekonomii výstavby a provozu zařízení pro energetické využití komunálního odpadu, ve srovnání s původním zdrojem tepla. Práce shrnuje použitelné technologie energetického využití odpadu, související legislativu a současný stav odpadového hospodářství ČR a EU. V druhé části práce je proveden výpočet minimální ceny tepla z malého ZEVO, které by využívalo komunální odpad z regionu Šluknovského výběžku a okolí. Také je zde hodnocen přínos z hlediska emisí skleníkových plynů.

Klíčová slova

Odpad, komunální odpady, energetické využití, ZEVO, spalovna, ekonomická efektivnost

Abstract

The aim of this master's thesis is the economic evaluation of a waste-to-energy (WtE) heating plant in comparison to the original source of heat. The thesis summarizes available waste-to-energy technologies, related legislation and the current state of waste management in the Czech Republic and the EU. The second part of the thesis contains the calculation of minimum price of heat from a small WtE plant processing local municipal waste. Benefit of greenhouse gases emissions reduction is also evaluated.

Keywords

Waste, municipal waste, waste-to-energy, incineration plant, economic effectiveness

Použité zkratky a značení

ZEVO – zařízení pro energetické využití odpadů

EVO – energetické využití odpadu

SKO – směsný komunální odpad, anglicky *MSW (municipal solid waste)*

KO – komunální odpad

CZT – centrální zásobování teplem

LPG – zkapalněný ropný plyn (propan-butan)

BRKO – biologicky rozložitelný komunální odpad

ČOV – čistička odpadních vod

CNG – stlačený zemní plyn

TAP – tuhé alternativní palivo, angl. *RDF (refuse derived fuel)*, případně *SRF (solid recovered fuel)*

MBÚ – mechanicko-biologická úprava

BAT – nejlepší dostupné techniky (*Best Available Techniques*)

BREF – referenční dokument o nejlepších dostupných technikách
(*Reference Document on Best Available Techniques*)

SCR – selektivní katalytická redukce (*Selective Catalytic Reduction*)

SNCR – selektivní nekatalytická redukce (*Selective non-catalytic reduction*)

POZE – podporované zdroje energie

EIA – Vyhodnocení vlivů na životní prostředí

ČNB – Česká národní banka

MŽP – Ministerstvo životního prostředí

MPO – Ministerstvo průmyslu a obchodu

MF – Ministerstvo financí

ORP – obec s rozšířenou působností

MaR – měření a regulace

WACC – vážené průměrné náklady kapitálu

NPV – čistá současná hodnota

IRR – vnitřní výnosové procento

ZP – zemní plyn

GWP – global warming potential

c_{\min} – minimální cena tepla

t_{SKO} – tuna směsného komunálního odpadu

t_{CO_2} – tuna oxidu uhličitého

DST – denostupně (den.°C)

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Metody energetického využití odpadu	2
2.1. Termické metody.....	2
2.2. Biologické metody	11
2.3. Skládkování.....	12
3. Související legislativa	13
4. Odpadové hospodářství ČR	20
4.1. Současný stav.....	20
4.2. Budoucí vývoj.....	23
5. Současný stav EVO v EU	25
6. Hodnocení ekonomie provozu ZEVO.....	27
6.1. Uvažovaný region	27
6.2. Uvažovaná soustava CZT	27
6.3. Technické provedení.....	28
6.4. Emise skleníkových plynů	31
6.5. Ekonomické vstupy modelu.....	34
6.6. Struktura výnosů a nákladů	38
6.7. Výsledky výpočtu	39
7. Závěr	48
8. Zdroje.....	49
9. Seznam tabulek, grafů a obrázků.....	53
10. Přílohy.....	55
10.1. Výňatek v cenových rozhodnutích ERÚ platných pro rok 2020.....	55
10.2. Stanovení ročních CF.....	57
10.3. Výpočtový model	58

1. Úvod

Odpady jsou jedním z problémů dnešní doby. Přínosem této diplomové práce by mělo být stanovení výše minimální ceny tepla z odpadů a zdůraznění přínosů energetického využití komunálních odpadů.

Odpadové hospodářství České republiky bude muset v následujících letech projít významnou proměnou, pokud má být ČR schopna plnit požadavky stanovené legislativou EU. Míra využití komunálních odpadů je v současnosti napříč Evropou velmi rozlišná. V ČR stále dominuje jejich skládkování. Podle hierarchie nakládání s odpady má však přednost recyklace a energetické využití. Návrh nového zákona o odpadech stanovuje konec skládkování využitelných komunálních odpadů na rok 2030. Do té doby je tedy nutné v ČR problematiku nakládání s těmito odpady vyřešit. Výstavba zařízení pro energetické využití odpadu (ZEVO) je cestou k omezení skládkování komunálních odpadů. V kombinaci s recyklací je pak možné přestat tyto odpady skládkovat úplně.

Energetické využití odpadu probíhá v tzv. *zařízeních pro energetické využití odpadu (ZEVO)*. V rámci této práce se zabývám zhodnocení ekonomie výstavby a provozu malého ZEVO, které by zpracovávalo směsný komunální odpad a zásobovalo by teplem soustavu CZT. Konkrétně se zabývám výstavbou malého ZEVO v regionu Šluknovského výběžku. Cílem práce je stanovit minimální cenu tepla z takového zařízení. Dále bude práce obsahovat výpočet vnitřního výnosového procenta a vyčíslení dopadů projektu na emise skleníkových plynů. Výsledky výpočtu budou podrobeny citlivostní analýze, ve které stanovím vliv jednotlivých parametrů, které minimální cenu tepla ovlivňují.

2. Metody energetického využití odpadu

Energetické využití odpadu (EVO) probíhá primárně v „zařízeních pro energetické využití odpadu“ (dále ZEVO). Existuje zde rozdíl mezi *spalovnou odpadu* a ZEVO. Spalovna je podle české legislativy zařízením pro odstraňování odpadů. Pro zařazení mezi ZEVO je nutné splnění minimální energetické účinnosti [1]. V návrhu nového zákona o odpadech dochází k zpřesnění definice EVO, kdy „*použitý odpad nepotřebuje po vlastním zapálení ke spalování podpůrné palivo*“ [2].

V souvislosti se ZEVO je zmiňována „kapacita“ takového zařízení. Tímto termínem se myslí množství odpadu zpracované tímto zařízením za rok. Z hlediska kapacity lze ZEVO rozdělit na „malá“ a „velká“. Malé ZEVO je uváděno v rozmezí 10 až 40 kt/rok [3]. Všechna ZEVO provozovaná aktuálně v ČR podle takového rozdělení spadají mezi ZEVO velká. V rámci hodnocení ekonomie se dále v této práci zabývám výstavbou malého ZEVO.

Přínosy energetického využití odpadů jsou hlavně:

- náhrada fosilních primárních zdrojů energie,
- snížení závislosti na dovozu primárních zdrojů energie,
- redukce hmotnosti/objemu odpadu (omezení skládkování),
- separace kovů z odpadu mířícího na skládku,
- likvidace zdravotně závadného materiálu.

2.1. Termické metody

Jedná se o metody využívající tepelné chemické reakce přeměny organických látek. Produktem je buď přímo tepelná energie, nebo látky využitelné jako paliva. Podle množství přítomného kyslíku lze procesy rozdělit do tří základních kategorií:

- spalování, kdy za přítomnosti dostatku kyslíku dochází k oxidaci a vzniku plynných oxidů přítomných prvků a uvolnění tepelné energie,
- pyrolýza, kdy při nepřístupu kyslíku dochází k přeměně na (převážně kapalné) uhlovodíky s kratším řetězcem,
- zplyňování (*gasifikace*), kdy za přítomnosti limitovaného množství kyslíku a/nebo vodní páry vzniká tzv. syntézní plyn (*syngas*).

Tabulka 2-1 *Přehled technologií*, podle: [2]

EVO Technologie	Výhody	Omezení	Primární produkt	Aplikace
Spalování	Vhodné při vysoké výhřevnosti, Snížení objemu a hmotnosti	Vysoké kapitálové a provozní náklady, produkce škodlivin	Teplo	Výroba tepla, páry a elektřiny
Pyrolýza	Produkce kvalitních paliv, omezená nutnost ošetření spalin	Vysoké náklady, velká viskozita produktu	Popel, olej/ropa, syntézní plyn	Výroba elektřiny, chemikálií a alternativních paliv
Zplyňování	Produkce plynného/tekutého paliva	Málo vyvinuté, málo flexibilní	Syntézní plyn	Výroba elektřiny a chemikálií
Skládkování	Nízké náklady, návrat přírodních zdrojů do půdy	Znečištění půdy/vody, potřeba velké plochy	Skládkový plyn	Výroba elektřiny

2.1.1. Výhřevnost odpadu

Zařízení pro energetické využití odpadů (*ZEVO*) mohou jako palivo využívat rozlišný odpad, který se může výrazně lišit výhřevností. Zařízení zpracovávající směsný komunální odpad (*SKO*) se bude lišit od toho, které například využívá jako palivo pouze zbytkové plasty/papír po dotřídění. Výhřevnost komunálního odpadu se udává v rozmezí přibližně 6 MJ/kg [4] - 11 MJ/kg [5] s váženým průměrem cca 9,3 MJ/kg. [3] Naproti tomu výhřevnost plastů nejčastěji používaných k výrobě obalů (polyetylen a polypropylen), se pohybuje nad 40 MJ/kg. [6]

Velký vliv na výhřevnost *SKO* má obsažená vlhkost. Spalné teplo se pohybuje v rozmezí 16 a 20 MJ/kg. [5] Nižší výhřevnost je dána mj. právě vysokým obsahem vody v odpadu. Výhřevnost *SKO* lze tedy zvýšit jeho sušením. [7]

Pro srovnání se směsným komunálním odpadem, výhřevnost hnědého energetického uhlí je cca 10 až 11 MJ/kg (důl Bílina 11,5 MJ/kg [8]) a je tedy mírně vyšší, než výhřevnost *SKO*. Na rozdíl od uhlí však v případě *SKO* nejde o homogenní hmotu, ale o směs materiálů s různou výhřevností včetně materiálu nehořlavého (typicky kovy a sklo). Lepších vlastností *SKO* jako paliva lze proto dosáhnout jeho homogenizací.

Výhřevnost směsného komunálního odpadu je závislá na jeho složení, které může být ovlivňováno více faktory. Tyto faktory jsou dány legislativní, socioekonomickou a technologickou úrovní společnosti a jsou územně závislé. [9] Hlavní vliv má v současnosti míra separace odpadu, tedy primárně množství obsažených plastů a papíru. Logicky lze vyvodit, že čím vyšší bude v budoucnu míra recyklace odpadu, tím méně zbyde výhřevného odpadu ve směsi *SKO*. Toto může představovat problém, pokud se tepelný cyklus (hlavně parametry kotle) má dimenzovat na konkrétní výhřevnost paliva.

V případě, že by v čase docházelo ke snižování výhřevnosti vstupního odpadu, mohlo by toto mít negativní dopad na ekonomii celého provozu *ZEVO*. Pokud by k takové situaci v budoucnu došlo, mohlo by východiskem být přimíchávání jiného (výhřevnějšího) materiálu, ideálně jiného odpadu. Nabízí se například spoluspalování s průmyslovým odpadem, případně s jiným, výhřevnějším palivem. Dalším řešením, které se nabízí, je z *SKO* separovat nehořlavou frakci a získat tak menší hmotnostní tok, avšak s vyšší výhřevností. V takovém případě se v zásadě jedná o výrobu tzv. tuhého alternativního paliva *TAP*.

2.1.2. Spalování

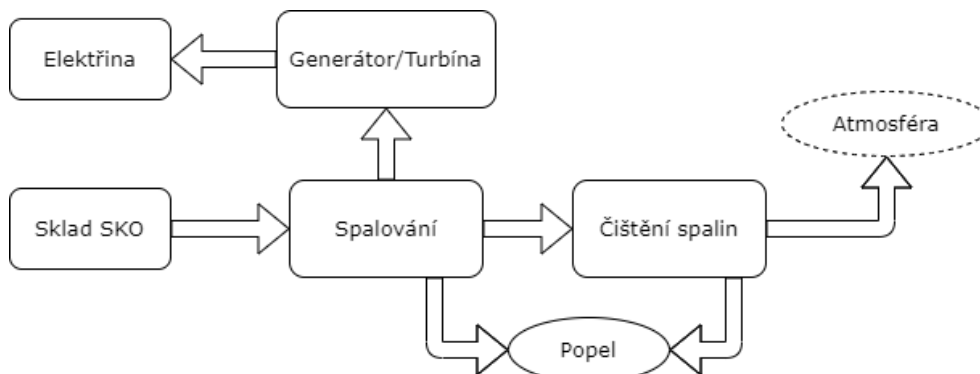
Nejjednodušším způsobem energetického využití odpadu je jeho přímé spálení a zužitkování generované energie, například v rámci parního cyklu.

Při spalování dochází k destrukci odpadu za vysokých teplot hořením v kotli. Dochází k přeměně (oxidaci) organických složek (plast, papír, *BRKO*), redukci objemu a vzniká teplo. Spalování umožňuje redukci hmotnosti směsného komunálního odpadu až o 70 % a objemu až o 90 % [10].

Spalování *SKO* probíhá při teplotách v rozmezí 750 a 1100 °C [10]. Při spalování dostatečně výhřevného odpadu s přebytkem kyslíku dochází k hoření samovolnému, kdy je přídatné palivo (např. zemní plyn) používáno pouze při roztápění kotle. Při pálení odpadu s malou výhřevností, vysokým obsahem inertního materiálu nebo vysokou vlhkostí je pro lepší prohoření žádoucí/nuté použití přídatného paliva i v běžném provozu. [11]

Produktem je vysokopotenciální teplo využitelné k výrobě páry. Pokud v lokalitě existuje poptávka po dodávce tepla, je provoz nejčastěji teplárenský s dodávkou tepla aglomeracím nebo průmyslovým podnikům. [12] Všechny čtyři v ČR operující ZEVO pracují v teplárenském režimu a dodávají teplo do soustav CZT měst, ze kterých primárně pochází zpracováváný odpad.

Obrázek 2-1 Diagram procesu spalování, přeloženo z: [2]



Nevýhodou přímého spalování je vznik polutantů (pevné částice, oxidy dusíku, síry a uhlíku, aromatické uhlovodíky a těžké kovy) odcházejících ve spalinách. [10] Součástí ZEVO musí tedy nutně být i proces čištění spalin (viz např. schéma ZEVO - Obrázek 2-3).

Zbytkem po spálení je popel a škvára obsahující navíc všechny nehořlavé složky zpracovávaného SKO: sklo a kovy (železo a barevné kovy). V současnosti existují účinné technologie, kterými je možné obsažené kovy získat [12] (železo magneticky, hliník např. elektrostatickým separátorem [13]). Zbývající inertní materiál je již možné uložit na skládku, nebo může najít uplatnění například ve stavebnictví. [12]

Reálná aplikace – velká ZEVO

V ČR jsou aktuálně provozována čtyři zařízení pro energetické využití odpadů pracující na principu jejich spalování. Tři z těchto zařízení vznikla před rokem 2000.

Nejstarší ze současných zařízení provozuje v Brně společnost *SAKO Brno, a.s.* V provozu je od roku 1989. Druhé nejstarší zařízení provozují v současnosti *Pražské služby, a.s.* v Praze Malešicích. Původní spalovna odpadu byla uvedena do zkušebního provozu v roce 1997. [14]

Následují dvě „menší“ ZEVO, zpracovávají každé kolem 90 kt odpadu ročně (navržená kapacita cca 95 tis. tun). Starší z nich provozuje v Liberci společnost *TERMIZO a.s.* již od roku 1999. [15]

Nejnovější ZEVO v ČR bylo vybudováno v Plzni, provozuje ho společnost *Plzeňská teplárenská a.s.* Proces jeho vzniku začal již v roce 2009 záměrem investora a referendem, ve kterém místní obyvatelé výstavbu odsouhlasili. V roce 2011 bylo požádáno o posudek vlivu budoucí spalovny na životní prostředí (EIA). V roce 2013 bylo uděleno stavební povolení. Samotná výstavba trvala 3 roky a do zkušebního provozu bylo ZEVO uvedeno 12. 8. 2016. [16] Celý proces tedy trval 7 let, z toho samotná výstavba 3 roky.

Tabulka 2-2 *Přehled ZEVO v ČR*, zdroje: [15], [12], [16], [17]

ZEVO	v provozu od	kapacita	instalovaný el. výkon	2017: dodávka tepla	spálený odpad
Praha	1997	310 000	17,5 MW	848 822 GJ	294 900 t
ZEVO Pízeň	2016	95 000	10,5 MW	205 307 GJ	93 755 t
TERMIZO Liberec	1999	96 000	(3,5 + 1) MW	588 839 GJ*	86 440 t
SAKO Brno	1989	248 000	22,7 MW	998 944 GJ	220 653 t
*2017/2018					

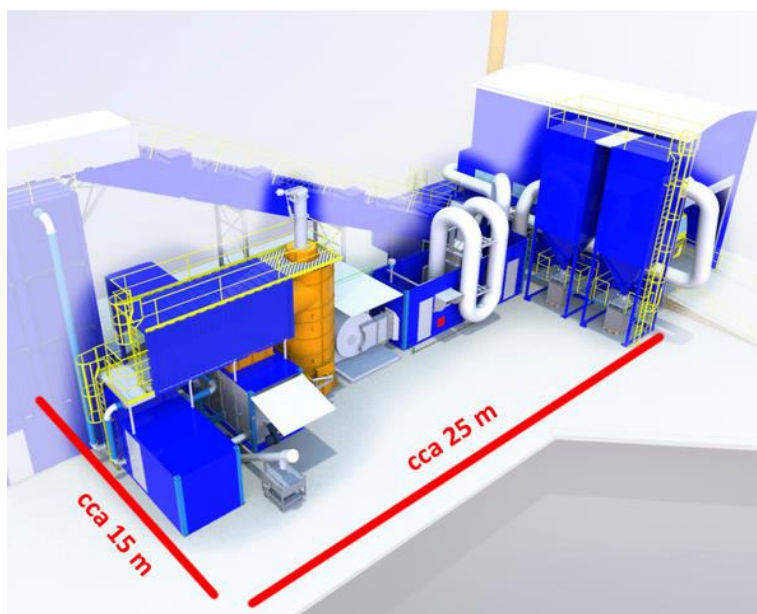
Celková navržená kapacita současných českých ZEVO je tedy 749 tis. tun odpadu ročně.

Mezi aktuálně plánované projekty se řadí mj. plán výstavby ZEVO v areálu Elektrárny Mělník (kapacita 320 tis. tun SKO) [17], v areálu teplárny v Plané nad Lužnicí (kapacita 50 tis. tun) [18] a také výstavba malého ZEVO ve Vsetíně (kapacita 12 tis. tun) [19].

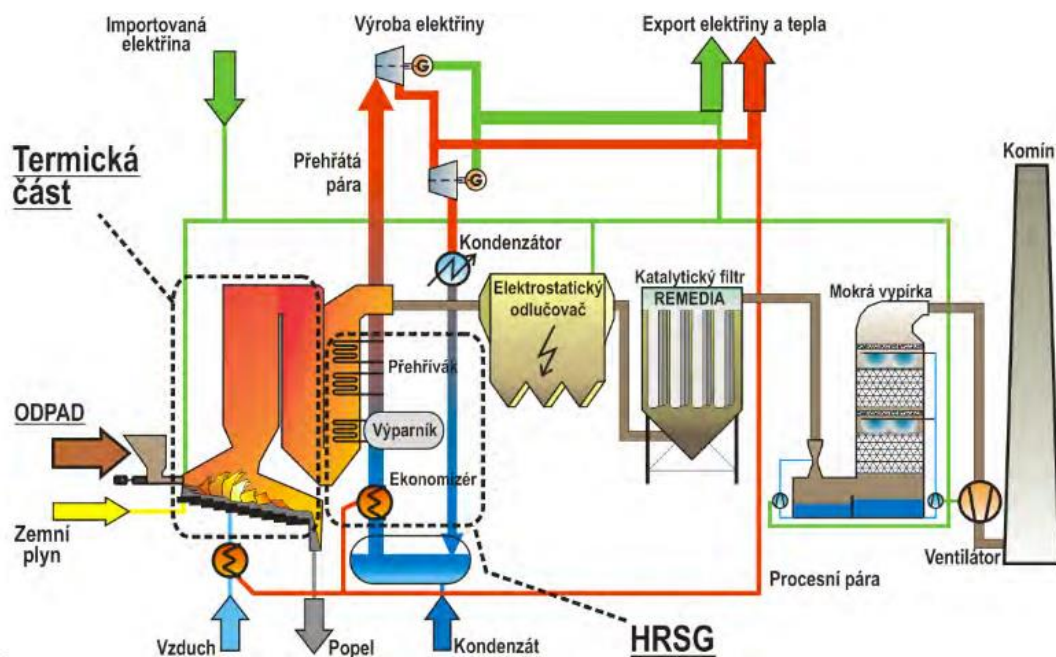
Reálná aplikace – malá ZEVO

Spalování odpadů pro jejich energetické využití nemusí nutně probíhat ve velkých množstvích. Příkladem aplikace této technologie pro zpracování menšího množství odpadů může být technologie modulárního ZEVO společnosti *EVECONT*, kterou je možné využít pro zpracování různých vstupů: nemocniční odpad, kaly z ČOV, průmyslové odpady, výměty z třídících linek a také SKO.

Obrázek 2-2 *Příklad modulárního systému ZEVO* [18]:



Obrázek 2-3 Základní schéma provedení ZEVO včetně čištění spalin [8]



Podmínkou šetrného provozu ZEVO je čištění spalin na výstupu z kotle. Systém čištění spalin může využívat rozličné technologie. Konečným cílem je zbavit spaliny odcházející z kotle obsažených škodlivin. Mezi tyto škodliviny patří emise prachových částic, chloru, těžkých kovů, HCl, HF, SO₂, NO_x, N₂O, CO a NH₃, organické sloučeniny. Monitorovány jsou emise do vzduchu i do vody. Použitelné metody čištění zahrnují: mokrou, suchou a polosuchou vypírku, selektivní katalytickou (SCR) a nekatalytickou (SNCR) redukci [20] a dále nejrůznější optimalizace spalovacího procesu (recirkulace spalin apod.). Pevné částice mohou být zachycovány elektrostatickým odlučovačem (viz schéma výše) nebo textilním filtrem, dalšího snížení může být dosaženo instalací „pračky“ [21]. Instalace mokré technologie umožňuje lepší vyčištění spalin (nižší emise do vzduchu), avšak naopak přináší větší produkci odpadní vody. Využití jednotlivých technologií závisí na specifikách konkrétního projektu. Například použití mokré technologie („pračka“) může být limitováno nedostatkem vody [21].

2.1.3. Emise skleníkových plynů

Při spálení jedné tuny SKO je uvolněno 0,7 až 1,2 tun CO₂. [22] Při hodnocení reálného příspěvku spalování odpadu ke skleníkovému efektu je však relevantní zahrnout pouze CO₂ pocházející z fosilních zdrojů. Příspěvek CO₂ z biologické složky odpadu je v principu nulový, neboť se jedná o uhlík dříve zachycený z atmosféry v podobě biomasy. Výsledné množství vypouštěného „relevantního“ CO₂ je závislé na složení spalovaného odpadu. Podíl výsledných emisí CO₂ připadajících na fosilní zdroje je udáván v rozmezí 33 až 50 %. [22] Pokud budeme předpokládat krajní scénář, kdy se spálením jedné tuny SKO uvolní 1,2 t CO₂ a z toho 50 % bude představovat emise „klimaticky relevantní“, bude výsledný emisní faktor 0,6 t_{CO2}/t_{SKO}. Studie, na kterou se zde odkazují, udává průměr této hodnoty v případě Německa na 0,415 t_{CO2}/t_{SKO}. Tuto hodnotu přebírám do své práce pro potřeby kalkulace emisí CO₂.

Z pohledu současné české legislativy je podíl biologicky rozložitelné části nevytříděného komunálního odpadu na jeho celkovém energetickém obsahu arbitrárně stanoven na úrovni 60 %, „pokud výrobce energie neprokáže skutečný podíl“. [23]

Z ekonomického hlediska je pro provozovatele *ZEVO* nejdůležitější fakt, že energetické využití odpadů nespadá pod systém EU ETS, tedy na produkované emise CO₂ se nevztahuje povinnost nákupu emisních povolenek. [24]

2.1.4. Spoluspalování

Díky využití stávající infrastruktury, spoluspalování odbourává potřebu vysoké investice do vybudování nového *ZEVO*. [25]

Při spoluspalování *SKO* a uhlí ve fluidním kotli je možné zvýšit poměr odpadu až na 30 % bez nutnosti větší úpravy kotle. [25] Snížením množství spalovaného uhlí navíc dochází ke snížení emisí SO₂, spalovaný odpad naopak mírně zvyšuje emise NO_x a také HCl. Pro spalování v tomto typu kotle není surový *SKO* vhodný, je proto žádoucí jeho úprava na *RDF* (např. hydrotermální úprava + drcení a homogenizace [26]). Zároveň je při úpravě odpadu možné přidáním aditiv omezit vznik polutantů při jeho následném spalování. [25]

Spoluspalování *SKO* s nekvalitním uhlím (případně i uhelnou hlušinou [25]) zlepšuje jeho spalovací vlastnosti (nižší teplota hoření, lepší prohoření). Odpad se v tomto případě dokonce jeví jako vhodnější pro spoluspalování než dřevní biomasa [26]. Spoluspalování uhlí s odpadem proto může být cestou ke snížení množství spalovaného uhlí v případě, že k tomuto účelu není k dispozici dostatek biomasy. V ČR v minulosti proběhly provozní zkoušky spoluspalování odpadu na klasických energetických zdrojích (elektrárny Tisová, Poříčí, Hodonín [9]).

V současnosti jsou odpady využívány jako palivo spoluspalované v cementárnách. Pro tyto účely je vhodná celá řada odpadů: plasty, textil, papír, pneumatiky a pryž, kompozitní obaly, dřevo, odpadní oleje. [9] Z odpadů k tomuto účelu aktuálně užívaných spadá velká část do kategorie odpadů průmyslových. V rámci cementárenských procesů lze část palivového toku nahradit i směsným komunálním odpadem. V České republice je však kapacita cementáren omezená a potenciál spalování odpadů je v této oblasti již nyní téměř vyčerpán. [9] Roční spotřeba alternativních paliv a odpadů v českých cementárnách a vápenkách aktuálně přesahuje 400 tisíc tun. [27]

Spoluspalování může být cestou pro:

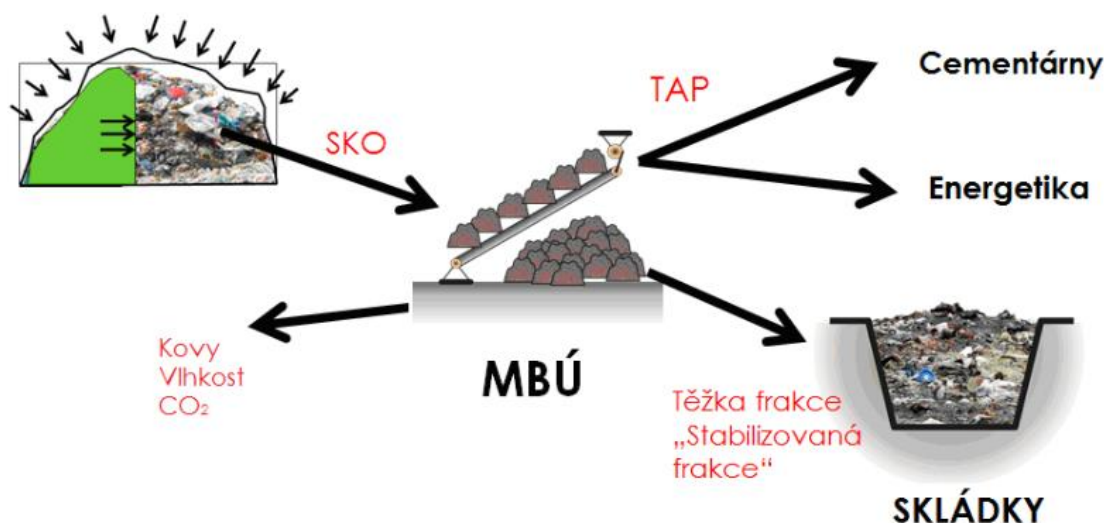
- snížení spotřeby fosilních paliv,
- zlepšení hoření nekvalitních paliv,
- snížení produkce skleníkových plynů,
- energetické využití odpadu nad rámec kapacit *ZEVO*.

2.1.5. Tuhá alternativní paliva

Tuhá alternativní paliva (*TAP*, anglicky *RDF* nebo *SRF*) nejsou primárně předmětem této práce, avšak toto téma nelze vynechat, jelikož s problematikou energetického využití odpadů přímo souvisí. *TAP* je obecně možné vyrobit z rozličných odpadů: průmyslový, objemný, *SKO*, výměty z třídících linek (papír/plast), apod. Směsný komunální odpad je možné na *TAP* přeměnit a, jelikož tato *TAP* mohou být následně využita v energetice (teplárny, výtopny, cementárny, případně spoluspalování ve velkých energetických zdrojích), představuje tento proces specifický způsob využití *SKO*.

Tuhá alternativní paliva jsou klasifikována normou CEN TS 15359 do pěti tříd podle tří parametrů: výhřevnost, obsah chloru a obsah rtuti. Pro obchodování s TAP je nutná certifikace [9]. Problematikou TAP se zabývají technické normy CEN TS 15357, CEN TS 15358 a CEN TS 15359.

Obrázek 2-4 Zařízení pro produkci TAP (technologie MBÚ), schéma materiálových toků, převzato z: [7]



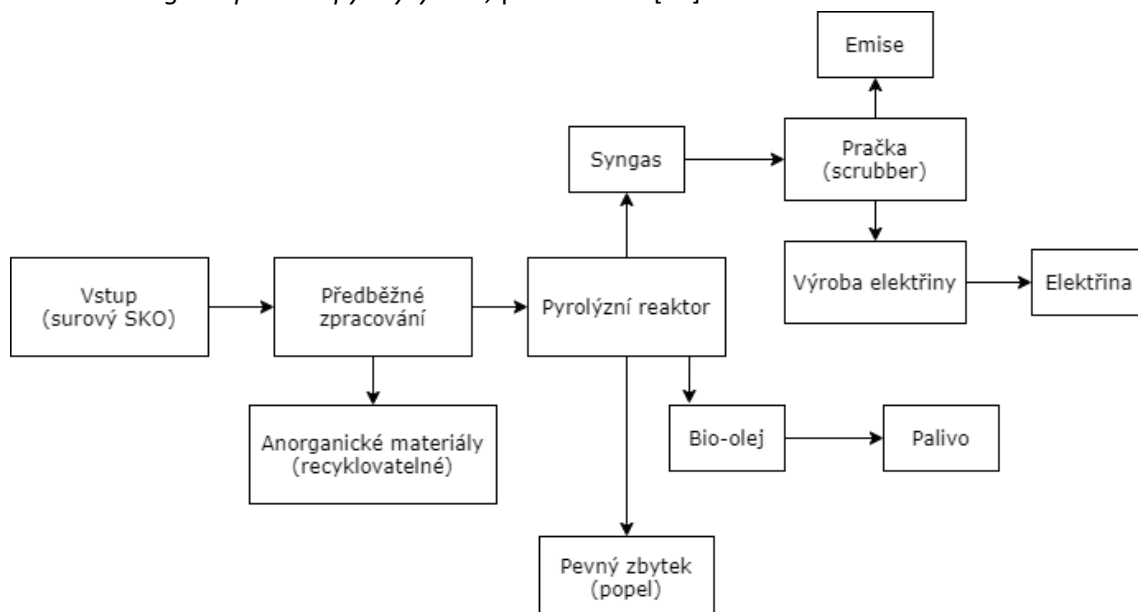
Takovéto nakládání s SKO může být způsobem „předzpracování“ tohoto odpadu pro jeho následné energetické využití v rámci ZEVO. Vstupní materiál je vysušen a je z něj vyseparována nehořlavá frakce. Zbývající odpad (s vyšší výhřevností než původní směsný odpad) se pak v principu stává TAP pouze na dobu, kterou trvá jeho přesun do kotle, případně dobu, po kterou je skladován.

2.1.6. Pyrolýza

Pyrolýza je proces tepelné přeměny molekul uhlovlíků na molekuly s kratším řetězcem za zvýšené teploty (300 až 600 °C [28]) při nepřímém ohřevu [29] a za nepřístupu vzduchu.

Technologie pyrolýzy je možné rozdělit podle způsobu míchání materiálu a rychlosti přenosu tepla do reaktoru na *pomalou* a *rychlou* („fast/flash“). [29]

Obrázek 2-5 Diagram procesu pyrolýzy SKO, přeloženo z: [25]



Kapalný produkt pyrolýzy plastů svým složením v zásadě odpovídá ropě, s obsahem kapalných uhlovodíků odpovídajících celému spektru užívaných tekutých paliv [30]. Tyto je možné následně oddělit destilací a vyčistit na požadované parametry, čímž se získá příslušné alternativní palivo. Takové palivo je možné využít v dopravě. Alternativně je možné samotný surový produkt využít namísto ropy v rámci jiných procesů petrochemického průmyslu, než je výroba paliv.

Hmotnostní podíly výsledných produktů pyrolýzy se poměrně výrazně odlišují v závislosti na zpracovávaných materiálech (poměru obsažených plastů), použité technologii a parametrech procesu (teplota, množství kyslíku). V produktech převažuje kapalná složka, jejíž hmotnostní podíl, v případě pyrolýzy plastů, může být 40 % [28] , 49 % [31], 77 % [32] nebo také až cca 83 % [30]. Dalších cca 10 [31] až 40 % [30] jsou produkty plynné, tzv. syngas, který je v případě této technologie vedlejším produktem (na rozdíl od technologie zplyňování). Zbývající výstup tvoří popel, představující cca 3,5 %, nebo případně až 24 % [28], hmotnosti produktů. Podíl jednotlivých produktů lze nastavit pomocí parametrů procesu pyrolýzy. Při nižších teplotách převládá produkt kapalný, při vyšších pak syntézní plyn. [11]

Různý poměr získávaných kapalných a plyných produktů je z hlediska energetického, respektive ekonomického, relevantním parametrem. Pro udržování vysoké teploty reaktoru je využíváno externího ohřevu, v experimentálním provedení elektricky [32] a ve větším provozu nejčastěji spalováním plynu (podle dostupnosti zemní plyn nebo např. LPG [30]). Plynné produkty pyrolýzy je možné spalovat a využít právě jako náhradu tohoto vstupu. V rámci ekonomické analýzy tohoto procesu tedy stojí za zvážení optimalizace množství produkovaného *syngasu* jako substitutu vstupu zemního plynu/LPG. Dále v případě větších provozů je na místě zvážení instalace kogenerační jednotky s užitím dodávaného plynu. Spaliny na výstupu kogeneračních jednotek mají stále dostatečně vysokou teplotu pro udržení reakce rozkladu plastů. Teplota spalin 400 až 540°C [33], na výfuku pro kogeneraci běžně užívaných spalovacích motorů, je pro tento proces dostatečná. Díky možnosti přímého využití části produktů se takto proces pyrolýzy stává energeticky soběstačným. [11]

Je důležité zmínit, že samotný proces pyrolýzy je pouze jedním článkem procesu přeměny odpadu na palivo nebo chemickou surovinu. Tento proces musí nutně zahrnovat další zpracování, které zaručí požadované parametry a vlastnosti. Tímto zpracováním může být například *katalytické hydrokrakování* destilátu [30], díky kterému je možné střední frakci kapalného produktu pyrolýzy plastů vyčistit (tj. hlavně zbavit obsahu síry) na parametry dieselového paliva. Navíc je nutné materiál vstupující do procesu pyrolýzy na začátku vysušit. Nejvíce je nutné dodat tepla pro sušení potravinářského a biologicky rozložitelného komunálního odpadu [11], obecně materiálu s vysokým obsahem vlhkosti.

Realizované projekty

- Rafinérie OMV Schwechat Vídeň [34]

Zařízení *ReOil* v rakouské rafinerii Schwechat je příkladem testovacího provozu, který v praxi aplikuje proces pyrolýzy odpadních plastů. Od roku 2013 zde bylo v provozu zařízení s kapacitou cca 5 kg plastů za hodinu. V roce 2018 pak bylo spuštěno nové zařízení, které za hodinu ze 100 kg odpadních plastů vyrobí cca 100 litrů syntetické surové ropy.

- Technická Univerzita VŠB v Ostravě – *Pyrolýzní jednotka s indukčním ohřevem*

Univerzita provozuje pyrolýzní jednotku v rámci výzkumného projektu. [35]

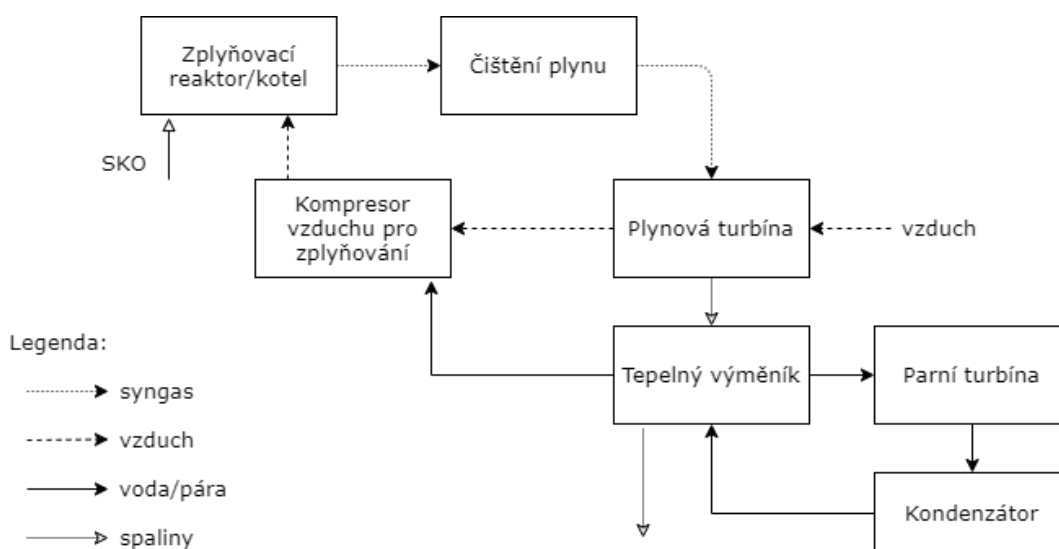
Další příklady reálné aplikace a testování procesu pyrolýzy odpadů lze nalézt například v této bakalářské práci zabývající se pyrolýzním zpracováním odpadů: [11]

2.1.7. Zplyňování

Zplyňování (*gasifikace*) je dalším typem tepelné přeměny. Proces je podobný pyrolýze, probíhá však při vyšší teplotě a za přítomnosti regulovaného množství kyslíku. [12] Teplo nemusí být dodáváno externě, ale vzniká uvnitř reaktoru částečnou oxidací obsažených organických látek. [29] Teplota reakce se pohybuje v rozmezí 790 °C a 1650 °C. [36] Alternativně může být prováděno *zplyňování plazmové*, kdy je energie dodávána externě, formou elektrickým obloukem generovaného plazmatu. [37]

Výtěžnost procesu je závislá na mnoha vlivech, [38] udává: typ reaktoru, materiál lože (schopnost akumulace tepla), teplota, tlak, velikost částic paliva, zplyňovací médium (vzduch/vodní pára/kyslík) a doba zdržení. Existuje několik druhů zplyňovacích reaktorů, přičemž je možné je podle konstrukce rozdělit do tří kategorií: s pevným, fluidním a unášivým ložem. [38]

Obrázek 2-6 *Schéma využití syntézního plynu v paroplynovém cyklu*, přeloženo z: [32]



Zplyňování může probíhat v několika podobách, podle užitého média. Uvádí se následující rozdělení zplyňování: za přítomnosti kyslíku, vodní páry, vzduchu a směsi páry a kyslíku. [29] V případě čistého kyslíku je produkt tvořen převážně oxidem uhelnatým (CO) a dehtem. Užitím běžně dostupného vzduchu je, kvůli obsahu dusíku, výhřevnost výsledného produktu menší. Syntézní plyn vzniklý zplyňováním ve vodní páře je tvořen převážně CO a vodíkem. Tato reakce je však endotermická, používá se proto také kombinace páry a kyslíku. V tomto případě vzniká potřebné teplo částečnou oxidací. Výhřevnost takto získaného plynu může být v rozmezí 15 až 20 MJ/kg. [29]

Zplyňování je běžně užíváno pro zpracování homogenních materiálů [12] (uhlí, dřevo, specifické typy KO, pneumatiky [37]) které jsou pro stabilní proces zplyňování vhodnější. Směsný komunální

odpad je naopak směsí různě výhřevných částic s rozlišnou velikostí a pro stabilitu procesu je žádoucí ho homogenizovat.

Z environmentálního hlediska je zplyňování odpadu šetrnější, v porovnání s přímým spalováním. Zplyňovací zařízení, v porovnání se spalovacím o stejné kapacitě, produkuje méně CO₂. [12] Díky regulovanému množství obsahu kyslíku je navíc limitována i produkce dioxinů, SO₂ a NO_x. [38]

Získaný syntézní plyn je možné využít jako palivo pro kogenerační jednotku. V tomto případě je nutné nejdříve separovat obsažené pevné částice [29], které mohou způsobovat opotřebení motoru/turbíny. Alternativou může být přímé spálení získaného plynu, bez nutnosti čištění. Spalování pak může probíhat v bojleru pro výrobu páry v rámci parního cyklu [29] nebo v menších provozech v kotlích pro ohřev vody.

Realizované projekty

Zde se odkazují na přehled zařízení a technologií sestavený organizací *IEA Bioenergy* v roce 2018: [39]

V Evropě je provozováno několik zařízení, která zpracovávají odpadní materiály procesem zplyňování. Velké množství z nich využívá jako vstup TAP, ne surový SKO. Některá zařízení zpracovávají odpad v podobě tuhých alternativních paliv v rámci cementárenského provozu, jeho zplyňováním společně s jinými palivy (prachový lignit, dřevní zbytky).

Zařízení na zplyňování SKO jsou v relativně velkém množství využívána v Japonsku. Kupříkladu ZEVO pracujících na principu technologie *Thermoselect* je zde provozováno 7 s celkovou kapacitou cca 640 tis. tun nezpracovaného SKO ročně.

Další informace ohledně reálné aplikace technologie zplyňování lze nalézt ve zmiňovaném dokumentu.

2.2. Biologické metody

Použitelné pro zpracování odpadů biologického původu, tyto metody jsou založeny na principu rozkladu organického materiálu působením mikroorganismů. Jsou využívány pro energetické využití biomasy a jsou použitelné i pro zpracování biologicky rozložitelných složek komunálního odpadu a dalších biologických odpadů.

2.2.1. Anaerobní digesce

Při tomto procesu dochází k rozkladu organické hmoty za nepřístupu vzduchu. Produktem je tzv. bioplyn tvořený převážně metanem a CO₂. Tento plyn je možné přímo energeticky využít (na tomto principu operují bioplynové stanice), nebo alternativně vyčistit na úroveň zemního plynu a plnit jím tlakové lahve (alternativa CNG) nebo ho dodávat do plynárenské soustavy.

Takováto zařízení mohou jako palivo využívat cíleně pěstovanou biomasu nebo biologické odpady (komunální nebo např. ze zemědělské produkce), případně oba vstupy.

Příkladem zařízení pro energetické využití biologického odpadu může být *BPS Rapotín*. Využívá se zde v zásadě veškerý biologický odpad: potraviny, *BRKO*, gastroodpad, živočišné produkty, kaly apod. Zároveň zde byla, jako první v ČR, instalována technologie čištění bioplynu. [40]

2.2.2. Alkoholové kvašení

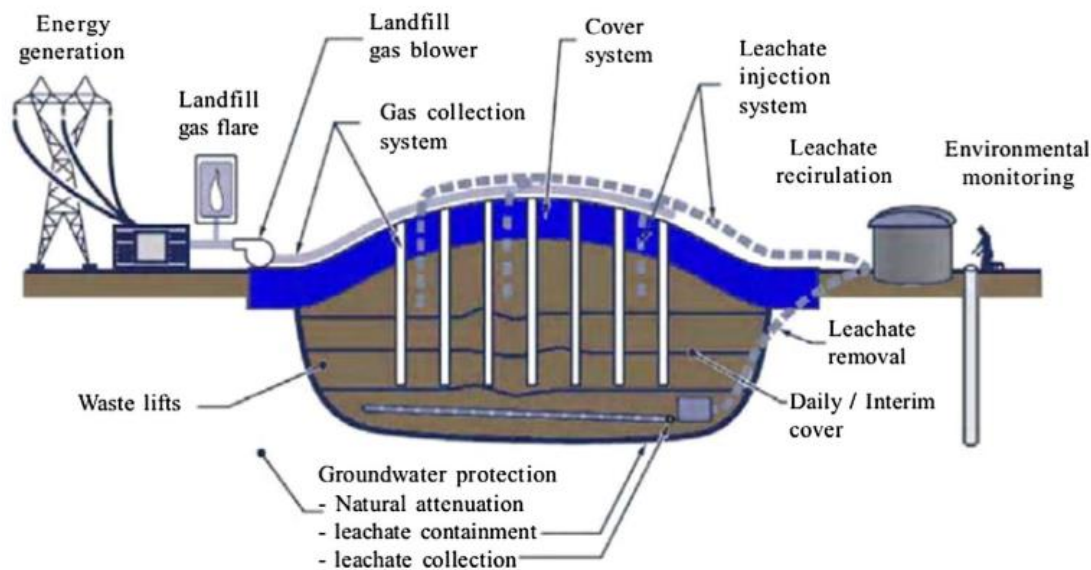
V tomto případě dochází k fermentaci obsažených cukrů za přístupu vzduchu. Z organického materiálu tak nakonec vzniká etanol, použitelný jako biopalivo. Tento proces je možné využít pro zpracování biologických odpadů [10] a takto produkované palivo je možnou cestou pro snížení emisí v dopravě.

Vzhledem k tomu, že v tomto procesu je možné zpracovat biologické odpady stejně jako v *BPS*, je tato technologie pro *BPS* do jisté míry konkurencí. Obě technologie umožňují přeměnu odpadu na ekologický produkt. Upřednostnění technologie záleží na požadovaném efektu. Produkce etanolu z odpadů umožňuje dosáhnout vyššího podílu OZE v dopravě. Alternativně by tento odpad mohl být využit v *BPS* pro produkci elektřiny a tepla.

2.3. Skládkování

Skládka, pokud je provedena kvalitně a bezpečně, může představovat způsob energetického využití biologicky rozložitelných odpadů. Nejdůležitější je v tomto případě zamezit průsakům do podloží a zabránit kontaminaci spodních vod. Skládka je proto budována na pevném podloží a s neprosákovou vrstvou separující tzv. *skládkový výluh* od spodních vod. Takto provedená skládka se v principu chová jako fermentor bioplynové stanice (viz schéma) a produkuje spalitelný plyn využitelný například v kogeneračních jednotkách. Pokud plyn není zachytáván a spalován, skládka vypouští produkovaný metan (silnější skleníkový plyn než CO_2) do atmosféry. [10]

Obrázek 2-7 Schéma typické skládky se zpracováním skládkového plynu [10]



Skládka ovšem představuje ze všech forem nakládání s komunálními odpady tu nejméně vhodnou, s největšími dopady na životní prostředí. V rozvojových zemích je v současné době stále běžnou praxí skládkování odpadu (netříděného *SKO*), typicky na předměstích velkých měst, bez jakékoli ochrany spodních vod nebo zpracování skládkového plynu. [12] Odklon odpadu z těchto skládek pro energetické využití pak má výrazný pozitivní efekt v omezení příspěvku ke skleníkovému efektu a omezení znečišťování vod.

3. Související legislativa

Tato kapitola obsahuje výběr legislativy nezbytně související s problematikou energetického využití odpadů. Z jednotlivých právních předpisů jsou zde vybrány informace pro kompletnost této práce relevantní.

3.1. Zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech [1]

Jedná se o v současnosti stále platný „odpadový“ zákon. Aktuálně (první pololetí roku 2020) je v legislativním procesu návrh nového zákona o odpadech (viz dále).

Zákon v současném znění doslovně nedefinuje „energetické využití odpadů“. Takovéto nakládání s odpadem spadá podle zákona do kategorie R1, tedy „*Využití odpadu způsobem obdobným jako paliva nebo jiným způsobem k výrobě energie*“.

Zákon stanovuje nejnižší požadovanou energetickou účinnost pro využití odpadů způsobem R1. Pro zařízení uvedená do provozu před 1. lednem 2009, je stanovena na hodnotu 0,60. Pro zařízení, která získala souhlas k provozu zařízení po 31. prosinci 2008 je stanovena na hodnotu 0,65 (viz příloha č. 7 tohoto zákona). Zařízení, které tyto limity nesplní, je podle zákona považováno za zařízení pro odstraňování odpadů.

Podle § 22:

- (1) *Odpady lze spalovat, jen jsou-li splněny podmínky stanovené právními předpisy o **ochraně ovzduší a o hospodaření energií**.*

Podle § 23:

- (1) ***Spalování odpadu ve spalovně komunálních odpadů, která dosahuje vysokého stupně energetické účinnosti, se považuje za využívání odpadů způsobem uvedeným pod kódem R1 v příloze č. 3 k tomuto zákonu. Výše požadované energetické účinnosti a vzorec pro její výpočet je uveden v příloze č. 12 k tomuto zákonu.***
- (2) ***Spalovny odpadů, u nichž nejsou splněny podmínky spalování uvedené v odstavci 1, jsou zařízeními k odstraňování odpadů.***

Zákon také pracuje s termínem „hierarchie způsobů nakládání s odpady“ - podle § 9a:

- (1) *V rámci odpadového hospodářství **musí být dodržována tato hierarchie** způsobů nakládání s odpady:*
 - a) *předcházení vzniku odpadů,*
 - b) *příprava k opětovnému použití,*
 - c) *recyklace odpadů,*
 - d) *jiné využití odpadů, například energetické využití,*
 - e) *odstranění odpadů.*

Energetické využití odpadů má tedy podle zákona přednost před jeho odstraněním. Zároveň však není možné takové nakládání s odpadem, u kterého je vhodnější jeho recyklace. Od této hierarchie je možné se **odchýlit** v případě odpadu, u kterého je to při posouzení celkových dopadů životního cyklu

vhodnější z hlediska ochrany životního prostředí (viz § 9a (2) tohoto zákona). Je tedy možné energeticky využít recyklovatelné odpady, jejichž recyklace by měla horší dopad na životní prostředí, než využití v ZEVO.

3.2. Návrh zákona o odpadech [2]

Tento návrh nového zákona o odpadech byl schválen usnesením vlády č. 856 ze dne 9. 12. 2019. Aktuálně (březen 2020) je projednáván ve výborech Poslanecké sněmovny.

Energetické využití je podle § 35 nově vymezeno takto:

- (1) *„**Spalování odpadu se za energetické využití odpadu uvedené v příloze č. 5 k tomuto zákonu pod kódem R1a považuje pouze tehdy, jestliže***
 - a) ***použitý odpad nepotřebuje po vlastním zapálení ke spalování podpůrné palivo a vznikající teplo se použije pro potřebu vlastní nebo dalších osob za podmínek stanovených jinými právními předpisy), nebo***
 - b) ***odpad se použije jako palivo nebo jako přídatné palivo v zařízeních na výrobu energie nebo materiálů za podmínek stanovených jinými právními předpisy.***
- (2) ***Spalování komunálního odpadu se považuje za energetické využití odpadu uvedené v příloze č. 5 k tomuto zákonu pod kódem R1a pouze tehdy, pokud dosahuje vysokého stupně energetické účinnosti. Výše požadované energetické účinnosti a vzorec pro její výpočet jsou uvedeny v příloze č. 7 k tomuto zákonu.“***

Zákon nově zavádí definici „energetického využití“, viz Důvodová zpráva k návrhu zákona: *„Oproti dosavadnímu zákonu dochází nejen k zavedení této definice, ale fakticky také k rozšíření toho, co je považováno za energetické využití. Dosavadní zákon považoval za energetické využití pouze spalování komunálního odpadu o dostatečné účinnosti. Nově je za energetické využití považován každý případ, kdy je spálením odpadu získáno více energie, než se na toto spálení spotřebuje, s výjimkou spalování komunálního odpadu, které musí nadále splnit energetickou účinnost podle přílohy č. 7.“*

Součástí tohoto znění odpadového zákona je i **zákaz skládkování využitelných odpadů** od 1. ledna 2030. Podle § 40 *„provozovatel skládky nesmí od 1. ledna 2030 na skládku ukládat odpady,*

- a) *jejichž výhřevnost v sušině je vyšší než 6.5 MJ/kg,*
- b) *kteřé překračují limitní hodnotu parametru biologické stability AT4 stanovenou v příloze č. 10 k tomuto zákonu, nebo*
- c) *kteřé je za stávajícího stavu vědeckého a technického pokroku možné účelně recyklovat.“*

Způsob ověření výhřevnosti a seznam odpadů, „kteřé je za stávajícího stavu vědeckého a technického pokroku možné účelně recyklovat“, stanoví ministerstvo vyhláškou.

Návrh zákona dále předpokládá navýšení sběru biologicky rozložitelných odpadů. Tyto odpady by měly být *„důležitým zdrojem vstupního materiálu pro bioplynové stanice“.*

Dále podle § 47 (4):

„Přeprava odpadů do České republiky za účelem odstranění je zakázána, s výjimkou odpadů vzniklých v sousedních státech v důsledku živelních pohrom nebo za stavu nouze. Přeprava odpadu

do České republiky za účelem energetického využití ve spalovně komunálního odpadu je zakázána, pokud by v důsledku přeshraniční přepravy musel být odstraněn odpad vznikající v České republice nebo by v důsledku přeshraniční přepravy musel být odpad vznikající v České republice zpracován způsobem, který není v souladu s plány odpadového hospodářství.“ Toto znamená, že odpad vznikající na území v ČR má při energetickém využití přednost před odpadem, který by byl dovážen ze zahraničí. Nebude tedy možné upřednostnit zpracování zahraničního odpadu ani v případě, že by z toho pro provozovatele ZEVO plynuly vyšší potenciální příjmy.

3.3. Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší [41]

Stanovuje požadavky mj. na zařízení, ve kterých je termicky zpracováván odpad. Jedná se například o požadavek na měření emisí škodlivin a hlášení jejich překročení.

Pro možnost provozu ZEVO je nutné vystavení **povolení provozu**. Povolení provozu obsahuje závazné podmínky pro provoz stacionárního zdroje. Mezi tyto podle § 12 patří: *„v případě tepelného zpracování odpadu stanovení množství odpadu a určení kategorií odpadu, které lze spalovat, specifikaci minimálních a maximálních hmotnostních toků nebezpečných odpadů, jejich minimální a maximální spalné teplo a maximální obsah znečišťujících látek v nebezpečných odpadech“*

§ 16 : *„Tepelné zpracování odpadu je možné pouze pod dohledem **autorizované osoby**.“*

§ 32 : *„**Autorizaci vydává ministerstvo** fyzickým a právnickým osobám na základě jejich žádosti při splnění požadavků stanovených zákonem.“*

3.4. Zákon č. 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie [42]

Podle tohoto zákona spadá energetické využití odpadů a paliv na bázi odpadů mezi tzv. **druhotné zdroje**. Zároveň zahrnuje biologicky rozložitelnou část odpadů mezi **biomasu**.

Na biologicky rozložitelnou část komunálního odpadu se vztahuje podpora elektřiny z obnovitelných zdrojů podle § 4 (5) e):

*„V případě **elektřiny vyrobené energetickým využitím komunálního odpadu** se podpora elektřiny z **obnovitelných zdrojů** vztahuje **pouze na elektřinu vyrobenou z biologicky rozložitelné části komunálního odpadu**; v případě nevytříděného komunálního odpadu stanoví podíl biologicky rozložitelné a nerozložitelné části na energetickém obsahu komunálního odpadu prováděcí právní předpis.“*

Podíl biologicky rozložitelné části na energetickém obsahu komunálního odpadu je definován vyhláškou č. 477/2012 Sb. viz dále.

Na biologicky nerozložitelnou část komunálního odpadu se vztahuje podpora elektřiny z druhotných zdrojů podle § 5 (4):

*„V případě **elektřiny vyrobené energetickým využíváním komunálního odpadu** se podpora elektřiny z **druhotných zdrojů** vztahuje **pouze na elektřinu vyrobenou z jeho biologicky nerozložitelné části** při splnění podmínky podle odstavce 3.“*

Podle § 5 (3) se podpora elektřiny z druhotných zdrojů vztahuje pouze na elektřinu vyrobenou v **kombinované** výrobě elektřiny a tepla.

Provozní podpora tepla se podle § 24 týká mj. výroben využívajících **bioplyn** vznikající z více než 70 % ze statkových hnojiv a vedlejších produktů živočišné výroby anebo z **biologicky rozložitelného odpadu**. Tuto provozní podporu nelze kombinovat s podporou elektřiny z obnovitelných zdrojů ve stejné výrobě. Provozní podpora tepla se nevztahuje na KVET spalováním směšného komunálního odpadu.

3.5. Vyhláška č. 477/2012 Sb. o stanovení druhů a parametrů podporovaných obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny, tepla nebo biometanu [23]

Podle § 5 této vyhlášky je podíl biologicky rozložitelné části nevytříděného komunálního odpadu na jeho celkovém energetickém obsahu 60 %, pokud není výrobcem dokázáno jinak. Zbývajících 40 % pak tvoří biologicky nerozložitelná část. Tato informace je relevantní pro stanovení podpory podle zákona 165/2012 Sb.

3.6. Vyhláška č. 383/2001 Sb. MŽP o podrobnostech nakládání s odpady [43]

§ 9: „*Přeprava a soustředování suchých prachových zbytků po spalování musí být prováděny tak, aby bylo zamezeno znečištění okolí druhotnou prašností a byly dodrženy požadavky zvláštních právních předpisů.*“

3.7. Nařízení vlády č. 352/2014 Sb. o Plánu odpadového hospodářství České republiky pro období 2015–2024 [44]

Vyhlašuje závaznou část Plánu odpadového hospodářství České republiky pro období 2015-2024. Tato je uvedena v příloze k tomuto nařízení.

Mimo jiné stanovuje následující cíle a opatření:

- „*Směsný komunální odpad (po vytřídění materiálů využitelných složek, nebezpečných složek a biologicky rozložitelných odpadů) zejména energeticky využívat v zařízeních k tomu určených v souladu s platnou legislativou.*“
- „*Podporovat výstavbu zařízení pro aerobní rozklad, anaerobní rozklad, energetické využití a přípravu k energetickému využití biologicky rozložitelných odpadů.*“
- „*Podporovat výstavbu zařízení pro energetické využití směšného komunálního odpadu.*“
- „*Podporovat energetické využívání směšného komunálního odpadu v zařízeních pro energetické využití odpadů bez jeho předchozí úpravy, nebo po jeho úpravě následným spalováním/spoluspalováním za dodržování platné legislativy.*“
- „*Legislativně umožnit a podporovat energetické využití biologicky rozložitelných odpadů obsažených ve směsném komunálním odpadu, který je obecně s ohledem na heterogenitu materiálu a koncentraci rizikových látek a prvků nevhodný pro přímé kompostování, jejich zpracování v bioplynových stanicích nebo zpracování jinými biologickými metodami.*“

S ohledem na možnost využívání odpadů ze sousedních krajů je relevantní jedna ze Zásad pro vytváření sítě zařízení k nakládání s odpady (viz část 1.4 přílohy tohoto nařízení) : „*U zařízení nadregionálního významu, kterými mohou být například zařízení pro energetické využití odpadů, je nutné zohlednit mezikrajevovou spolupráci.*“

3.8. Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/850 ze dne 30. května 2018 kterou se mění směrnice 1999/31/ES o skládkách odpadů [45]

Tato směrnice obsahuje cíl, který je převzat jako součást návrhu nového zákona o odpadech (viz výše), a totiž omezit od roku 2030 skládkování veškerého odpadu, který je vhodný k recyklaci nebo energetickému využití.

Směrnice dává důraz na dodržování hierarchie nakládání s odpady, cílem je postupný přechod „k prevenci, včetně opětovného použití, přípravě k opětovnému použití a recyklaci“ a zamezení „rozvoji nadbytečných kapacit zařízení pro zpracování zbytkových odpadů například cestou energetického využití...“. V souladu s hierarchií nakládání s odpady by tedy k energetickému využití měl směřovat pouze odpad po vyřídění materiálově využitelných složek.

3.9. Směrnice Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 98/2008 ze dne 19. listopadu 2008 o odpadech [46]

Článek 23:

4. „Podmínkou vydání povolení ke spalování nebo spoluspalování s energetickým využitím je, že energetické využití probíhá s **vysokým stupněm energetické účinnosti**.“

Z hlediska výše energetické účinnosti jsou požadavky transponovány do české legislativy do současného znění zákona o odpadech.

3.10. Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/851 z 30. května 2018, kterou se mění směrnice 2008/98/ES o odpadech [47]

Podle této směrnice se materiálovým využitím rozumí „*jakýkoli způsob využití jiný než energetické využití a přepracování na materiály, které mají být použity jako palivo nebo jiné prostředky k výrobě energie. Zahrnuje mimo jiné přípravu k opětovnému použití, recyklaci a zasypávání*“.

3.11. Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/852 ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 94/62/ES [48]

Tato směrnice mění znění směrnice 94/62/ES o obalech a obalových odpadech. Stanovuje mj. cíle, kterých by mělo být dosaženo v míře recyklace jednotlivých druhů obalových materiálů. Jsou stanoveny i cíle pro recyklaci veškerých obalových odpadů: *65 % hmotnosti nejpozději 31. prosince 2025 a 70 % nejpozději 31. prosince 2030*.

Směrnice umožňuje, aby členské státy při hodnocení dosažení cílů v míře recyklace kovů zohlednily i **recyklaci kovů vyříděných po spálení odpadu** (viz Článek 6a).

3.12. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/87/ES ze dne 13. října 2003 o vytvoření systému pro obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů [24]

Mezi činnosti v oblasti energetiky, které podléhají systému obchodování s emisními povolenkami, spadají „*spalovací zařízení o jmenovitém tepelném příkonu větším než 20 MW (s výjimkou zařízení pro spalování nebezpečných nebo komunálních odpadů)*“.

3.13. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/75/EU ze dne 24. listopadu 2010 o průmyslových emisích (integrované prevenci a omezování znečištění)

Tato směrnice mimo jiné stanovuje mezní hodnoty **emisí znečišťujících látek**. Tyto se vztahují také na emise ze zařízení pro energetické využití odpadů.

3.14. Zákon č. 100/2001 Sb. o posuzování vlivů na životní prostředí [49]

Procesu EIA podléhají mj. následující:

- Zařízení k odstraňování nebo využívání ostatních odpadů spalováním nebo fyzikálně-chemickou úpravou s kapacitou od stanoveného limitu. Limitem je zde kapacita 100 t/den. Tato zařízení spadají do *Kategorie I (podléhá posuzování vždy)*.
- Zařízení k odstraňování nebo využívání ostatních odpadů s kapacitou od stanoveného limitu. Limitem je zde kapacita 2 500 t/rok. Tato zařízení spadají do *Kategorie II (zjišťovací řízení)*. Povinnost posouzení je stanovena v rámci *zjišťovacího řízení*, které provádí příslušný krajský úřad.

Malé ZEVO, jehož provoz vyhodnocuji v rámci této práce, tedy při kapacitě 26 tis. t/rok spadá do kategorie II.

3.15. Prováděcí rozhodnutí Komise (EU) 2019/2010 ze dne 12. listopadu 2019, kterým se stanoví závěry o nejlepších dostupných technikách (BAT) pro spalování odpadu podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/75/EU [21]

3.16. Cenová rozhodnutí ERÚ platná pro rok 2020

Zde je uvedeno shrnutí finanční podpory poskytované zařízením ZEVO na základě cenových rozhodnutí platných pro rok 2020, v souladu se zákonem o POZE. Hodnoty uvedené v této kapitole jsou převzaty ze zmíněných cenových rozhodnutí, přičemž tabulky s těmito hodnotami jsou převzaty do Přílohy 10.1 této práce.

Podpora na elektřinu z druhotných zdrojů:

„V případě spalování komunálního odpadu se podpora na elektřinu z druhotných zdrojů uplatňuje pouze pro poměrnou část podporované elektřiny podle jiného právního předpisu připadající na podíl biologicky nerozložitelné části komunálního odpadu podle jiného právního předpisu.“ [50]

Zelené bonusy na elektřinu pro výrobu spalováním komunálního odpadu je v roce 2020 poskytována ve výši 45 Kč/MWh pro výrobní uvedené do provozu před 31. 12. 2012.

Podpora na elektřinu z biomasy:

V roce 2020 je v této kategorii vyplácen zelený bonus při výrobě spalováním komunálního odpadu ve výši 548 Kč/MWh (uplatněno pouze na poměrnou část viz dále) pro výrobní uvedené do provozu mezi 1. 1. 2016 a 31. 12. 2020.

„V případě společného spalování komunálního odpadu s různými zdroji energie se podpora elektřiny z biomasy uplatňuje pouze pro poměrnou část podporované elektřiny podle jiného právního předpisu připadající na podíl využitě biologicky rozložitelné části komunálního odpadu podle jiného právního předpisu.“ [51]

Podpora KVET:

Podle (3.10) platí, že *„pro výroby elektřiny uvedené do provozu od 1. ledna 2013 včetně do 31. prosince 2015 včetně nelze uplatnit zelený bonus na elektřinu z KVET pro výrobu elektřiny z KVET při spalování odpadů.“* [51]

Podle (3.11) platí, že *„pro výroby elektřiny uvedené do provozu nebo rekonstruované od 1. ledna 2016 včetně nelze uplatnit zelený bonus na elektřinu z KVET pro výrobu elektřiny z KVET při spalování odpadů.“* [51]

V případě kombinované výroby se zelený bonus skládá ze základní a doplňkové sazby. Pro rok 2020 platí pro výrobu elektřiny spalující komunální odpad (s instalovaným výkonem do 5 MW včetně) následující:

- Základní sazba pro výrobu uvedenou do provozu před 31. 12. 2015: 45 Kč/MWh
- Doplňková sazba pro výrobu uvedenou do provozu před 31. 12. 2012: 155 Kč/MWh

Podpora na teplo:

„Podporu formou zeleného bonusu na teplo nelze uplatnit pro výrobu tepla při spalování odpadů s výjimkou výroby tepla z bioplynu.“ [51]

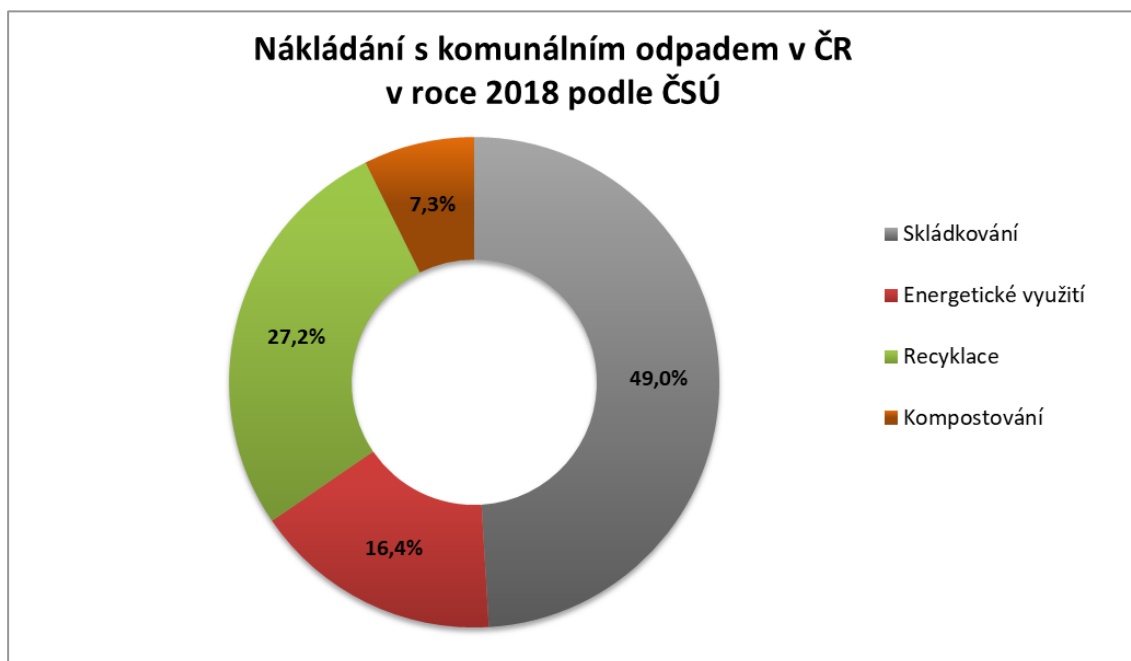
4. Odpadové hospodářství ČR

4.1. Současný stav

V České republice v současnosti existuje potenciál pro navýšení využívání produkovaných komunálních odpadů. Velké množství je jich aktuálně skládkováno a dál nejsou využity.

Na grafu 4-1 jsou vyobrazeny podíly nejčastějších v současnosti aplikovaných způsobů zpracování komunálního odpadu na území ČR. Je vidět, že z generovaného komunálního odpadu je stále přibližně polovina skládkována, v roce 2018 toto odpovídá cca 1 828 tis. tun. Tento materiál by potenciálně mohl být dále recyklován, respektive energeticky využit.

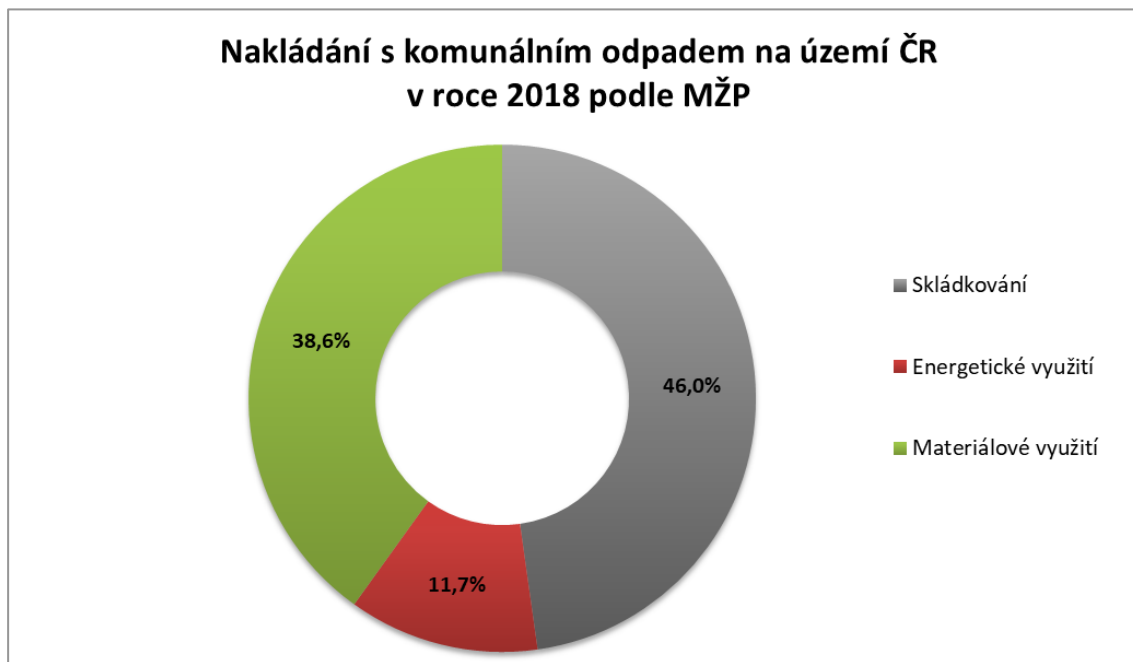
Graf 4-1 *Nakládání s komunálním odpadem v ČR podle ČSÚ, zdroj ČSÚ [54]*



Z hlediska odpadového hospodářství stojí za zmínku, že množství odpadů, které jsou na území ČR „produkovány“, a odpadů, se kterými je v daném roce „nakládáno“, nemusí být shodné. Například v roce 2018 bylo nakládáno s 38 669 tis. tun veškerých odpadů, přičemž „vyprodukováno“ bylo 28 353 tis. tun. Rozdíl představují odpady importované, převzaté od jiných firem a odebrané ze skladů (typicky odpady průmyslové). [52] V případě odpadů komunálních tento rozdíl neexistuje, veškeré nevyužité odpady jsou skládkovány.

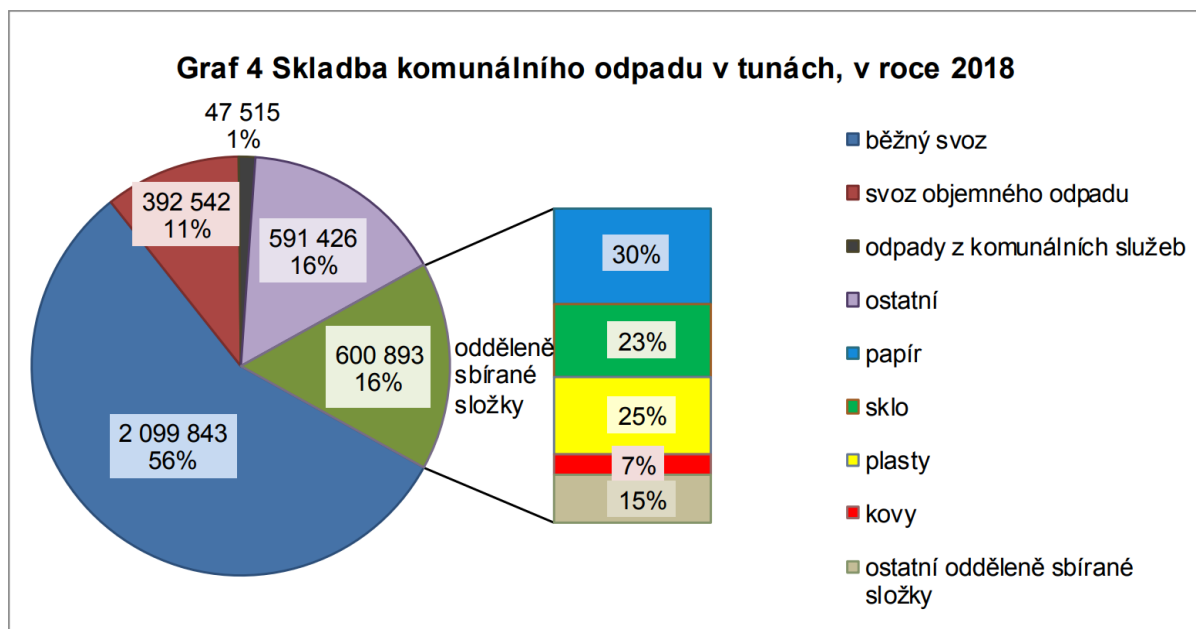
Z hlediska **množství produkovaného komunálního odpadu** zde existuje rozdíl ve statistikách odpadů vedených MŽP a ČSÚ: v roce 2018 bylo podle MŽP celkově vyprodukováno 5 782 tis. tun [53], podle ČSÚ to bylo **3 732 tis. tun** [52]. Z těch bylo 46 % (respektive 49 %) skládkováno – viz grafy 4-1 a 4-2. Za správnou by měla být považována statistika ČSÚ, podle ČSÚ data MŽP „nelze využívat k tvorbě oficiálních statistik, neboť dle Eurostatu nenavazují na mezinárodní statistickou legislativu o odpadech a rovněž odporují základním parametrům evropského statistického systému“. [54] Podle ČSÚ lze v datech ministerstva předpokládat administrativní navyšování objemu produkce odpadu, kvůli jeho překódování a několikanásobnému započítávání při předávání.

Graf 4-2 Nakládání s komunálním odpadem v ČR podle MŽP, zdroj: MŽP [53]



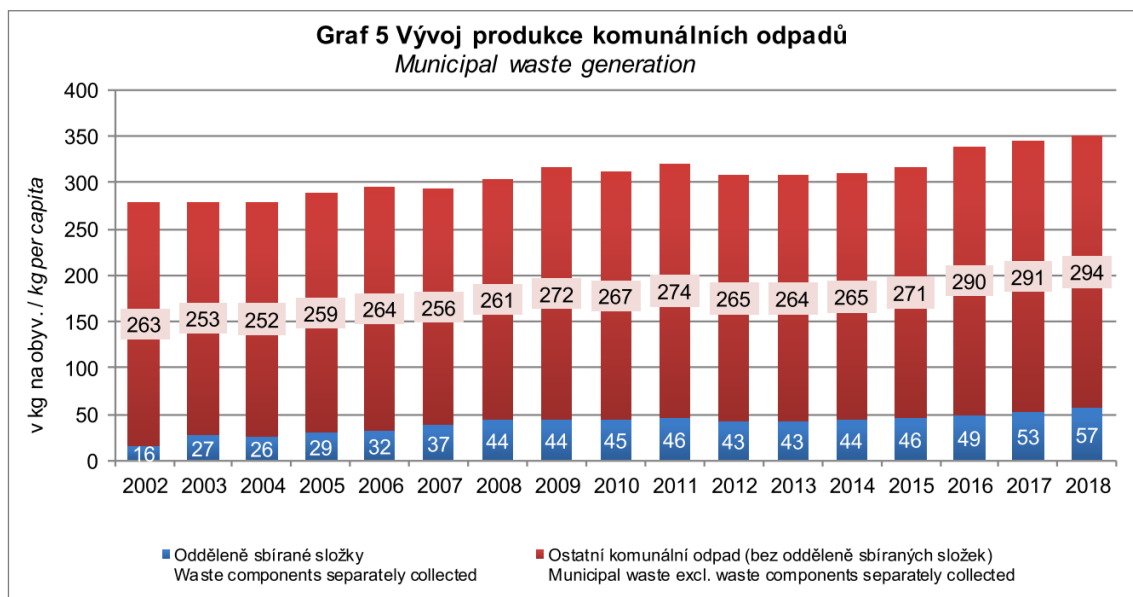
Největší část komunálního odpadu stále tvoří SKO z běžného svozu (viz graf 4-3). Tento odpad z větší části končí na skládkách. Energetické využití probíhá pouze v lokalitách s existujícím ZEVO. Materiálové využití se týká odděleného sběru, objemného odpadu a ostatního KO (zemina apod.).

Graf 4-3 Skladba komunálního odpadu, převzato z: [52]



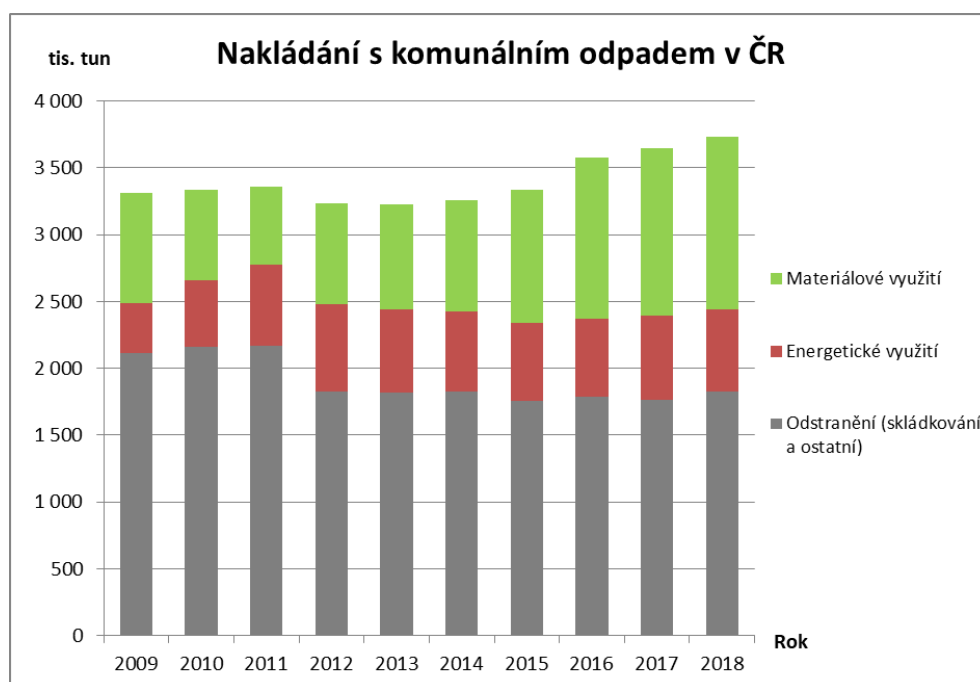
Jak naznačuje graf 4-4, množství ročně produkováných komunálních odpadů na území ČR dlouhodobě spíše roste. Od roku 2015 zde dochází k nárůstu. Prognóza MŽP, vypracovaná v roce 2014 v rámci Plánu odpadového hospodářství [55], předpokládala stagnující, spíše mírně klesající trend, čemuž reálný vývoj do roku 2018 neodpovídá.

Graf 4-4 *Produkce KO per capita, převzato z: [54]*



Mezi lety 2012 a 2018 došlo k poklesu podílu skládkovaného KO na jeho celkové produkci. Množství odpadu, se kterým takto bylo naloženo, však zůstalo mezi těmito lety přibližně konstantní (viz graf 4-5) a k významnému vývoji zde tedy nedošlo. Změna v poměrných hodnotách je způsobena nárůstem celkového množství KO a jeho materiálového využití.

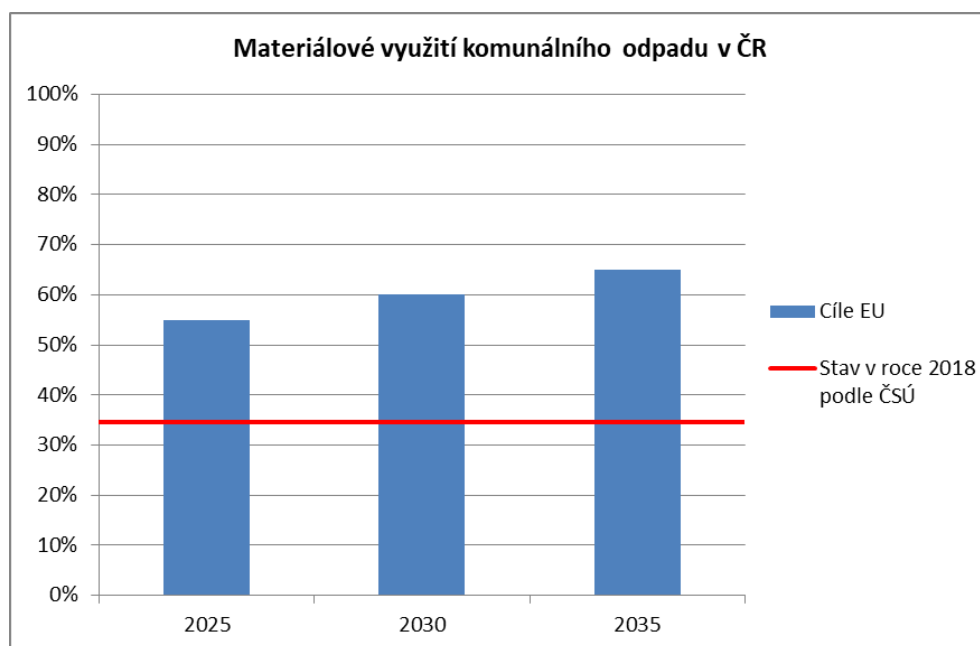
Graf 4-5 *Nakládání s KO podle druhu, zdroj dat: [57]*



4.2. Budoucí vývoj

Graf 4-6 zobrazuje zvyšující se požadavky legislativy EU [47] na podíl materiálového využití (recyklace + kompostování) komunálních odpadů v následujících letech. Zde je možné konstatovat, že i pokud by Česká Republika dokázala 65% limit v roce 2035 plnit, stále zbývá 35 % roční produkce komunálního odpadu. Tento odpad by pak mohl být energeticky využit. Respektive takto využit bude muset být, pokud má být ČR schopna plnit další závazný limit, a to maximálně 10 % skládkovaného komunálního odpadu v roce 2035 (viz Směrnice EU o skládkách [45] ve znění z 30. 5. 2018).

Graf 4-6 Srovnání požadavků legislativy EU a současného stavu

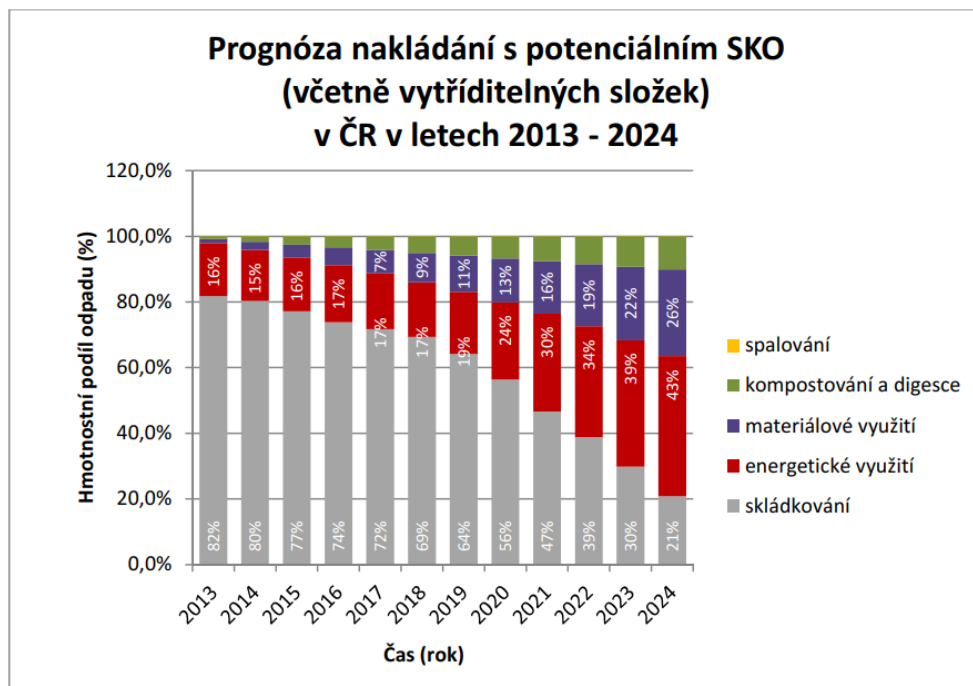


Na grafu 4-7 je znázorněn vývoj způsobu zpracování směsného komunálního odpadu v budoucích letech, tak jak byl naplánován ministerstvem životního prostředí v roce 2014. Je jasně vidět trend zmenšování množství odpadu skládkovaného. Naopak se předpokládá zvýšení podílu odpadu kompostovaného a materiálově využitého, tedy dotřídování směsného odpadu. Také je vidět, že odpadová politika MŽP počítá s odklonem *BRKO* z *SKO* pro kompostování a anaerobní digesci a, což je nejrelevantnější, s nárůstem množství odpadu zpracovaného energeticky (postupně až na 43 % hmotnosti v roce 2024).

Jak je dále možno vidět na grafu 4-7, v roce 2024 se stále počítá se skládkováním *SKO*. Původně byl v platnosti závazný cíl do tohoto roku přestat nezpracovaný využitelný *SKO* skládkovat úplně. V současnosti se tento termín posunul na rok 2030, kde je naplnění tohoto požadavku reálnější. [2]

Pokud bychom předpokládali, že energeticky využitý odpad sníží hmotnost na 30 % [10] a následně bude skládkován, bude v roce 2024 skládkováno cca 34 % hmotnosti vyprodukovaného *SKO* (odpovídá cca 20 % veškerého komunálního odpadu).

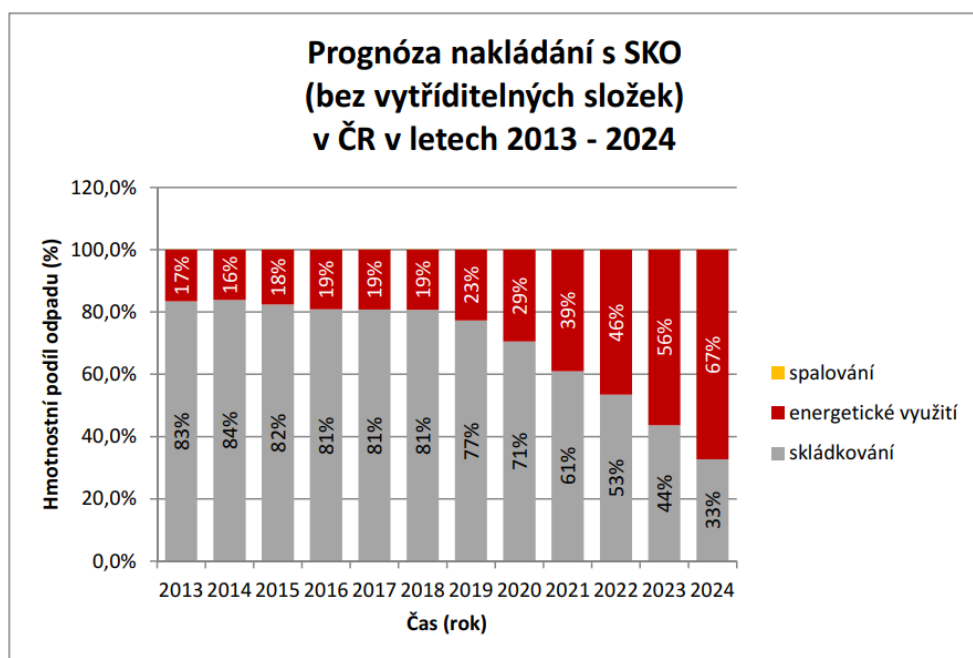
Graf 4-7 Prognóza nakládání s SKO, převzato z: [56]



Naopak množství energeticky využitého SKO plánované pro rok 2024 je cca 1 270 000 tun, což při průměrné výhřevnosti 9,3 MJ/kg [3] odpovídá teoretickému potenciálu 11 800 TJ energie využitelné pro produkci elektřiny a tepla.

V grafu 4-8 je stejná statistika v kontextu SKO po dotřídění. Do roku 2024 je plánován nárůst podílu jeho energetického využití na 67 %. Množství odpadu po dotřídění, který rovnou skončí na skládce, tedy klesne na třetinu ročně produkovaného množství.

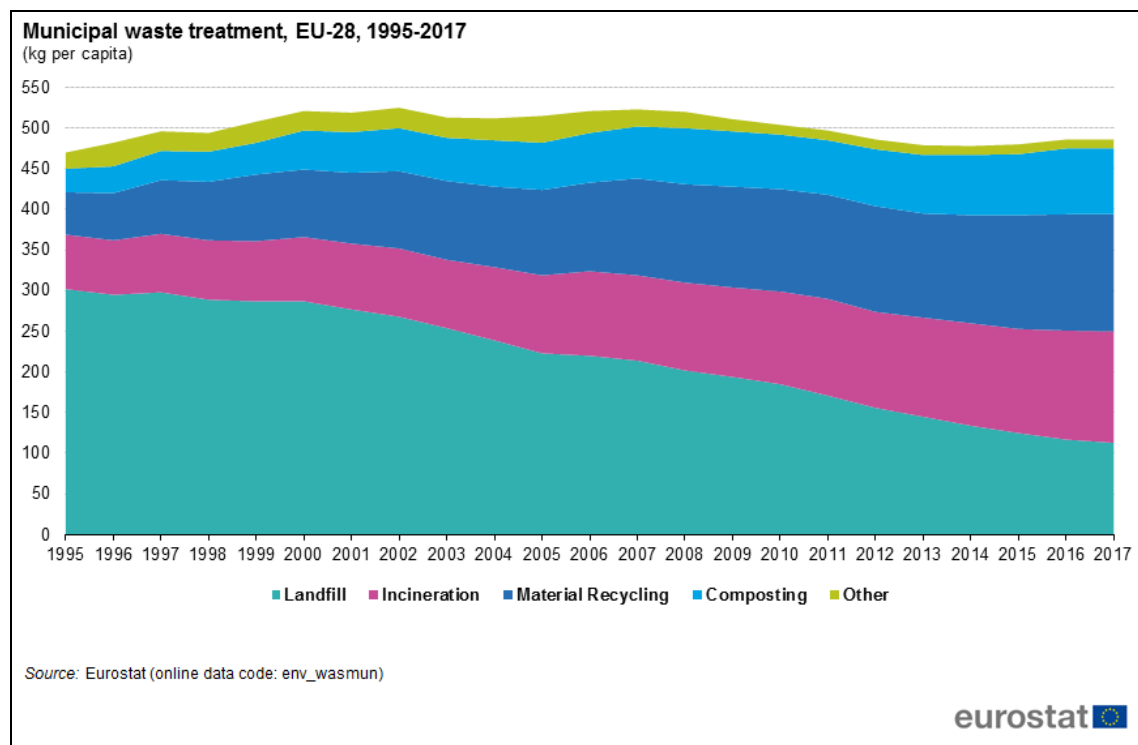
Graf 4-8 Prognóza nakládání s SKO, převzato z: [56]



5. Současný stav EVO v EU

Jak je vidět na grafu 5-1, v posledních 20 letech došlo v Evropské unii k významnému nárůstu podílu energetického využití a recyklace v mixu způsobů nakládání s odpady (mezi lety 1997 a 2017 přibližně na dvojnásobek). Energeticky bylo v roce 2017 v EU v průměru využito cca 140 kg na osobu, v případě ČR to bylo pouze 60 kg [56].

Graf 5-1 Vývoj nakládání s odpady v EU, převzato od Eurostat [57]

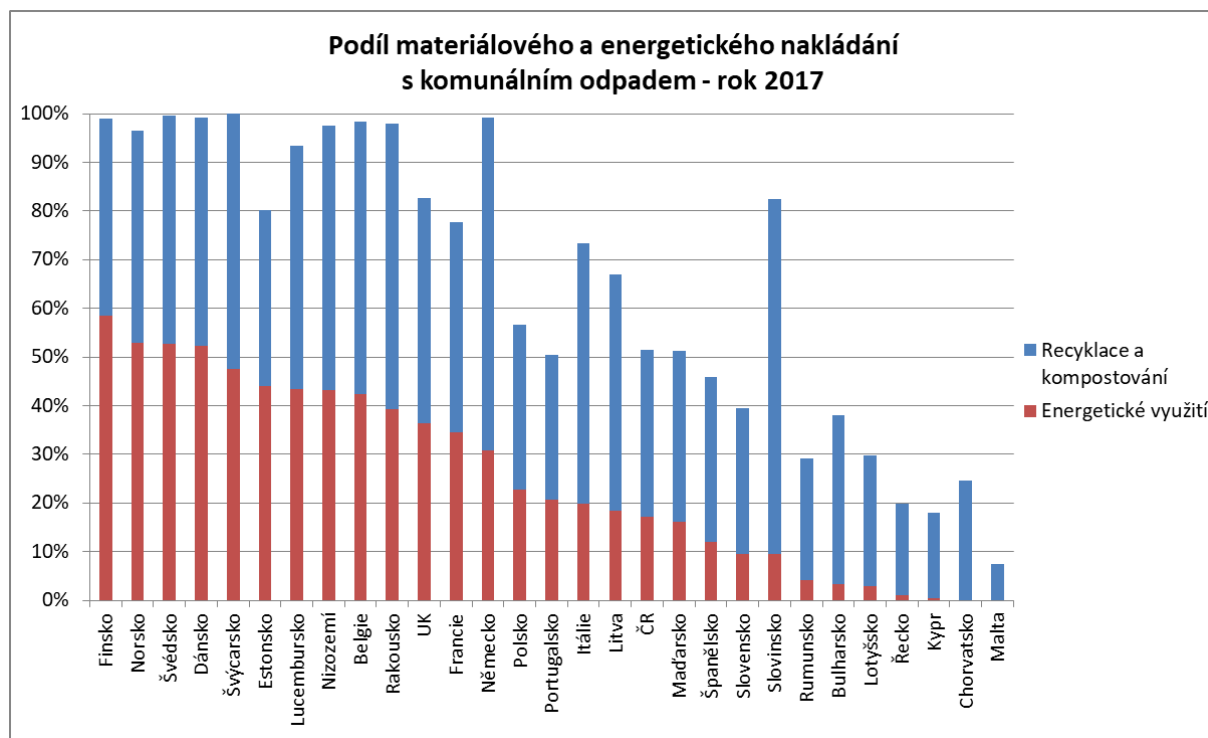


Pokud seřadíme evropské země podle míry energetického využití komunálního odpadu od nejvyšší (viz graf 5-2), akumulují se nám na jedné straně země převážně západní a severní Evropy, kde energetické využití odpadů převyšuje 35 % (v případě Skandinávie přesahuje 50 %). Navíc v těchto zemích součet materiálového a energetického využití dosahuje téměř 100 % hmotnosti produkovaného KO a skládkování tu tedy v zásadě není praktikováno. Z hlediska dopadů na životní prostředí je žádoucí tohoto stavu dosáhnout i v ostatních zemích.

Země střední a jižní Evropy většinou energeticky využívají méně než 20 % hmotnosti produkovaného KO. Existují tu rozdíly ve využití materiálovém, kdy země V4 takto využívají 30 až 35 % zatímco např. Slovinsko téměř 60 %. Skládkování je však ve všech těchto zemích stále významnou metodou nakládání s komunálním odpadem.

Na opačném konci jsou země, kde energetické využití není praktikováno téměř vůbec (Řecko a Kypr minimálně, Chorvatsko a Malta vůbec). Naopak tu převládá skládkování, a to až 80% podílem hmotnosti KO. Pokud mají být tyto země schopny dosáhnout stavu požadovaného legislativou, bude zde muset dojít k významné přeměně odpadového hospodářství. Energetické využití odpadu je jednou z cest, jak omezit skládkování komunálního odpadu a dosáhnout úrovně stanovené evropskou legislativou.

Graf 5-2 Vybrané země Evropy seřazené podle míry energetického využití KO, data Eurostat [57]



6. Hodnocení ekonomie provozu ZEVO

Zhodnocení je provedeno na základě výpočtu minimální ceny tepla, tj. ceny, při které se NPV projektu rovná nule. Tato cena je porovnána s cenou tepla v současném stavu s původním zdrojem tepla. V rámci své práce provádím zhodnocení ekonomické efektivity výstavby malého ZEVO v areálu výtopny, která dodává teplo do existující soustavy CZT.

6.1. Uvažovaný region

Výstavba ZEVO o určité kapacitě vyžaduje zajištění dostatku vstupní suroviny (SKO, případně jiných odpadů) a odběru produkovaného tepla, a to po celou dobu provozu tohoto zařízení. Pro účely ekonomického hodnocení je vhodné provést výpočet pro vybudování ZEVO, které by zpracovávalo odpad pocházející z konkrétního regionu a dodávalo teplo do konkrétní existující soustavy CZT. Z hlediska úspory emisí (i finančních prostředků) z dopravy je vhodné, aby zpracování odpadů probíhalo co nejbližší jejich zdroji. V rámci své práce tedy předpokládám využití odpadu pro dodávky tepla do nejbližší dostupné soustavy CZT.

Regionem, který zde uvažuji, je Šluknovský výběžek na severu Čech. Region spadá do Ústeckého kraje, území je spravováno dvěma obcemi s rozšířenou působností: ORP Rumburk a ORP Varnsdorf. V tabulce 6-1 je shrnut vývoj produkce komunálního odpadu v regionu mezi lety 2010 a 2018. Od roku 2012 se roční produkce SKO v regionu pohybuje kolem 14 tis. tun. Tato informace je relevantní pro nastavení správné kapacity potenciálně budovaného ZEVO.

Tabulka 6-1 *Produkce odpadu na území regionu, zdroj dat: [58]*

ORP	kód území	rok	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
ORP Rumburk	4212	vyprodukovaný KO (t)	15 678	13 604	16 849	14 342	14 795	17 332	17 463	17 743	17 589
		vyprodukovaný SKO (t)	7 892	6 858	8 971	8 678	8 294	8 419	8 721	9 001	8 851
ORP Varnsdorf	4215	vyprodukovaný KO (t)	16 930	10 180	12 056	10 038	9 609	8 922	9 594	9 647	9 690
		vyprodukovaný SKO (t)	5 090	4 974	5 536	5 288	5 153	5 055	5 153	5 181	5 030

Na území regionu se v současnosti nenachází žádná aktivní skládka. Odpad je svážen do překladiště ve Varnsdorfu, přičemž SKO je odtud následně odvážen do vzdálenosti cca 33 km na skládku v obci Volfartice v sousedním kraji. Pokud by odpad byl energeticky využit blíže místu vzniku, došlo by k poklesu množství materiálu, který je nutné na skládku odvést (místo surového SKO by byla skládkována menší hmotnost v podobě popela a škváry). Toto by vedlo k úspoře paliva i produkovaných emisí. Tato úspora bude přibližně vyčíslena v rámci této práce.

6.2. Uvažovaná soustava CZT

Největší existující soustava CZT v regionu se nachází ve městě Varnsdorf. Provozovatelem tepelného zdroje je společnost *TERMIKA Varnsdorf a.s.* Jedná se o plynovou kotelnu v areálu původní uhelné teplárny. Samotnou dodávku tepla zajišťuje spol. *Teplárna Varnsdorf a.s.*, která teplo nakupuje od provozovatele zdroje (obě společnosti mají stejného majitele). Tepelnou síť o rozsahu 14 km rozvodů má společnost pronajatu od města, přičemž údržbu sítě zajišťuje nájemce. Celkový roční odběr soustavy se pohybuje kolem 100 TJ, z toho přibližně 7 % představují ztráty. [59]

Pro potřeby výpočtu jsem celkový roční odběr tepla rozdělil následujícím způsobem:

- Měsíční nezávislá spotřeba = 2 % celkové spotřeby [3], představuje stálý odběr.
- Zbývající „klimaticky závislou“ spotřebu dělím v poměru denostupňů.

V tabulce 6-2 je shrnuto mé rozdělení spotřeby v soustavě CZT mezi jednotlivé měsíce. Takto rozdělenou spotřebu uvažuji v následných výpočtech.

Tabulka 6-2 *Spotřeba tepla v průběhu roku, zdroj DST: [55]*

měsíc	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
denostupně (den. °C)	616,3	527,3	446,7	292,6	49,1	0	0	0	18,5	288,3	437,7	560,6
spotřeba (GJ)	16 799	14 667	12 737	9 047	3 216	2 040	2 040	2 040	2 483	8 944	12 522	15 465

Ve výpočtech uvažuji, že se spotřeba tepla v soustavě v budoucnu nezmění. Tento předpoklad odpovídá stavu, kdy případný pokles (např. vlivem zateplování) bude vyrovnán připojováním nových objektů). Očekávám tedy údržbu a rozvoj soustavy. Vliv případného poklesu spotřeby tepla stanovím v citlivostní analýze výsledků.

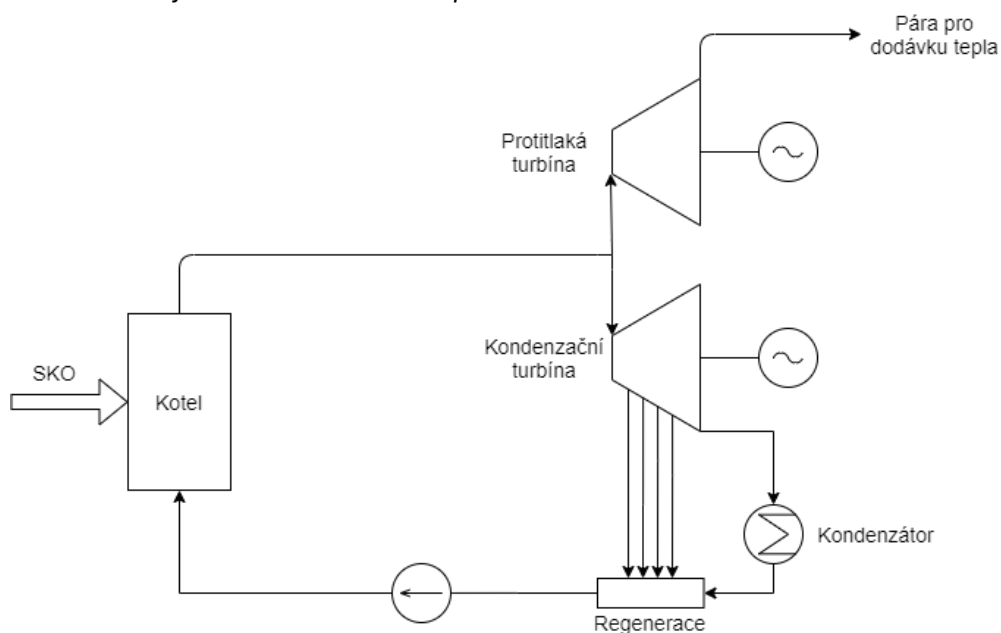
6.3. Technické provedení

Existují zde dvě varianty možné integrace vybudovaného ZEVO do existující soustavy CZT. První variantou je vybudování ZEVO v areálu současné výtopny. V areálu současného zdroje je pro vybudování ZEVO dostatek prostoru (areál původní uhelné teplárny, včetně skládky uhlí). Druhou možností je pak vybudování v jiné lokalitě. V minulosti byla již vlastníkem soustavy CZT, kterým je město Varnsdorf, zvažována výstavba vlastního plynového zdroje mimo areál původní teplárny. [60]

Pokud by bylo ZEVO budováno současným dodavatelem tepla a integrováno do existujícího zdroje, mohl by současný plynový zdroj sloužit pro pokrytí dodávek tepla v době odstávky nebo výpadku ZEVO.

Návrh provedení technologie ZEVO je na schématu níže. SKO o průměrné výhřevnosti 9,5 MJ/kg je spalován v kotli, kde je produkována přehřátá vodní pára o parametrech: 4,3 MPa, 400 °C (převzato ze ZEVO Liberec [61]). Pro dodávku tepla do soustavy CZT je pára vedena přes protitlakou turbínu na kondenzační výměník (není ve schématu). Parametry páry za protitlakou turbínou: 230 °C, 0,75 MPa. V období s nízkou spotřebou tepla je provozována turbína kondenzační. Pro zjednodušení zde předpokládám tepelný cyklus s ideální regenerací.

Obrázek 6-1 *Zjednodušené schéma tepelného oběhu*



Relevantním parametrem při hodnocení projektu vybudování ZEVO je kapacita tohoto zařízení, která je limitována dostupným množstvím SKO v okolí (nyní i v budoucnu).

Z hlediska kapacity ZEVO vymezují dvě varianty:

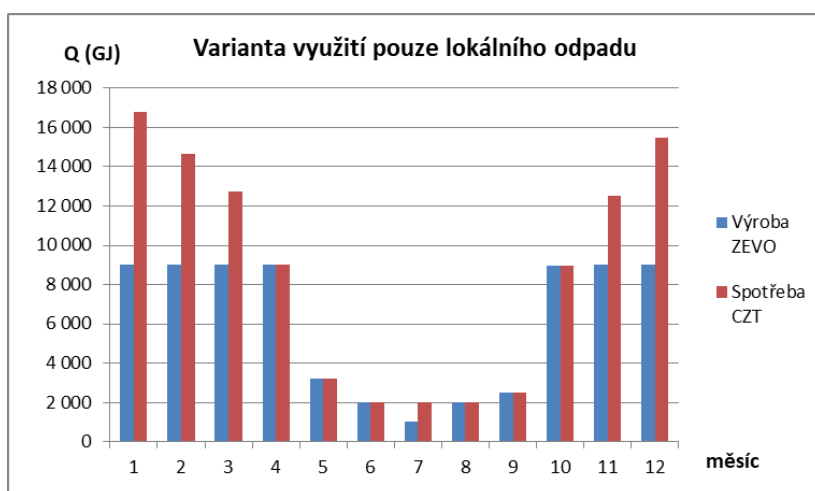
- 1) Varianta využití pouze „lokálního“ odpadu
- 2) Pokrytí celé poptávky po teple

6.3.1. Varianta využití pouze lokálního odpadu

V této variantě se jedná o návrh kapacity ZEVO na aktuální ročně produkované množství SKO v uvažovaném regionu Šluknovského výběžku. Pokud by v budoucnu docházelo k poklesu této produkce, bylo by třeba vstupní odpad nahrazovat dovozem SKO z větší vzdálenosti nebo zpracováním jiného odpadu lokálního.

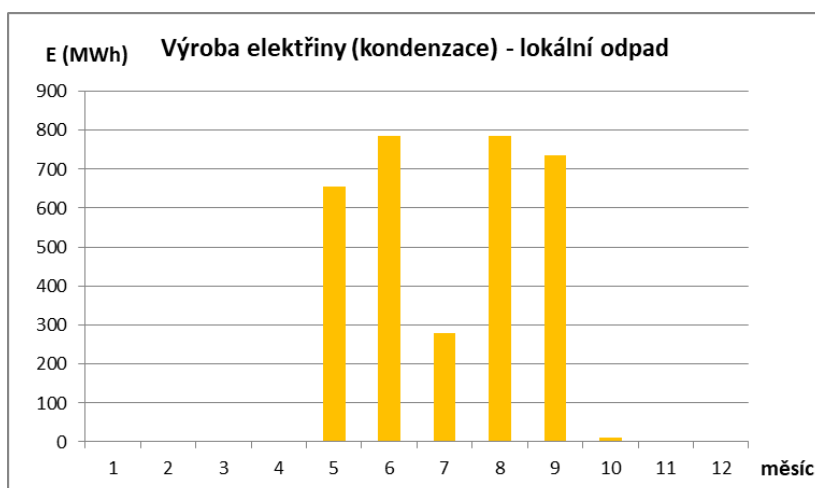
Na grafech 6-1 a 6-2 je znázorněna produkce tepla a elektřiny v prvním roce provozu ZEVO s touto kapacitou. Je vidět, že v této variantě je nutné ponechat v provozu současnou plynovou výtopnu, protože ZEVO není navrženo na potřebné dodávky tepla v zimních měsících.

Graf 6-1 *Bilance výroby tepla a poptávky po teple – varianta 1*



Pozn.: Předpokládám zde rovnoměrnou produkci odpadu v průběhu roku.

Graf 6-2 *Výroba elektřiny – varianta 1*



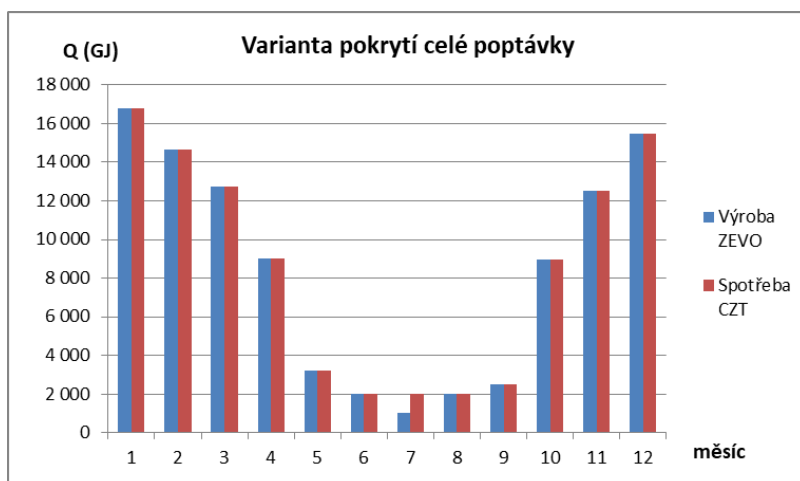
6.3.2. Varianta pokrytí celé poptávky po teple

V této variantě je kapacita ZEVO navržena na pokrytí spotřeby tepla v síti v zimních měsících. Kapacitu 26 tis. t_{SKO}/rok jsem stanovil na základě výpočtového modelu, jako množství odpadu potřebné pro pokrytí spotřeby v měsíci s nejvyšší spotřebou. Zde je třeba poznamenat, že tato kapacita je nastavena na spotřebu klimaticky normálního roku. V případě výrazně chladnějších let by pravděpodobně bylo nutné v zimních měsících využít záložní plynový zdroj pro dodatečnou výrobu tepla, pokud by dodávka ze ZEVO nebyla dostatečná.

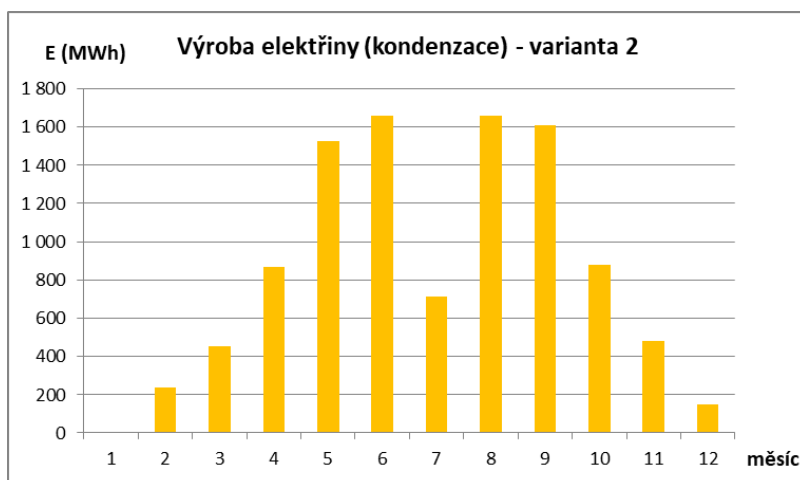
Takto navržená kapacita ZEVO je vyšší než lokální produkce SKO a předpokládá tedy dovoz z větších vzdáleností. V okolních regionech je produkce SKO dostatečná (v roce 2018 v sousedních ORP: Děčín 20 296 t, Česká Lípa 20 269 t [58]). Z tohoto stavu vyplývají rizika spojená s touto variantou. Při vyšších vzdálenostech se zvyšují náklady na dopravu. Je však žádoucí, aby celkové náklady na energetické využití (doprava + poplatek) byly nižší než náklady na skládkování. Dále zde existuje „riziko“ vybudování dalšího ZEVO v některé z lokalit, ze kterých by byl odpad dopravován. Toto ZEVO by odpad využívalo lokálně a ten by tak nemohl být nadále dovážěn. Pro eliminaci tohoto rizika je nutná spolupráce samosprávy, jak to zmiňuje i *Nařízení vlády o Plánu odpadového hospodářství* [44].

Jak je vidět na grafech 6-3 a 6-4, ZEVO je v této variantě navrženo pro pokrytí spotřeby tepla v zimních měsících. Oproti variantě 1 je tu výrazně vyšší kondenzační výroba elektřiny v měsících mimo topnou sezónu.

Graf 6-3 *Bilance výroby tepla a poptávky po teple – varianta 2*



Graf 6-4 *Výroba elektřiny – varianta 2*

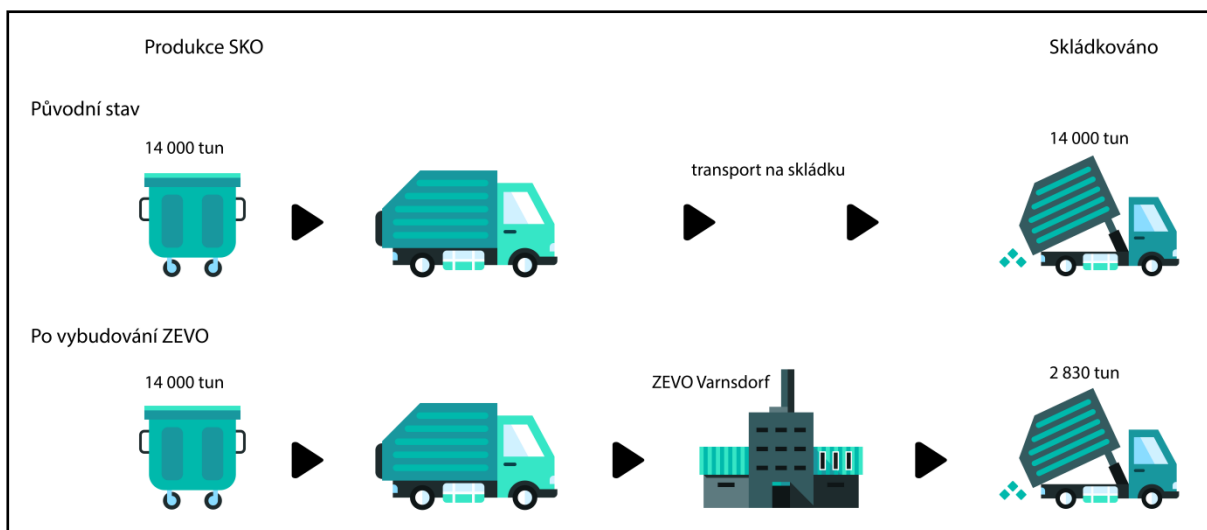


Pro ekonomické hodnocení volím variantu 2, s větší kapacitou, menšími měrnými investičními náklady [3] a možností ponechání původního zdroje pouze v režimu studené zálohy. Po výstavbě ZEVO může zůstat zachována původní plynová kotelna, která případně zajistí dodávku tepla při odstávce a zálohu pro případ výpadku ZEVO.

6.4. Emise skleníkových plynů

Odklon SKO ze skládky k využití blíže jeho vzniku v zařízení ZEVO umožňuje dosažení úspory paliva a emisí skleníkových plynů v dopravě. Tyto úspory jsou umožněny redukcí hmotnosti materiálu po průchodu ZEVO. Zároveň dochází k poklesu emisí metanu ze skládek, jelikož na skládku je ukládán odpad inertní. Pokles množství materiálu odváženého na skládku je naznačen na schématu níže. Množství odpadu odpovídá roční produkci v regionu Šluknovského výběžku, redukce množství materiálu při energetickém využití odpovídá předpokladům přijatým v rámci tvorby modelu.

Obrázek 6-2 Schéma dopadů výstavby ZEVO na hospodaření s odpady z regionu:



zdroj grafiky: *freepik.com, vector created by macrovector*

Celkovou bilanci emisí skleníkových plynů projektu výstavby ZEVO stanovují ve třech oblastech:

- doprava,
- skládky,
- výroba tepla.

6.4.1. Doprava

V následujícím výpočtu odhaduji úspory v dopravě dosažitelné odklonem SKO, který je ročně produkován na území uvažovaného regionu, k jeho energetickému využití. Následně uvažuji skládkování pouze reziduí po spálení.

Pro výpočet uvažuji transport nákladními vozy s následujícími parametry [62]:

- užitná nosnost: 20 t,
- spotřeba plného vozu: 47 l/100 km,
- spotřeba prázdného vozu: 30 l/100 km.

Těmto spotřebám paliva odpovídají následující měrné emise CO₂ [63]:

- plný vůz: 1 261 g/km,
- prázdný vůz: 805 g/km.

Výsledek výpočtu je shrnut v tabulce 6-3. Finanční úspora na palivu představuje v porovnání s poplatky za skládkování nebo energetické využití pouze jednotky procent. Pokud se však zaměříme na emise CO₂, je dosažená úspora více než dvojnásobná v porovnání s emisemi ze spálení daného množství odpadu: spálením 1 tuny SKO je uvolněna cca 1 tuna CO₂, celkově tedy cca 14 tis. tun CO₂. Vypočtená úspora v dopravě je však cca **38 tis. tun CO₂**.

Tabulka 6-3 Vypočtené úspory při energetickém využití lokálního odpadu:

Stav	Skládkovaný materiál (t)	Spotřeba paliva (l)	Palivové náklady* (Kč bez DPH)	Emise CO ₂ (t)
Skládkování SKO	14 000	17 787	396 900	47 725
Využití v ZEVO	2 838	3 606	80 457	9 674
Rozdíl	11 162	14 181	316 443	38 050

*při ceně 27 Kč/l s DPH

Tento výpočet předpokládá skládkování veškerého materiálu na výstupu ZEVO (kromě vyseparovaných kovů). Ne veškerý tento materiál je však nezbytně nutné skládkovat. Popel z procesu čištění spalin je jako nebezpečný odpad skládkovat nutné, avšak škvára po spálení odpadu v kotli je materiál inertní a je využitelná například ve stavebnictví. [12] V případě, že by tento materiální tok byl dále odkloněn pro materiálové využití, došlo by k ještě výraznějšímu omezení skládkování. Vzhledem k inertní povaze tohoto materiálu se však již toto využití neprojeví žádnou změnou emisí.

S ohledem na navrženou kapacitu ZEVO, která převyšuje produkci SKO na území regionu, je nutné zahrnout i dopravu SKO z okolí. Uvažují odklon SKO ze stejné skládky, na kterou je aktuálně dopravován SKO z regionu, a jeho dopravu do ZEVO na stejnou vzdálenost. Jedná se o cca 12 tis. tun SKO ročně. Stejnou metodikou pro vyčíslení emisí z dopravy jsou stanoveny emise z této přepravy: **40,9 tis. tun CO₂** ročně. Tato hodnota bude součástí celkové bilance emisí z provozu ZEVO. Dovoz odpadu pro jeho energetické využití tedy povede k nárůstu emisí z dopravy, zároveň však i k úspoře emisí jeho odklonem ze skládky.

6.4.2. Skládky

Skládky komunálního odpadu jsou zdrojem emisí metanu, který je skleníkovým plynem. Přesněji jsou jeho zdrojem biologické složky na skládce ukládaného odpadu. Měrné emise metanu ze skládek komunálního odpadu jsou cca 0,135 t/t_{SKO} [64]. 26 tis. tun SKO uložených na skládce tedy vyprodukuje 3,5 tis. tun metanu. Předpokládám skládku bez energetického využití skládkového plynu. Odpovídající ekvivalent emisí CO₂ je, při přepočtu koeficientem GWP = 25 [64], cca **87,8 tis. tun CO₂**. V momentě, kdy tento odpad na skládce uložen není, představuje toto množství metanu dosaženou úsporu emisí skleníkových plynů. Využití tohoto odpadu v ZEVO tedy vede k poklesu emisí skleníkových plynů ze skládek, naopak však vede k emisím CO₂ z jeho spalování. Tyto emise jsou vyčísleny dále.

6.4.3. Výroba tepla

Úsporu, respektive navýšení emisí z výroby tepla stanovují jako rozdíl stavu před a po vybudování ZEVO. Vstupní hodnoty pro výpočet původního stavu jsou v tabulce 6-4. Emise CO₂ pro dodávku tepla do soustavy CZT z původní plynové výtopny jsem tedy stanovil na cca **6,2 tis. t_{CO2}**. Předpokládám dodávku stejného množství tepla z plynové výtopny jako ze ZEVO. Měrné emise předpokládám ve výši 0,2 tuny CO₂ na MWh paliva (zemního plynu). [65]

Tabulka 6-4 Výpočet emisí z původní výtopny:

Dodané teplo	100 956 GJ
Účinnost výroby	90 %
Emisní faktor	0,2 t _{CO2} /MWh
Výsledné emise CO ₂	6 232 t

Emise ze ZEVO v navržené podobě nejsou přímo srovnatelné s touto hodnotou. Celkové emise jsou, při měrných emisích 1 t_{CO2}/t_{SKO}, 26 000 t_{CO2}. Z hlediska příspěvku ke skleníkovému efektu jsou však relevantní pouze „fosilní“ emise (jak bylo vysvětleno dříve v této práci). Navíc celkové množství vypuštěných emisí zahrnuje výrobu tepla i elektřiny.

Pro potřeby tohoto výpočtu jsem převzal měrné emise „klimaticky relevantního“ CO₂ ve výši 0,415 t_{CO2}/t_{SKO} (viz kapitola 2.1.3). Za rok pak navržené ZEVO vyprodukuje 10 790 t tohoto CO₂.

Rozdělení stanovených celkových emisí mezi teplo a elektřinu provádím v poměru vyrobené energie. Na roční výrobu tepla (101 tis. GJ = odběr tepla) takto připadá **7,35 tis. t_{CO2}**, na výrobu elektřiny (13 tis. MWh) pak 3,44 tis. t_{CO2}.

Tabulka 6-5 Shrnutí hodnot ve výpočtu emisí ze ZEVO:

Celkové emise	26 000 t CO ₂
Emise z fosilních zdrojů	10 790 t CO ₂
Vyrobené teplo	100 956 GJ
Vyrobená elektřina	13 102 MWh
Emise - teplo	7 354 t CO₂
Emise - elektřina	3 436 t CO ₂

Při porovnání vypočtené hodnoty s emisemi při výrobě tepla z plynu je vidět, že při výrobě tepla z odpadu je příspěvek ke skleníkovému efektu větší. Pro přesnější stanovení této hodnoty by bylo třeba znát přesné složení spalovaného SKO, konkrétně podíl biologické složky.

6.4.4. Celková bilance emisí

Jednotlivé vypočtené hodnoty emisí skleníkových plynů jsou shrnuty v tabulce 6-6 a je zde sestavena bilance v ekvivalentu emisí CO₂. Na základě výsledků výpočtu konstatuji, že odklon SKO od skládkování k jeho energetickému využití má pozitivní dopad z hlediska množství emitovaných skleníkových plynů. Pro upřesnění reálné výše emisí by bylo nutné znát přesné složení uvažovaného SKO, které ovlivní potenciálně emitované množství metanu a také podíl biologického CO₂ produkovaného při spalování.

Tabulka 6-6 *Bilance ročních emisí skleníkových plynů:*

Úspora z dopravy 14 tis. t SKO	38 050 t CO ₂
Nárůst z dopravy 12 tis. t SKO	40 907 t CO ₂
Úspora odklonem 26 tis. t SKO ze skládky	87 750 t CO ₂
Nárůst spalováním odpadu	7 354 t CO ₂
Úspora z plynu	6 232 t CO ₂
Celková úspora	83 771 t CO₂

6.5. Ekonomické vstupy modelu

V této kapitole jsou shrnuty vstupní parametry a přijaté předpoklady výpočtového modelu. Jsou zde uvedeny hodnoty v základním scénáři a jejich případný roční růst. Výsledky výpočtu a citlivostní analýza jsou předmětem dalších kapitol.

6.5.1. Ekonomická životnost

Životnost ZEVO stanovuji na základě předpokládané životnosti technologické části celého zařízení, konkrétně na 30 let [66]. Vliv kratší životnosti bude stanoven dále, v rámci citlivostní analýzy.

6.5.2. Investice

Energetické využití odpadů je kapitálově náročná technologie. V rámci výpočtu předpokládám v základním scénáři celkovou investici ve výši 471,5 mil. Kč. Vycházím z měrné investice 18 tis. Kč/t_{SKO} [3] a kapacity ZEVO 26 tis. t_{SKO}. Do investice navíc započítávám pořízení nákladního vozu pro odvoz reziduí po spálení odpadu na skládku (3,5 mil. Kč [62]). V rámci provozu počítám s reinvesticemi do elektrozařízení a MaR v ZEVO ve výši původní investice (11,3 % celé investice [3]) navýšené o inflaci, každých 10 let, tedy v 10. a 20. roce provozu. Vzhledem k „nebezpečí“ výrazného zpřísnění emisních limitů vyhodnotím v rámci citlivostní analýzy vliv případné rekonstrukce kotle a technologie čištění spalin. Předpokládám zde investici v polovině životnosti ZEVO, ve výši 20,3 % původní investice [3] navýšené o inflaci.

6.5.3. Odpisy

Předpokládám lineární odepisování majetku, pro zjednodušení nerozlišuji účetní a daňové odpisy. Pracuji s následujícími dobami odepisování: stavby 50 let, technologie 30 let, elektro a MaR 10 let [66], nákladní vůz 10 let [62]. Na konci provozu ZEVO očekávám odepsání zůstatkové účetní hodnoty majetku (staveb). Předpokládám nulovou zůstatkovou hodnotu ZEVO na konci životnosti, kdy případné výnosy z prodeje majetku vyrovnají náklady spojené s ukončením provozu.

6.5.4. Diskont

Z hlediska financování předpokládám 100 % vlastního kapitálu. Vliv případného zajištění financování levnějším cizím kapitálem bude stanoven v rámci citlivostní analýzy. Financování pouze vlastním kapitálem volím pro zjednodušení (mění se podíl vlastního a cizího kapitálu neumožňuje použití vážené průměrné ceny kapitálu WACC). Za diskont volím náklady na vlastní kapitál ve výši 6,92 % (Damodaran [67], *náklady kapitálu podle průmyslových sektorů*, sektor energetika), konstantní po celou dobu provozu ZEVO.

6.5.5. Inflace a daň

Ve výpočtu uvažuji konstantní meziroční inflaci ve výši 2,1 %, převzatou z prognózy ČNB [68].

Předpokládám, že daň z příjmu právnických osob ve výši 19 % se v průběhu provozu nezmění.

6.5.6. Odstávky

Odstávky pro údržbu a rekonstrukce uvažuji v letních měsících, kdy nejméně omezí dodávky tepla. Pro potřebu údržby uvažuji každoroční letní odstávku v délce jednoho měsíce, dále pak 3 měsíce v letech s rekonstrukcemi částí ZEVO.

Výnosy ZEVO:

Do výnosů ZEVO zahrnuji výnos z poplatků za zpracování odpadu (*gate fee*), z prodeje elektřiny a tepla a z prodeje kovů separovaných ze spalovaného odpadu.

Základními parametry zde jsou prodejní cena tepla a *gate fee* (dále „poplatek za odpad“). Požadovaného výnosu je možné dosáhnout kombinací výše obou parametrů.

6.5.7. Poplatek za odpad

Gate fee („poplatek na bráně“), neboli poplatek za přijetí odpadu k jeho energetickému využití, je jedním z hlavních zdrojů výnosů ZEVO. Jeho výše je tedy jedním z hlavních parametrů ovlivňujících ekonomii provozu. Tento poplatek však v principu nelze nastavit libovolně. Jeho výše je omezena výší poplatků za konkurenční způsoby nakládání s komunálním odpadem. V případě SKO jsou touto konkurencí zejména skládky odpadu. Pokud by náklady spojené s předáním odpadu k jeho energetickému využití byly vyšší než v případě skládkování, neexistovala by motivace k odklonu tohoto odpadu mimo skládky. Toto je důvod nárůstu skládkovacího poplatku, tak jak je naplánován v novele odpadového zákona. Nárůst skládkovacího poplatku by měl motivovat k využívání jiných způsobů nakládání s odpadem. V momentě, kdy vejde v platnost zákaz skládkování využitelného odpadu, není již v zásadě tato motivace nutná, neboť již pro tento odpad skládkování nebude možností. V základním scénáři volím poplatek ve výši 1 600 Kč za tunu přijatého odpadu, s ročním růstem o inflaci. Parametr bude předmětem citlivostní analýzy.

Poplatek za zpracování směsného komunálního odpadu volí provozovatel ZEVO. Jeho výše se v českých ZEVO pohybuje v poměrně širokém rozsahu. Aktuální ceny podle veřejných ceníků (ceny bez DPH): TERMIZO Liberec 1 470 Kč/t [15], SAKO Brno 850 Kč/t [69], ZEVO Plzeň 1 773 Kč/t [16], ZEVO Malešice 2 500 Kč/t [70].

6.5.8. Prodej elektřiny

Prodej elektřiny je dalším zdrojem příjmů ZEVO. Vzhledem k tomu, že předpokládám kondenzační výrobu elektřiny a tedy vyšší celkovou výrobu elektřiny, bude mít cena elektřiny významnější vliv než v případě pouze protitlaké výroby. Cenu elektřiny předpokládám ve výši 44,7 EUR/MWh [71]. V základním scénáři předpokládám její růst o 3,12 % ročně (1 % + inflace). Nerozlišuji zde prodej *base/peak load*. Prodejem ve špičce za vyšší cenu by bylo potenciálně možné dosáhnout vyšších výnosů.

Zároveň pro jednoduchost neuvažuji provozní podporu v podobě zeleného bonusu. Je pravděpodobné, že se její výše v následujících letech změní, případně budou nové ZEVO z provozní podpory vyjmuty. Vliv případného příjmu zeleného bonusu bude v principu stanoven v rámci citlivostní analýzy na výši ceny elektřiny.

6.5.9. Prodej tepla

Stanovení ceny tepla je hlavním cílem tohoto výpočtu. Používám zde cenu v Kč bez DPH na výstupu primární části soustavy CZT (bez předávacích stanic [59]). Ta je v současnosti ve výši 438 Kč/GJ [72]. V základním scénáři předpokládám růst ceny tepla o 1 % nad inflací. Minimální výši této ceny porovnávám s aktuální cenou ve stavu s plynovou výtopnou.

6.5.10. Prodej kovů

Poslední kategorií výnosů ZEVO je prodej kovů separovaných ze zpracovávaného odpadu. Uvažuji následující produkci kovů: železo 15,46 kg/t_{SKO} a hliník 11,83 kg/t_{SKO} [67], a následující prodejní ceny: železo 0,7 Kč/kg [69], hliník 7 Kč/kg [70].

6.5.11. Směnný kurz

Ve výpočtu pracuji se směnným kurzem CZK/EUR, primárně v rámci prodeje elektřiny, která je obchodována v Eurech. Na základě prognózy ČNB [68] předpokládám kurz 25,2 Kč/EUR, bez vývoje v čase. Vliv kurzu na výsledky stanovím citlivostní analýzou.

Provozní náklady ZEVO:

6.5.12. Mzdy

Mzdy stanovuji na cca 10,6 mil. Kč v prvním roce provozu, pomocí měrné hodnoty 16,3 EUR/t_{SKO} [73] při kapacitě 26 tis. tun SKO. Růst mezd uvažuji, na základě prognózy MF ČR [74], ve výši 5,2 % ročně.

6.5.13. Údržba ZEVO

Roční náklady na údržbu představují 3 % původní investice [20]. Volím u nich růst vyšší než inflace (1 % nad inflací). Pro potřebu údržby uvažuji letní odstávku v délce jednoho měsíce.

6.5.14. Pronájem a údržba tepelné sítě

Soustava CZT je aktuálně ve vlastnictví města, které ji pronajímá dodavateli tepla. Předpokládám, že se tento stav nezmění. Údržbu sítě má na starosti nájemce. Náklady na údržbu volím ve výši 0,7 % původní investice [75], investiční náklady pro výpočet pak 300 EUR/m [75]. Délka rozvodů je 14 km. [59] Pronájem je od roku 2010 ve výši 50 Kč za dodaný GJ, bez inflační doložky [59]. V základním scénáři předpokládám pokračování smlouvy v této podobě, přičemž vliv výše nájmu na výsledek bude předmětem citlivostní analýzy.

6.5.15. Ostatní náklady

Zahrnují převážně materiál a energie pro provoz technologie čištění spalin. Uvažuji náklady ve výši 2,8 EUR/t_{SKO} [1] s ročním růstem 1 % + inflace.

6.5.16. Nakládání s rezidui

Další významnou složkou nákladů ZEVO je nakládání s rezidui po spalování (škvára a popel). Ve výpočtech zde předpokládám redukci hmotnosti zpracovaného odpadu o 80 %. Škvára tedy představuje 20 % původní hmotnosti odpadu. Škvára je inertní materiál využitelný ve stavebnictví. Pokud nebude využita, je nutné ji skládkovat. Ve výpočtu předpokládám tento stav, tedy platbu skládkovacího poplatku 800 Kč/t + zákonného poplatku ve výši dané zákonem [2]. Popel separovaný ze spalin (3 % původní hmotnosti [3]) se stává nebezpečným odpadem, předpokládám poplatek za skládkování ve výši 4 000 Kč/t [3] + poplatek daný zákonem ve výši 2 000 Kč/t [2], tedy celkový náklad ve výši 6 000 Kč/t. U poplatků připadajících provozovateli skládky uvažuji 3% roční růst, u zákonných poplatků pak vývoj podle zákona [2]. Předpokládám zde, že se již zákonné poplatky oproti aktuálnímu návrhu nového odpadového zákona nezmění.

Dále uvažuji náklady na dopravu reziduí na skládku. Tyto náklady jsou v podobě paliva (parametry viz kapitola *Emise skleníkových plynů*, cena paliva 27 Kč/l vč. DPH) a dále provozu (fixní náklady cca 800 tis. Kč/rok [62]) a odpisů nákladního vozu.

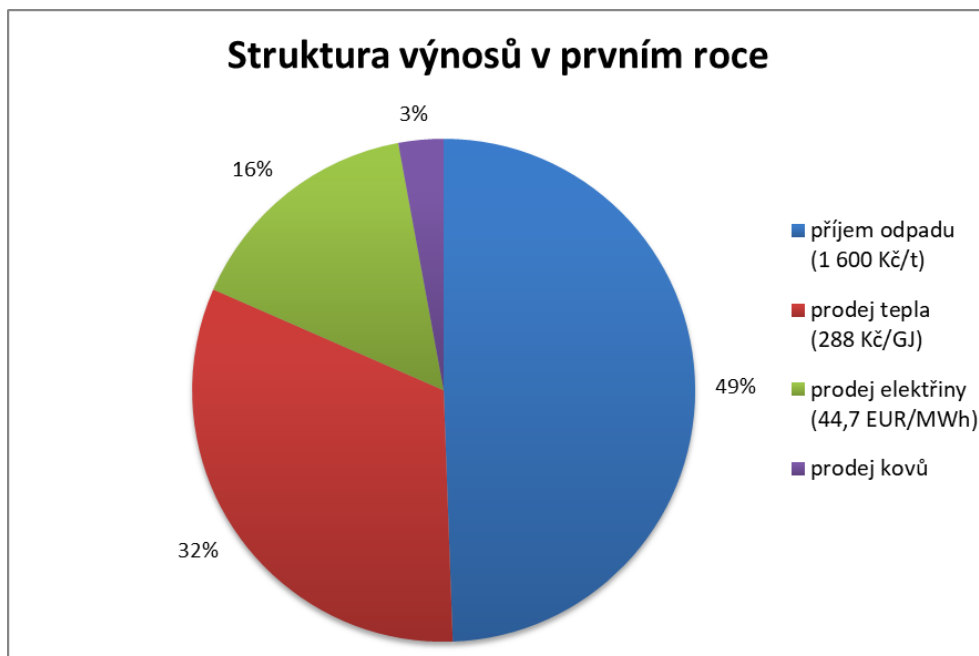
6.5.17. Povolenky CO₂

Emise CO₂ ze zařízení spalujících komunální odpady nejsou zahrnuty mezi energetická zařízení s povinností účasti v systému obchodování s emisními povolenkami EU ETS [24]. V práci uvažuji, že se tento stav nezmění.

6.6. Struktura výnosů a nákladů

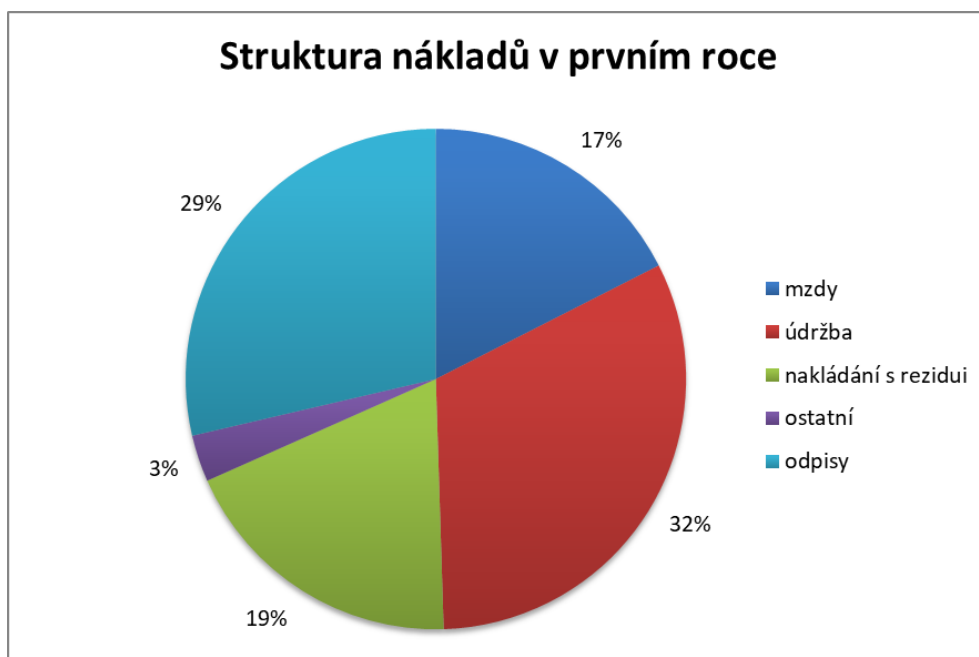
Na základě získaných vstupů jsem sestavil výpočtový model, pomocí kterého provádím výpočty ročních CF a minimální ceny tepla. V prvním roce provozu odpovídá modelu v základním scénáři následující struktura ročních výnosů a nákladů:

Graf 6-5 Struktura výnosů navrženého ZEVO



Pozn.: cena tepla zde odpovídá minimální ceně tepla v základním scénáři

Graf 6-6 Struktura nákladů navrženého ZEVO

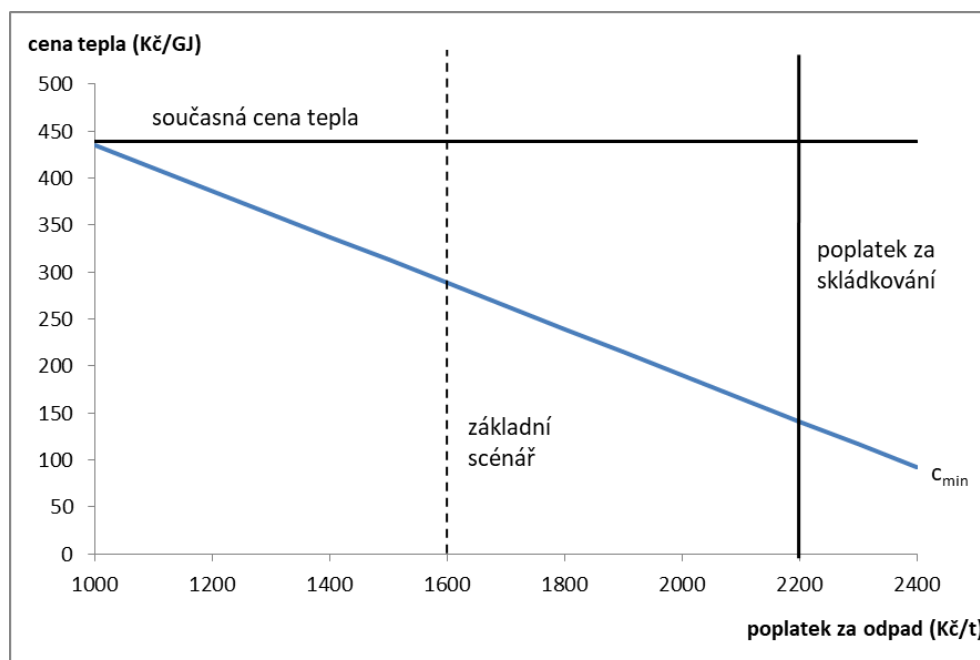


6.7. Výsledky výpočtu

6.7.1. Výpočet minimální ceny

Tabulka s ročními CF v základním scénáři je součástí příloh této práce. Minimální cena tepla odpovídá nulové čisté současné hodnotě. Výstupem výpočtu v základním scénáři, který byl popsán dříve, je **minimální cena 288 Kč/GJ** při poplatku za odpad ve výši 1 600 Kč/t_{SKO}, respektive závislost min. ceny tepla na výši poplatku za odpad viz graf 6-7. Minimální cena tepla je nižší než cena ve stavu s původním zdrojem, a to pro poplatek za odpad 1 000 Kč/t a vyšší.

Graf 6-7 Závislost minimální ceny tepla na výši poplatku za odpad – základní scénář

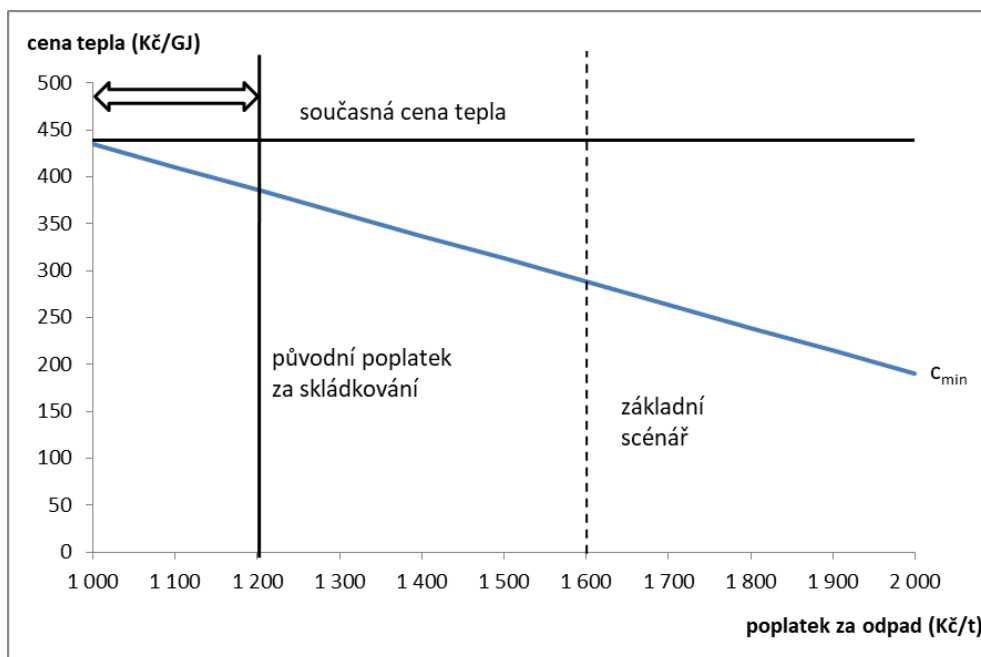


Výše poplatku za odpad při energetickém zpracování SKO je v principu limitována výší poplatku za skládkování tohoto odpadu, které představuje konkurenční způsob nakládání s odpadem. Na grafu je vidět, že v širokém rozsahu přípustné výše poplatku za odpad je možné dosáhnout výrazně nižší ceny tepla, než je cena ze současného zdroje. V základním scénáři je minimální cena nižší o 150 Kč/GJ. Mezní hodnotou je zde poplatek ve výši 1 000 Kč/t_{SKO}. Pro nižší poplatky již minimální cena přesahuje cenu z plynového zdroje.

Pokud by nedošlo k přijetí navrhované novely zákona o odpadech, zůstal by v platnosti zákonný poplatek za skládkování SKO v původní výši 500 Kč/GJ [1]. Poplatek provozovateli skládky zde předpokládám beze změny. Na grafu 6-8 je závislost minimální ceny na poplatku za energetické využití s vyznačením výše poplatku za skládkování SKO ve stavu bez úpravy výše zákonného poplatku. Tento stav však není pravděpodobný, neboť předpokládá poplatek ve stejné výši po celou dobu provozu ZEVO. Je pravděpodobné, že i kdyby nebyla přijata aktuální navrhovaná novela zákona, došlo by nakonec v budoucnu stejně k navýšení poplatku. Rozhodně však platí, že kdyby došlo ke zpoždění tohoto navýšení, omezilo by to na určitou dobu možnou výši poplatku za zpracování v ZEVO. Provozovatel ZEVO by poplatek mohl nastavit výše, avšak hrozil by mu v tomto případě nedostatek odpadu na vstupu. Z důvodu nižší ceny skládkování by totiž existovala ekonomická motivace k využití této formy nakládání s odpadem, namísto jeho energetického využití.

Toto platí pouze do 1. ledna 2030. Po tomto datu již skládkování surového SKO nebude možné (opět za předpokladu přijetí zmiňovaného návrhu zákona).

Graf 6-8 Závislost minimální ceny tepla na výši poplatku za odpad při zachování původní výše poplatku skládkovacího



Pozn.: Šipka zde vyznačuje rozsah výše poplatku za příjem odpadu, ve kterém je minimální cena nižší než původní cena tepla a poplatek za příjem odpadu je nižší než poplatek skládkovací.

Ve výpočtu jsem předpokládal diskont ve výši 6,92 % (=náklady vlastního kapitálu). Při částečném financování levnějším cizím kapitálem je možné dosáhnout nižších nákladů na kapitál a diskontní míry. V tabulce 6-7 je vyznačeno vnitřní výnosové procento projektu při jednotlivých kombinacích ceny tepla a poplatku za příjem odpadu. Všechny uvedené ceny tepla jsou zde nižší než původní cena z plynového zdroje a poplatek za odpad nižší než uvažovaný poplatek za skládkování. Všechny tyto hodnoty je tedy v zásadě možné zvolit, s přihlédnutím k faktu, že cena tepla je věcně usměrňována. Jak je patrné z tabulky, IRR projektu přesahuje uvažovaný diskont v širokém rozsahu prodejní ceny tepla a poplatku za příjem odpadu. Zároveň je možné stejného IRR dosáhnout jejich kombinací, tedy různým poměrem výnosů z příjmu odpadu a prodeje tepla.

Tabulka 6-7 Závislost IRR projektu na poplatku za odpad (gate fee) a ceně tepla

IRR	cena tepla v 1. roce (Kč/GJ)										
	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400
1400	0,76%	1,85%	2,81%	3,67%	4,48%	5,23%	5,93%	6,61%	7,25%	7,87%	8,47%
1500	1,79%	2,76%	3,64%	4,45%	5,20%	5,91%	6,59%	7,24%	7,86%	8,46%	9,04%
1600	2,71%	3,60%	4,42%	5,18%	5,89%	6,58%	7,23%	7,85%	8,45%	9,04%	9,60%
1700	3,56%	4,39%	5,15%	5,87%	6,56%	7,21%	7,84%	8,45%	9,03%	9,60%	10,16%
1800	4,36%	5,13%	5,85%	6,54%	7,20%	7,83%	8,44%	9,03%	9,60%	10,15%	10,70%
1900	5,10%	5,83%	6,53%	7,19%	7,82%	8,43%	9,02%	9,60%	10,15%	10,70%	11,23%
2000	5,81%	6,51%	7,18%	7,81%	8,43%	9,02%	9,59%	10,15%	10,70%	11,23%	11,76%
2100	6,50%	7,16%	7,80%	8,42%	9,01%	9,59%	10,15%	10,70%	11,24%	11,76%	12,28%
2200	7,15%	7,79%	8,41%	9,01%	9,59%	10,15%	10,70%	11,24%	11,77%	12,29%	12,79%

6.7.2. Citlivostní analýza výsledků

V následující kapitole vymezím parametry s největším vlivem na vypočtenou minimální cenu a , kde je to relevantní, stanovím mezní hodnoty těchto parametrů, kdy se změní závěr zhodnocení ekonomie ZEVO.

Tabulka 6-8 Vliv navýšení vybraných parametrů o 10 % proti základnímu scénáři

parametr	původní hodnota	hodnota	c_{\min} (Kč/GJ)	navýšení c_{\min}
měrná investice	18 000 Kč/t _{SKO}	19 800 Kč/t _{SKO}	339,2	17,7 %
nájem CZT	50 Kč/GJ	55 Kč/GJ	291,7	1,2 %
údržba CZT	3 % investice	3,3 % inv.	303,1	5,2 %
ostatní náklady	2,8 EUR/t _{SKO}	3,1 EUR/t _{SKO}	290,1	0,7 %
poplatek skládkování reziduí	popel 4 000 Kč/t + ZP škvára 800 Kč/t + ZP	4 400 Kč/t + ZP 880 Kč/t + ZP	295,1	2,4 %
kurz EUR	25,2 Kč/EUR	27,7 Kč/EUR	291,7	1,3 %
růst ostatních nákladů	3,12 %	3,43 %	294,7	2,3 %
diskont	6,92 %	7,6 %	315,3	9,4 %

Tabulka 6-9 Vliv poklesu vybraných parametrů o 10 % proti základnímu scénáři

parametr	původní hodnota	hodnota	c_{\min} (Kč/GJ)	změna c_{\min}
poplatek za příjem odpadu	1 600 Kč/t _{SKO}	1 440 Kč/t _{SKO}	327,3	13,6 %
cena elektřiny	44,7 EUR/MWh	40,2 EUR/MWh	301,9	4,8 %
prodejní cena kovů	Fe 0,7 Kč/kg Al 7 Kč/kg	Fe 0,63 Kč/kg Al 6,3 Kč/kg	290,4	0,8 %
růst ceny elektřiny	3,12 %	2,81 %	292,9	1,7 %
růst ceny tepla	3,12 %	2,81 %	298,6	3,6 %
diskont	6,92 %	6,23 %	262,1	- 9 %
spotřeba tepla*	102 000 GJ	91 800 GJ	304,1	5,5 %
*při zachování kapacity ZEVO				

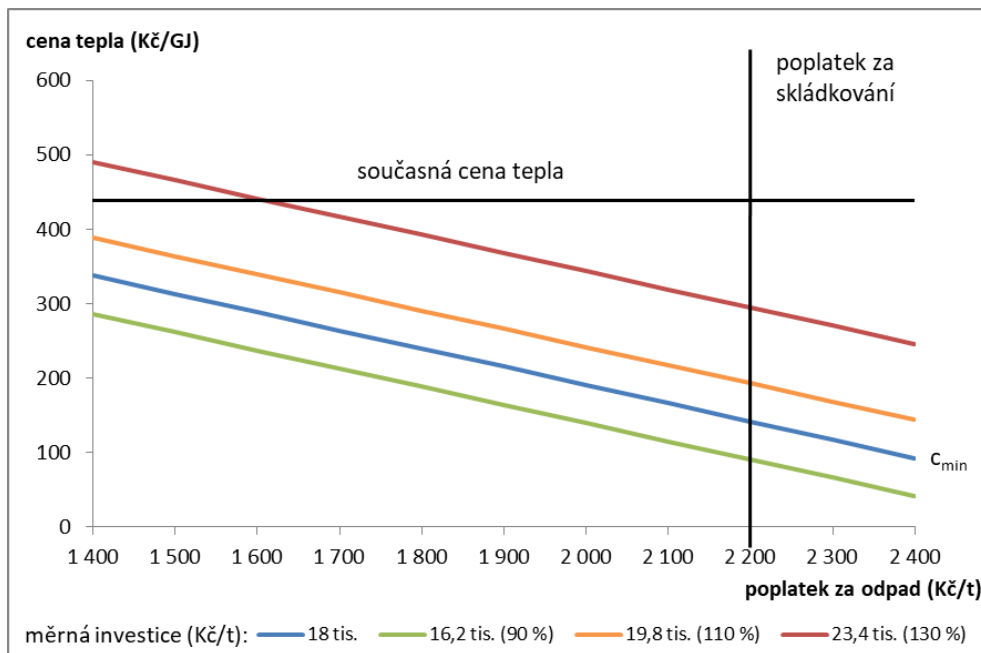
Na základě výsledků zobrazených v tabulkách 6-8 a 6-9 stanovuji následující kritické parametry, které mají významný vliv na výši minimální ceny:

- investice,
- poplatek za příjem odpadu ke zpracování (*gate fee*),
- diskont,
- spotřeba tepla,
- cena elektřiny,
- náklady na pronájem a údržbu soustavy CZT.

Parametrem, který má největší vliv na ekonomii projektu výstavby ZEVO, jsou měrné investiční náklady. Prodražení **počáteční investice** významně navyšuje minimální cenu tepla. Zvýšení investice o 10 % proti základnímu scénáři navýší minimální cenu o 17,7 % (viz tabulka 6-8).

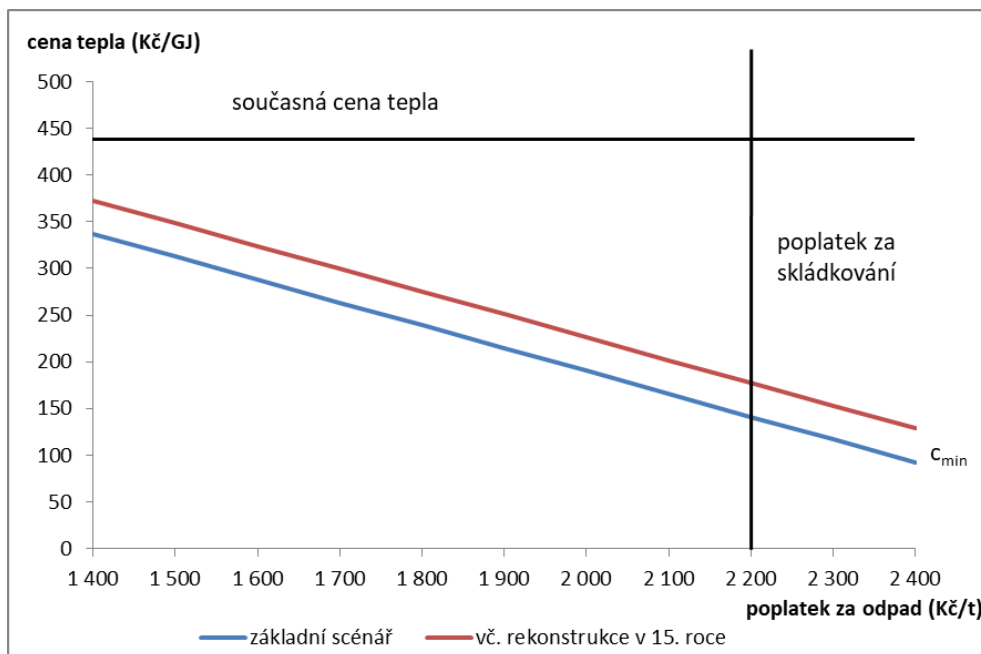
Jak je vidět na grafu 6-9, při měrné investici ve výši 23 400 Kč/t_{SKO} (o 30 % výše než předpoklad v základním scénáři) již je minimální cena tepla v základním scénáři (při poplatku 1 600 Kč/t_{SKO}) vyšší než současná cena tepla. Pro dosažení nižší ceny je v tomto případě nutné nastavit *poplatek za odpad* výše, než předpokládám v základním scénáři. Pokud by investice z nějakého důvodu původní předpoklad překročila výrazně, vedlo by toto k výraznému omezení rozsahu přípustné výše poplatku za odpad. Mezní hodnotou je zde (při konstantních ostatních parametrech) měrná investice cca 28,5 tis. Kč/t_{SKO}, kdy už minimální cena přesahuje původní stav i při poplatku 2 200 Kč/t_{SKO}.

Graf 6-9 Vliv výše investice



Jak bylo zmíněno při popisu vstupů výpočtového modelu, zhodnocuji zde vliv potenciální **rekonstrukce** kotle a technologie čištění spalin. Tato rekonstrukce by byla nutná například v případě, že by došlo k výraznému zprůsnění emisních limitů a stávající čištění spalin by nebylo dostatečné. Předpokládám zde investici v polovině životnosti ZEVO, ve výši 20,3 % [3] původní investice navýšené o inflaci. Tato investice navyšuje minimální cenu tepla o cca 35 Kč/GJ, ale na závěry výpočtu nemá vliv, jak je vidět na grafu 6-10.

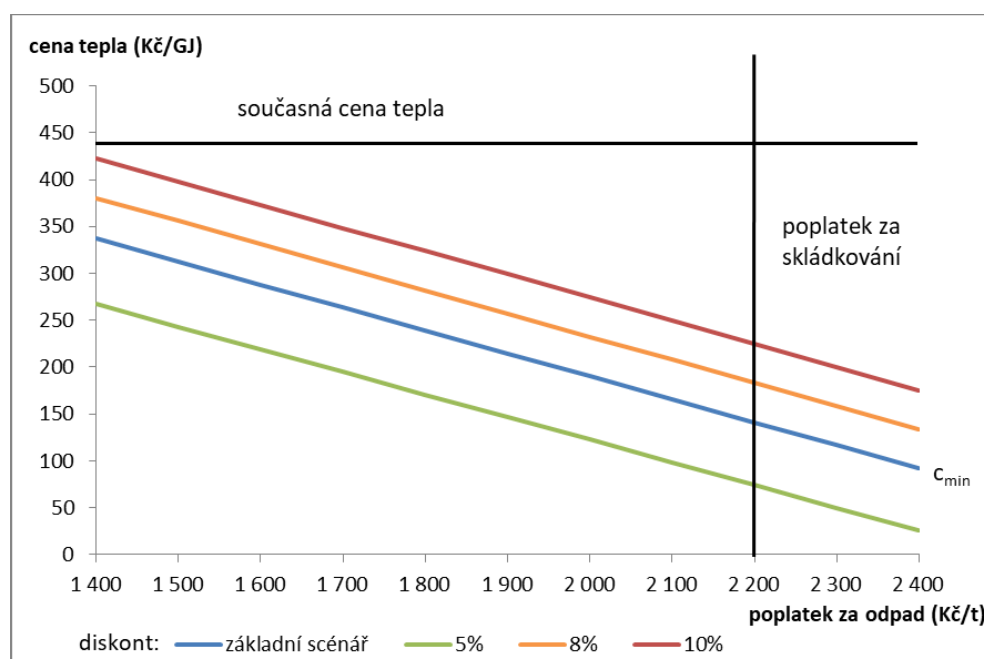
Graf 6-10 Vliv případné ekologizace



Spotřeba tepla v soustavě CZT je dalším významným parametrem. Jak je vidět v tabulce 6-9, pokles prodeje tepla o 10 % zvyšuje minimální cenu tepla o 5,5 %. Při nižší spotřebě tepla počítám s nárůstem výroby elektřiny, aby mohl být zpracováván odpad a kapacita ZEVO byla plně využita. Pokles spotřeby tepla tedy navyšuje výrobu elektřiny a podíl prodeje elektřiny na celkových výnosech zařízení. V případě nízké ceny elektřiny (22,4 EUR/MWh) pak 10% pokles prodeje tepla vede k navýšení minimální ceny tepla o 10,3 %. Riziko spojené s poptávkou po teple však není specifické pouze pro uvažovaný zdroj tepla a existuje i v případě provozu původního zdroje.

Významný vliv na výši minimální ceny tepla má dále **diskont**. V základním scénáři jsem předpokládal financování pouze vlastním kapitálem a diskont jako náklady vlastního kapitálu ve výši 6,92 %. Případné zajištění financování levnějším cizím kapitálem a nižší diskont umožní dosažení nižší minimální ceny, jak je vidět na grafu 6-11.

Graf 6-11 Vliv výše diskontu

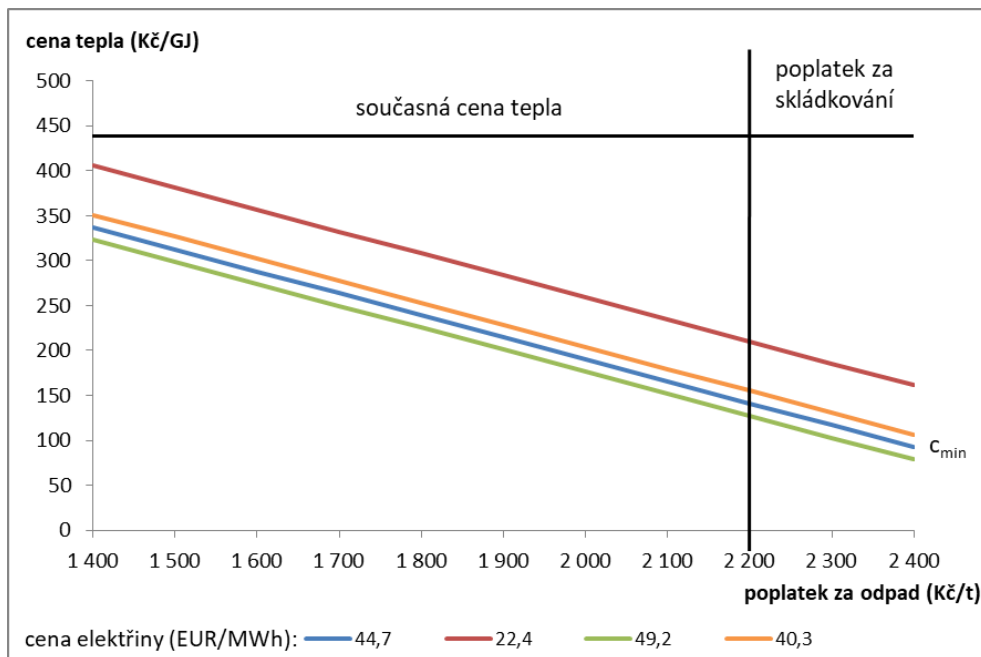


Na rozdíl od investice je **cena elektřiny** parametr, který se mění v průběhu provozu ZEVO. Navíc je variabilita tohoto parametru poměrně výrazná, přičemž je těžké cenu predikovat v uvažovaném horizontu provozu ZEVO.

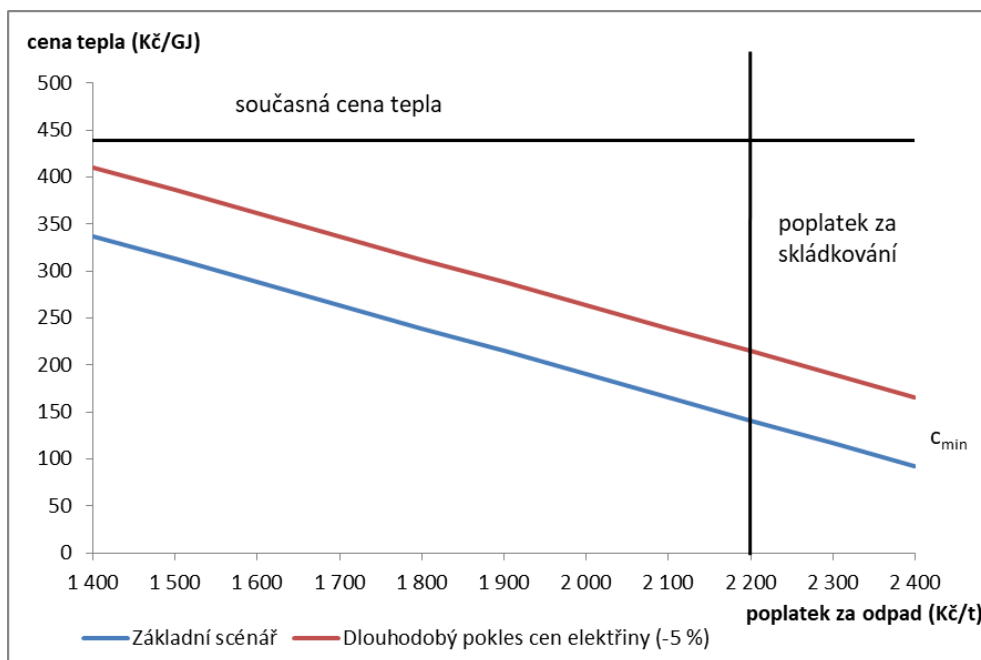
V grafu 6-12 je vidět vliv případné nízké ceny elektřiny. 22,4 EUR/MWh zde představuje poloviční hodnotu oproti základnímu scénáři. Tato hodnota není nereálná, za cca 22 EUR/MWh již byla elektřina v minulosti obchodována (na začátku roku 2016 [76]). Všechny ceny v grafu jsou v tomto případě eskalovány stejně jako v základním scénáři. V grafu 6-13 je naopak porovnán základní scénář (růst o 3,12 %) s dlouhodobým poklesem ceny o 5 % ročně. V základním scénáři je pak minimální cena ve výši cca 360 Kč/GJ. Minimální výše poplatku za odpad, pro kterou je c_{min} nižší než cena z původního zdroje se v tomto případě posouvá na cca 1 300 Kč/ t_{SKO} .

Přestože cena elektřiny a její budoucí vývoj ovlivňují výši minimální ceny tepla, v základním scénáři v širokém rozmezí výše poplatku za odpad je min. cena stále nižší než původní cena tepla z plynového zdroje. Toto platí i v případě téměř nulové ceny elektřiny. Při porovnání ceny tepla ze ZEVO a z původního zdroje tedy variabilita těchto parametrů rozhodnutí nezmění.

Graf 6-12 Vliv ceny elektřiny

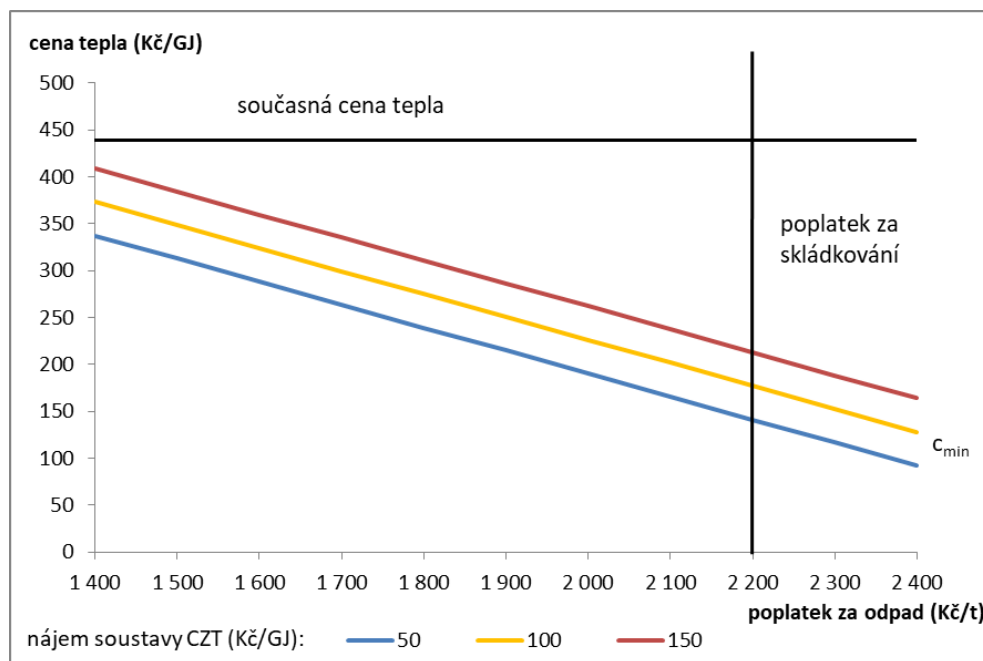


Graf 6-13 Vliv vývoje ceny elektřiny



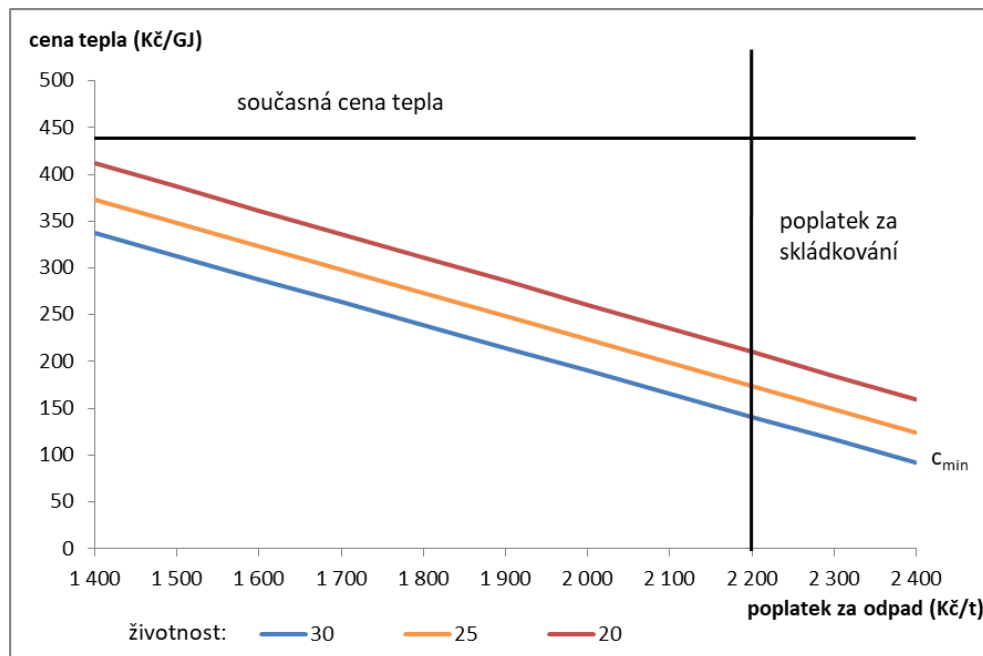
Potenciální **navýšení nájmu** za využití rozvodů soustavy CZT má vliv na výši minimální ceny, jak je vidět na grafu 6-14. Navýšení by však muselo být několikanásobné, aby změnilo závěry v rámci této práce a případně ohrozilo ekonomii provozu existujícího ZEVO. Spíše zde existuje nutnost udržovat nájemní smlouvu a dobré vztahy s vlastníkem sítě a s tím spojené riziko, kdyby smlouva byla vypovězena. Toto riziko však v principu existuje bez ohledu na typ provozovaného zdroje a není specifické pro ZEVO. V základním scénáři je minimální cena nižší, než je cena z původního zdroje, pro nájem až do výše cca 250 Kč/GJ. Případné navýšení nájmu za využití soustavy omezí rozsah poplatku za odpad, v kterém je c_{\min} nižší než z cena původního plynového zdroje.

Graf 6-14 Vliv výše nájmu tepelné sítě



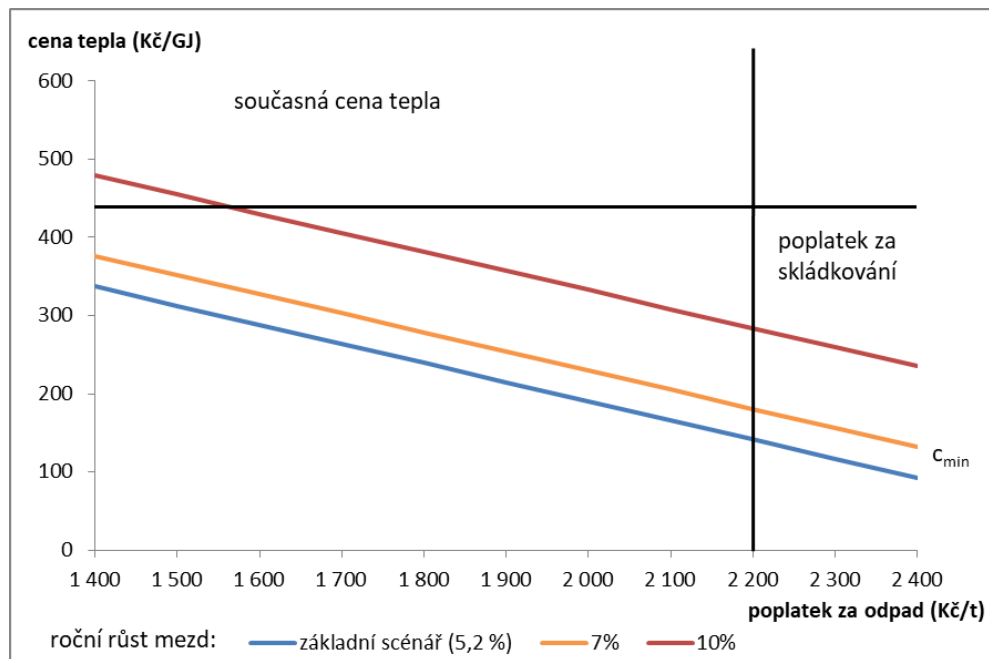
Na grafu 6-15 je znázorněn vliv případného **předčasného ukončení provozu ZEVO**. Předpokládám zde, že provoz ZEVO je v daném roce ukončen stejným způsobem jako v základním scénáři: Je odepsána zůstatková účetní hodnota zařízení a případné výnosy z prodeje majetku pokryjí náklady spojené s ukončením provozu.

Graf 6-15 Vliv reálné doby provozu ZEVO



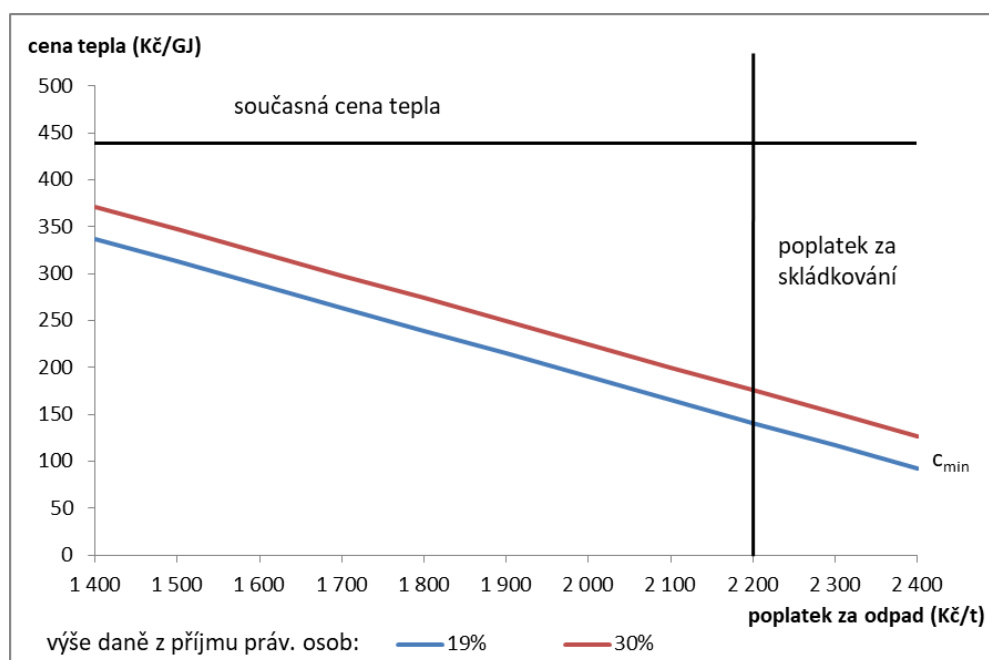
Nárůst mezd má vliv na výši minimální ceny tepla. Ve výpočtu uvažuji konstantní procentuální roční míru růstu mezd. Od roku 2003 průměrná mzda v ČR rostla meziročně nejvýše o 7,8 % [77]. Mezi lety 2009 a 2015 pak růst nepřesáhl 4 %. Vysoký růst po celou dobu provozu ZEVO proto neuvažuji.

Graf 6-16 Vliv ročního růstu mezd



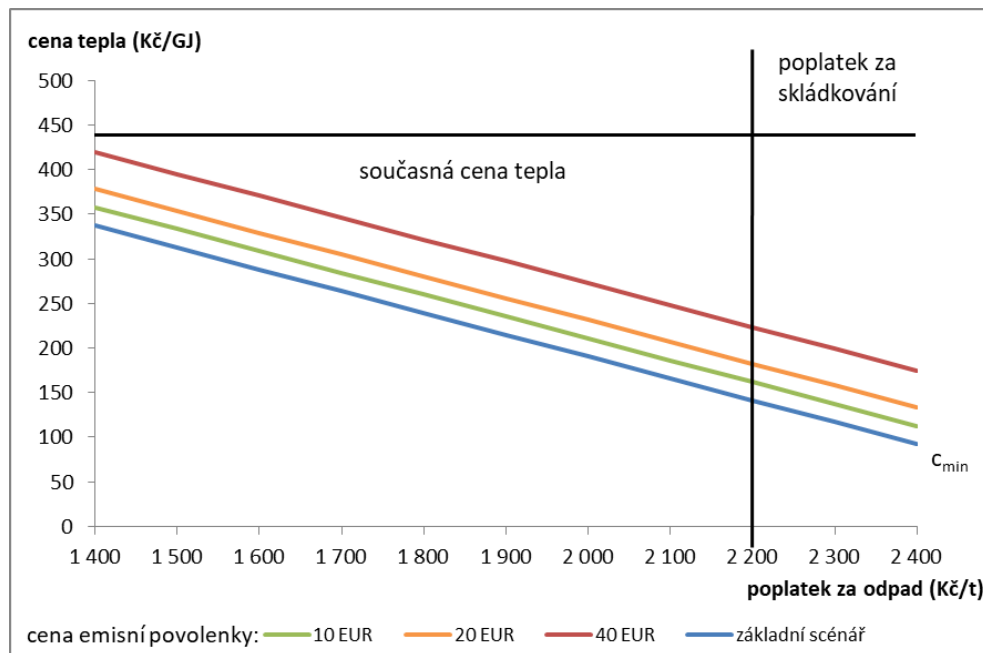
Teoretické **navýšení korporátní daně**, pokud není extrémní, nemá na závěry práce vliv. Korporátní daň v současnosti v EU nepřesahuje 30 % [78].

Graf 6-17 Vliv výše korporátní daně



Vliv případného zahrnutí ZEVO do systému **emisního obchodování** je naznačen na grafu 6-18. Zohledňuji pouze „klimaticky relevantní“ emise CO₂, tak jak byly stanoveny v kapitole 6.4. Nepředpokládám však, že by k zahrnutí malých ZEVO do systému EU ETS došlo. Proto ve výpočtu nutnost nákupu emisních povolenek neuvažuji. Jak je vidět na grafu, pokud by bylo nutné nakupovat emisní povolenky na vypuštěné klim. relevantní CO₂, vedlo by to k nárůstu ceny tepla. Ani při ceně emisní povolenky 40 EUR by však min. cena tepla nepřesáhla cenu z původního zdroje. Emisní povolenky jsou v květnu 2020 obchodovány pod 20 EUR (EEX: [79]).

Graf 6-18 Vliv případného zahrnutí malého ZEVO do systému EU ETS



Na závěry ohledně výstavby ZEVO mají tedy vliv tyto parametry:

- Výše počáteční investice. Mezní hodnotou je zde (při konstantních ostatních parametrech) 28,5 tis. Kč/t_{SKO}, kdy už minimální cena přesahuje původní stav i při poplatku 2 200 Kč/t_{SKO}.
- Výše poplatku za skládkování SKO, tedy otázka přijetí návrhu nového zákona o odpadech.
- Pronájem tepelné sítě - Jde o parametr relevantní v soustavě CZT, která je pronajímána. Netýká se ZEVO obecně.

Ostatní uváděné parametry mají také vliv na výši minimální ceny tepla. Neovlivní ji však natolik, aby překročila cenu tepla ve stavu s původním zdrojem tepla.

7. Závěr

V diplomové práci shrnuji metody energetického využití odpadů, související legislativu a současný stav nakládání s odpady v ČR a v kontextu EU. Hlavním cílem práce bylo zhodnotit ekonomii projektu výstavby a provozu ZEVO, respektive stanovit minimální cenu tepla z tohoto zařízení (tj. cenu tepla, při které je NPV rovno nule). V rámci výpočtu jsem dále vyčíslil přínos projektu s ohledem na emise skleníkových plynů.

Z hlediska legislativy je důležitý návrh nového zákona o odpadech, který je v aktuálně v legislativním procesu a který stanovuje **konec skládkování využitelných komunálních odpadů na rok 2030**. V kombinaci s požadavky legislativy EU toto znamená nutnost proměny odpadového hospodářství ČR. Kromě nárůstu recyklačních kapacit bude muset dojít právě i k budování kapacit ZEVO.

Hlavní výnosy ZEVO pocházejí z prodeje tepla a z příjmu odpadu ke zpracování. Výše poplatku za zpracování odpadu a cena tepla jsou tedy rozhodující parametry. V práci jsem stanovil závislost minimální ceny tepla na výši poplatku za příjem odpadů. V základním scénáři je **minimální cena tepla z uvažovaného ZEVO ve výši 288 Kč/GJ bez DPH, při poplatku 1 600 Kč/t_{SKO}**. V práci jsem provedl srovnání vypočtené minimální ceny tepla s cenou tepla v současném stavu s plynovou výtupnou. **Pro poplatek za příjem odpadů vyšší než 1 000 Kč/t_{SKO} je minimální cena nižší než cena tepla ze současného plynového zdroje.**

Poplatek za zpracování odpadu v ZEVO by měl v principu být nižší než poplatek za skládkování, aby existovala motivace k odklonu SKO mimo skládky. Návrh nového zákona o odpadech obsahuje plán nárůstu zákonných poplatků za skládkování využitelných KO až na 1 850 Kč/t v roce 2029. Celkové náklady na skládkování odpadu, při zahrnutí zákonného skládkovacího poplatku i platby provozovateli skládky, tedy přesáhnou 2 000 Kč/t. Při zohlednění mnou provedeného výpočtu z tohoto vyplývá, že provozovatel uvažovaného ZEVO by si mohl dovolit vybírat nižší poplatky za zpracování odpadu než provozovatelé skládek. Minimální prodejní cena tepla je přitom stále nižší než cena tepla ve stavu s původním plynovým zdrojem (viz graf 6-7 v kapitole 6.7.1).

V rámci výpočtu jsem stanovil také výši IRR projektu v závislosti na ceně tepla a poplatku za zpracování odpadu. **Vnitřní výnosové procento je vyšší než uvažovaný diskont v širokém rozsahu ceny tepla a poplatku za odpad**, které je možné zvolit, viz tabulka 6-7 v kapitole 6.7.1.

V citlivostní analýze výsledků jsem stanovil parametry s vlivem na výši minimální ceny. Rozhodující vliv zde má výše počáteční investice a zvolený poplatek za příjem odpadu. Navíc zde existuje riziko spojené s provozem soustavy CZT, a to z hlediska spotřeby tepla v soustavě a z důvodu pronájmu tepelné sítě.

Na základě vypočtené výše vnitřního výnosového procenta a po porovnání minimální ceny tepla ze ZEVO s nynější cenou vyvozují, že energetické využití směsného komunálního odpadu v uvažovaném zařízení **je konkurenceschopné**. Zároveň je možné za zpracování odpadu vybírat nižší poplatek než na skládkách komunálního odpadu.

Z mého výpočtu emisí skleníkových plynů vyplývá, že výstavba ZEVO v uvažované podobě vede k mírnému nárůstu emisí při výrobě tepla, k nárůstu emisí v dopravě z důvodu předpokládaného dovozu části odpadu, avšak také k významné úspoře emisí metanu ze skládky. **Celkově tak uvažovaná výstavba ZEVO vede k omezení emisí skleníkových plynů** a přínos projektu z hlediska emisí je tak pozitivní.

8. Zdroje

- [1] "Zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech a o změně některých dalších zákonů." [Online]. Available: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-185>.
- [2] Aplikace ODok, "Návrh zákona o odpadech," 2020. [Online]. Available: <https://apps.odok.cz/veklep-detail?pid=KORNBB3C7RKS>.
- [3] MŽP a EY, "Analýza potenciálu energetického využití odpadů v ČR včetně ekonomického a regionálního vyhodnocení," 2015.
- [4] J. Koloničný, D. Kupka, doc. T. Ochodek, and J. Horák, "Studie energetického využití komunálního odpadu v Moravskoslezském kraji," 2014.
- [5] A. M. Nzioka, H. U. Hwang, M. G. Kim, C. Z. Yan, C. S. Lee, and Y. J. Kim, "Effect of storage conditions on the calorific value of municipal solid waste," *Waste Manag. Res.*, vol. 35, no. 8, pp. 863–873, 2017.
- [6] A. K. Panda, R. K. Singh, and D. K. Mishra, "Thermolysis of waste plastics to liquid fuel. A suitable method for plastic waste management and manufacture of value added products-A world prospective," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, no. 1, pp. 233–248, 2010.
- [7] V. V. Bukhmirov, O. B. Kolibaba, and R. N. Gabitov, "Experimental research of solid waste drying in the process of thermal processing," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 93, no. 1, pp. 1–5, 2015.
- [8] Sev.en Commodities, "Katalog mosteckého hnědého uhlí, platný od 1. 1. 2019 do odvolání," 2019. [Online]. Available: <http://www.7energy.com/files/katalog-uhli2019.pdf>.
- [9] MŽP a EY, "Analýza přechodu komunálního odpadu (skupina 20 Katalogu odpadů) na palivo z odpadu," 2016.
- [10] H. D. Beyene, A. A. Werkneh, and T. G. Ambaye, "Current updates on waste to energy (WtE) technologies: a review," *Renew. Energy Focus*, vol. 24, no. 00, pp. 1–11, 2018.
- [11] Kateřina Heralová, "Bakalářská práce – Pyrolýzní zpracování odpadů," Mendelova univerzita v Brně, Brno, 2015.
- [12] A. Kumar and S. R. Samadder, "A review on technological options of waste to energy for effective management of municipal solid waste," *Waste Manag.*, vol. 69, pp. 407–422, 2017.
- [13] J. Li, P. Shrivastava, Z. Gao, and H. Zhang, "Printed Circuit Board Recycling: A State-of-the-Art Survey," *IEEE Trans. Electron. Packag. Manuf.*, vol. 27, no. 1, pp. 33–42, 2004.
- [14] Pražské služby a.s., "Výroční zpráva," 2017. [Online]. Available: <https://www.psas.cz/upload/files/akcionari/2018/vyrocni-zprava-2017.pdf>.
- [15] TERMIZO a.s., "Základní informace o společnosti." [Online]. Available: <http://tmz.mvv.cz/o-spolecnosti/zakladni-informace/>.
- [16] "ZEVO Plzeň." [Online]. Available: <https://www.zevoplzen.cz/>. [Accessed: 01-May-2020].
- [17] ČEZ a.s., "ZEVO Mělník." [Online]. Available: <https://www.cez.cz/cs/zevo/zevo-melnik.html>.
- [18] oEnergetice.cz, "Článek 'C-Energy chce v Plané postavit ZEVO za téměř miliardu Kč.'"
- [19] Zásobování teplem Vsetín a.s., "ZEVO Vsetín." [Online]. Available: <http://ztv.mvv.cz/zevo-vsetin/>.
- [20] D. R. SCHNEIDER, D. LONČAR, and Ž. BOGDAN, "Cost Analysis of Waste-to-Energy Plant," *Stroj. časopis za Teor. i praksu u Stroj.*, vol. 52, no. 3, pp. 369–378, 2010.

- [21] Evropský parlament, “Prováděcí rozhodnutí Komise (EU) 2019/2010 ze dne 12. listopadu 2019, kterým se stanoví závěry o nejlepších dostupných technikách (BAT) pro spalování odpadu podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/75/EU,” 2019.
- [22] B. Johnke, “Emissions From Waste Incineration,” *Intergov. Panel Clim. Chang.*, pp. 455–468, 1996.
- [23] MPO ČR, “Vyhláška č. 477/2012 Sb. ze dne 20. prosince 2012 o stanovení druhů a parametrů podporovaných obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny, tepla nebo biometanu a o stanovení a uchovávání dokumentů.”
- [24] “SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2003/87/ES o vytvoření systému pro obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů.”
- [25] J. Qin, R. Zhao, T. Chen, Z. Zi, and J. Wu, “Co-combustion of municipal solid waste and coal gangue in a circulating fluidized bed combustor,” *Int. J. Coal Sci. Technol.*, vol. 6, no. 2, pp. 218–224, 2019.
- [26] M. Muthuraman, T. Namioka, and K. Yoshikawa, “A comparison of co-combustion characteristics of coal with wood and hydrothermally treated municipal solid waste,” *Bioresour. Technol.*, vol. 101, no. 7, pp. 2477–2482, 2010.
- [27] MPO ČR, “Statistika energetického využívání odpadů a alternativních paliv 1989–2018,” 2019.
- [28] R. Miandad, M. A. Barakat, A. S. Aburizaiza, M. Rehan, I. M. I. Ismail, and A. S. Nizami, “Effect of plastic waste types on pyrolysis liquid oil,” *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, vol. 119, pp. 239–252, 2017.
- [29] C. G. Jung and A. Fontana, “Slow Pyrolysis vs Gasification mass and energy balances.pdf,” vol. 32, no. 0, 2007.
- [30] S. Bezergianni, A. Dimitriadis, G. C. Fausson, and D. Karonis, “Alternative diesel from waste plastics,” *Energies*, vol. 10, no. 11, pp. 1–12, 2017.
- [31] P. A. Owusu, N. Banadda, and N. Kiggundu, “Mass Balance of Plastic Waste Conversion to Fuel Oil- A case in Uganda,” *J. Sustain. Dev.*, vol. 10, no. 6, p. 41, 2017.
- [32] M. Z. H. Khan, M. Sultana, M. R. Al-Mamun, and M. R. Hasan, “Pyrolytic Waste Plastic Oil and Its Diesel Blend: Fuel Characterization,” *J. Environ. Public Health*, vol. 2016, 2016.
- [33] V. Martynek, “Bakalářská práce – Počítačový model tepelného okruhu kogenerační jednotky, VUT v Brně, 2011.
- [34] OMV, “Článek,” 2018. [Online]. Available: <https://www.omv.com/en/news/omv-transforms-plastic-waste-into-crude-oil>.
- [35] VŠB Centrum ENET, “Pyrolýzní jednotka s indukčním ohřevem.” [Online]. Available: <http://cenet.vsb.cz/cz/sluzby/technologicke-centrum-ostava/projekty/232/pyrolyzni-jednotka-s-indukcnim-ohrevem.html>.
- [36] E. T. de F. Ferreira and J. A. P. Balestieri, “Comparative analysis of waste-to-energy alternatives for a low-capacity power plant in Brazil,” *Waste Manag. Res.*, vol. 36, no. 3, pp. 247–258, 2018.
- [37] A. Sanlisoy and M. O. Carpinlioglu, “A review on plasma gasification for solid waste disposal,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 2, pp. 1361–1365, 2017.
- [38] A. Ramos, E. Monteiro, V. Silva, and A. Rouboa, “Co-gasification and recent developments on waste-to-energy conversion: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 81, no. March 2017, pp. 380–398, 2018.

- [39] IEA Bioenergy, "Gasification of waste for energy carriers: A review," 2018. [Online]. Available: <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2019/01/IEA-Bioenergy-Task-33-Gasification-of-waste-for-energy-carriers-20181205-1.pdf>.
- [40] "EFG Rapotín." [Online]. Available: www.efg-rapotin.cz.
- [41] "Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší." [Online]. Available: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201>.
- [42] "Zákon č. 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie." [Online]. Available: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-165>.
- [43] MŽP ČR, "Vyhláška č. 383/2001 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady." .
- [44] "Nařízení vlády č. 352/2014 Sb. o Plánu odpadového hospodářství České republiky pro období 2015–2024." [Online]. Available: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2014-352>.
- [45] "SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2018/850 ze dne 30. května 2018 kterou se mění směrnice 1999/31/ES o skládkách odpadů."
- [46] "SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (ES) č. 98/2008 ze dne 19. listopadu 2008 o odpadech a o zrušení některých směrnic."
- [47] "SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2018/851 ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 2008/98/ES o odpadech," 2018.
- [48] "SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2018/852 ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 94/62/ES o obalech a obalových odpadech."
- [49] "Zákon č. 100/2001 Sb. o posuzování vlivů na životní prostředí." [Online]. Available: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-100>.
- [50] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD, "Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 8/2019 ze dne 20. prosince 2019, kterým se mění cenové rozhodnutí ERÚ č. 3/2019 ze dne 26. září 2019, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie," 2019.
- [51] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD, "Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 3/2019 ze dne 26. září 2019, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie," pp. 1–15, 2019.
- [52] Český statistický úřad, "PRODUKCE, VYUŽITÍ A ODSTRANĚNÍ ODPADŮ za období 2018," Praha, 2019.
- [53] MŽP ČR, "Souhrnná data o odpadovém hospodářství ČR v letech 2009 - 2018," 2019.
- [54] Český statistický úřad, "Článek 'Evropskou statistiku o odpadech tvoří ČSÚ,'" 2015. [Online]. Available: <https://www.czso.cz/csu/czso/evropskou-statistiku-o-odpadech-tvori-csu>.
- [55] MŽP ČR, "Plán odpadového hospodářství České republiky pro období 2015 - 2024," 2014.
- [56] Eurostat, "Municipal waste by waste management operations." [Online]. Available: <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>. [Accessed: 06-Apr-2020].
- [57] Eurostat, "Energy statistics - an overview." [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview#Energy_intensity.
- [58] MŽP ČR, "Informační Systém Odpadového Hospodářství." [Online]. Available: <https://isoh.mzp.cz/VISOH/>.
- [59] Teplárna Varnsdorf a.s., "Výroční zpráva 2017," 2017.

- [60] ITES s.r.o., "Studie udržitelného rozvoje systému zásobování města Varnsdorf," 2017. [Online]. Available: https://www.varnsdorf.cz/files/zm_materialy/xxx_zm_2017/xxx_zm_2017_3_01.pdf.
- [61] TERMIZO a.s., "Popis technologie." [Online]. Available: <http://tmz.mvv.cz/technologie/technologie/>.
- [62] J. GREGOR, "Komplexní přístup k modelování dopravních nákladů při energetickém využití odpadů," VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2014.
- [63] Envimat, "Výpočet emisí na základě spotřeby." [Online]. Available: <http://www.envimat.cz/metodika/kalkulacka/?calc-consumption=47&palivo=on>.
- [64] Haokai Zhao, "Methane Emissions from Landfills," Columbia University, 2019.
- [65] MPO ČR, "Výpočet úspor emisí oxidu uhličitého (CO₂)." [Online]. Available: <https://www.mpo.cz/dokument6794.html>.
- [66] TERMIZO a.s., "Výroční zpráva 2017/18," 2018.
- [67] A. Damodaran, "Damodaran Online Data Sets." [Online]. Available: http://people.stern.nyu.edu/adamodar/New_Home_Page/data.html. [Accessed: 22-Mar-2020].
- [68] "Prognóza ČNB z února 2020." [Online]. Available: <https://www.cnb.cz/cs/menova-politika/prognoza/>. [Accessed: 14-Apr-2020].
- [69] SAKO Brno a.s., "Nový ceník odpadů," 2020. [Online]. Available: <https://www.sako.cz/novinka/cz/1205/novy-cenik-odpadu/>. [Accessed: 01-May-2020].
- [70] Pražské služby a.s., "Ceník energetického využití odpadu," 2020. [Online]. Available: <https://www.psas.cz/cenik-energetickeho-vyuziti-odpadu/>. [Accessed: 02-May-2020].
- [71] PXE, "Kontrakty futures na elektrickou energii." [Online]. Available: <https://www.pxe.cz/On-Line/Futures/>. [Accessed: 16-Apr-2020].
- [72] "Teplárna Varnsdorf." [Online]. Available: <https://teplarna-varnsdorf.cz/>.
- [73] R. Šomplák, T. Ferdan, M. Pavlas, and P. Popela, "Waste-to-energy facility planning under uncertain circumstances," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 61, no. 1, pp. 106–114, 2013.
- [74] MF ČR, "Makroekonomické predikce a průzkumy Ministerstva financí v roce 2020." [Online]. Available: <https://www.mfcr.cz/cs/verejny-sektor/makroekonomika/makroekonomicka-predikce/2020>.
- [75] A. F. Sandvall, E. O. Ahlgren, and T. Ekvall, "Cost-efficiency of urban heating strategies – Modelling scale effects of low-energy building heat supply," *Energy Strateg. Rev.*, vol. 18, pp. 212–223, 2017.
- [76] kurzy.cz, "Vývoj ceny elektřiny - PXE." [Online]. Available: <https://www.kurzy.cz/komodity/cena-elektriny-graf-vyvoje-ceny>.
- [77] Český statistický úřad, "Mzdy, náklady práce - časové řady." [Online]. Available: https://www.czso.cz/csu/czso/pmz_cr. [Accessed: 29-Apr-2020].
- [78] KPMG, "Corporate tax rates table." [Online]. Available: <https://home.kpmg/xx/en/home/services/tax/tax-tools-and-resources/tax-rates-online/corporate-tax-rates-table.html>. [Accessed: 01-May-2020].
- [79] EEX, "Market Data - Environmental Markets." [Online]. Available: <https://www.eex.com/en/market-data/environmental-markets>.

9. Seznamy

9.1. Seznam grafů

Graf 4-1 <i>Nakládání s komunálním odpadem v ČR podle ČSÚ</i>	20
Graf 4-2 <i>Nakládání s komunálním odpadem v ČR podle MŽP</i>	21
Graf 4-3 <i>Skladba komunálního odpadu</i>	21
Graf 4-4 <i>Produkce KO per capita</i>	22
Graf 4-5 <i>Nakládání s KO podle druhu</i>	22
Graf 4-6 <i>Srovnání požadavků legislativy EU a současného stavu</i>	23
Graf 4-7 <i>Prognóza nakládání s SKO</i>	24
Graf 4-8 <i>Prognóza nakládání s SKO</i>	24
Graf 5-1 <i>Vývoj nakládání s odpady v EU</i>	25
Graf 5-2 <i>Vybrané země Evropy seřazené podle míry energetického využití KO</i>	26
Graf 6-1 <i>Bilance výroby tepla a poptávky po teple – varianta 1</i>	29
Graf 6-2 <i>Výroba elektřiny – varianta 1</i>	29
Graf 6-3 <i>Bilance výroby tepla a poptávky po teple – varianta 2</i>	30
Graf 6-4 <i>Výroba elektřiny – varianta 2</i>	30
Graf 6-5 <i>Struktura výnosů navrženého ZEVO</i>	38
Graf 6-6 <i>Struktura nákladů navrženého ZEVO</i>	38
Graf 6-7 <i>Závislost minimální ceny tepla na výši poplatku za odpad – základní scénář</i>	39
Graf 6-8 <i>Závislost minimální ceny tepla na výši poplatku za odpad při zachování původní výše poplatku skládkovacího</i>	40
Graf 6-9 <i>Vliv výše investice</i>	42
Graf 6-10 <i>Vliv případné ekologizace</i>	42
Graf 6-11 <i>Vliv výše diskontu</i>	43
Graf 6-12 <i>Vliv ceny elektřiny</i>	44
Graf 6-13 <i>Vliv vývoje ceny elektřiny</i>	44
Graf 6-14 <i>Vliv výše nájmu tepelné sítě</i>	45
Graf 6-15 <i>Vliv reálné doby provozu ZEVO</i>	45
Graf 6-16 <i>Vliv ročního růstu mezd</i>	46
Graf 6-17 <i>Vliv výše korporátní daně</i>	46
Graf 6-18 <i>Vliv případného zahrnutí malého ZEVO do systému EU ETS</i>	47

9.2. Seznam tabulek

Tabulka 2-1 <i>Přehled technologií</i>	2
Tabulka 2-2 <i>Přehled ZEVO v ČR</i>	5
Tabulka 6-1 <i>Produkce odpadu na území regionu</i>	27
Tabulka 6-2 <i>Spotřeba tepla v průběhu roku</i>	28
Tabulka 6-3 <i>Vypočtené úspory při energetickém využití lokálního odpadu:</i>	32
Tabulka 6-4 <i>Výpočet emisí z původní výtopny:</i>	33
Tabulka 6-5 <i>Shrnutí hodnot ve výpočtu emisí ze ZEVO:</i>	33
Tabulka 6-6 <i>Bilance ročních emisí skleníkových plynů:</i>	34
Tabulka 6-7 <i>Závislost IRR projektu na poplatku za odpad (gate fee) a ceně tepla</i>	40
Tabulka 6-8 <i>Vliv navýšení vybraných parametrů o 10 % proti základnímu scénáři</i>	41
Tabulka 6-9 <i>Vliv poklesu vybraných parametrů o 10 % proti základnímu scénáři</i>	41

9.3. Seznam obrázků

Obrázek 2-1 <i>Diagram procesu spalování</i>	4
Obrázek 2-2 <i>Příklad modulárního systému ZEVO</i>	5
Obrázek 2-3 <i>Základní schéma provedení ZEVO včetně čištění spalin</i>	6
Obrázek 2-4 <i>Zařízení pro produkci TAP (technologie MBÚ), schéma materiálových toků</i>	8
Obrázek 2-5 <i>Diagram procesu pyrolýzy SKO</i>	8
Obrázek 2-6 <i>Schéma využití syntézního plynu v paroplynovém cyklu</i>	10
Obrázek 2-7 <i>Schéma typické skládky se zpracováním skládkového plynu</i>	12
Obrázek 6-1 <i>Zjednodušené schéma tepelného oběhu</i>	28
Obrázek 6-2 <i>Schéma dopadů výstavby ZEVO na hospodaření s odpady z regionu</i>	31

10. Přílohy

10.1. Výňatek v cenových rozhodnutí ERÚ platných pro rok 2020 [50], [51]

Roční zelené bonusy na **elektřinu** pro výrobu elektřiny spalováním komunálního odpadu, ostatních **druhotných zdrojů** a při využití odpadního tepla:

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Zelené bonusy [Kč/MWh]
		od (včetně)	do (včetně)	
a	b	c	m	
653	Výroba elektřiny spalováním komunálního odpadu	-	31.12.2012	45
654	Výroba elektřiny spalováním ostatních druhotných zdrojů	-	31.12.2012	45
656	Výroba elektřiny při využití odpadního tepla	1.1.2013	31.12.2020	45

Výkupní ceny a roční zelené bonusy na elektřinu pro výrobu **elektřiny z biomasy**:

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Kategorie biomasy a proces využití	Jednotarifní pásmo provozování	
		od (včetně)	do (včetně)		Výkupní ceny [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
a	b	c	k	l	m	
200	Výroba elektřiny společným spalováním biomasy a různých zdrojů energie s výjimkou komunálního odpadu v procesu vysokotépné kombinované výroby elektřiny a tepla	-	31.12.2020	S1	3312*	2 140
201		-	31.12.2020	S2	2142*	970
202		-	31.12.2020	S3	812*	0
203		-	31.12.2020	P1	3582*	2 410
204		-	31.12.2020	P2	2412*	1 240
205		-	31.12.2020	P3	1082*	0
206		-	31.12.2020	DS1	3312*	2 140
207		-	31.12.2020	DS2	2142*	970
208		-	31.12.2020	DS3	812*	0
209		-	31.12.2020	DP1	3582*	2 410
210		-	31.12.2020	DP2	2412*	1 240
211	-	31.12.2020	DP3	1082*	0	
230	Výroba elektřiny spalováním komunálního odpadu nebo společným spalováním komunálního odpadu s různými zdroji energie	1.1.2016	31.12.2020	-	1720*	548
240	Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy	-	31.12.2007	O1	3 900	2 728
241		-	31.12.2007	O2	3 200	2 028
242		-	31.12.2007	O3	2 530	1 358
243	Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy ve stávajících výrobnách	-	31.12.2012	O1	2 830	1 658
244		-	31.12.2012	O2	2 130	958
245		-	31.12.2012	O3	1 460	288
260	Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy v nových výrobnách elektřiny nebo zdrojích	1.1.2008	31.12.2012	O1	4 580	3 408
261		1.1.2008	31.12.2012	O2	3 530	2 358
262		1.1.2008	31.12.2012	O3	2 630	1 458
263		1.1.2013	31.12.2013	O1	3 730	2 558
264		1.1.2013	31.12.2013	O2	2 890	1 718
265		1.1.2013	31.12.2013	O3	2 060	888
266		1.1.2014	31.12.2014	O1	3 335	2 163
267		1.1.2014	31.12.2014	O2	2 320	1 148
268		1.1.2014	31.12.2014	O3	1 310	138
269		1.1.2015	31.12.2020	O1	3 263	2 091
270		1.1.2015	31.12.2020	O2	2 251	1 079
271	1.1.2015	31.12.2020	O3	1 245	73	

* Výkupní cena je pouze informativní a není možné ji nárokovat, viz § 12 odst. 2 zákona č. 165/2012 Sb., ve znění pozdějších předpisů

Základní sazba ročního zeleného bonusu na **elektřinu z KVET** pro výrobu elektřiny s celkovým instalovaným výkonem kogeneračních jednotek do 5 MWe (včetně):

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]		Provozní hodiny kogenerační jednotky [h/rok]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
		od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)		
	a	b	c	f	g	k	m
700		-	31.12.2020	0	200	3 000	1 016
701	Elektřina z KVET s výjimkou elektřiny z KVET vyrobené ve výrobně elektřiny podporované podle bodu (1) a/nebo (2.1.) cenového rozhodnutí a s výjimkou elektřiny z KVET vyrobené ve výrobně elektřiny spalující komunální odpad	-	31.12.2020	0	200	4 400	597
703		-	31.12.2020	200	1 000	3 000	647
704		-	31.12.2020	200	1 000	4 400	280
706		-	31.12.2020	1 000	5 000	3 000	356
707		-	31.12.2020	1 000	5 000	4 400	48
709	Elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny současně podporované podle bodu (1) a/nebo (2.1.) cenového rozhodnutí a elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny spalující komunální odpad	-	31.12.2015	0	5 000	8 400	45

Doplňková sazba k základní sazbě ročního zeleného bonusu za veškerou **elektřinu z KVET**:

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]		Kategorie biomasy a proces využití	Zelené bonusy [Kč/MWh]
		od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)		
	a	b	c	f	g	k	m
770	Výroba elektřiny spalující čistou biomasu	1.1.2013	31.12.2013	0	5 000	O	100
772	Výroba elektřiny spalující (samostatně) plyn ze zplyňování pevné biomasy	1.1.2013	31.12.2015	0	2 500	O	455
774	Výroba elektřiny spalující bioplyn v bioplynové stanici	1.1.2013	31.12.2013	0	2 500	AF	455
777	Výroba elektřiny spalující dūlní plyn	1.1.2013	31.12.2015	0	5 000	-	455
778	Výroba elektřiny spalováním komunálního odpadu nebo společným spalováním komunálního odpadu s různými zdroji energie	-	31.12.2012	0	5 000	-	155
779	Výroba elektřiny spalující (samostatně) plynné palivo s výjimkou OZE a DZ	-	31.12.2020	0	5 000	-	455

10.2. Stanovení ročních CF – základní scénář

(Kč bez DPH)	rok	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
výnosy	příjem odpadu	0	41 600 000	42 473 600	43 365 546	44 276 222	45 206 023	46 155 349	47 124 612	48 114 228	49 124 627	41 796 870	51 209 525	52 284 926			
	prodej tepla	0	27 050 932	27 895 191	28 765 800	29 663 581	30 589 381	31 544 076	32 528 566	33 543 783	34 590 684	34 507 711	36 783 528	37 931 542			
	prodej elektřiny	0	13 080 126	13 488 356	13 909 328	14 343 438	14 791 097	15 252 727	15 728 765	16 219 659	16 725 875	13 591 897	17 786 196	18 341 303			
	prodej šrotu	0	2 434 432	2 485 555	2 537 752	2 591 045	2 645 456	2 701 011	2 757 732	2 815 645	2 874 773	2 445 953	2 996 781	3 059 714			
	mzdy	0	10 653 552	11 207 537	11 790 329	12 403 426	13 048 404	13 726 921	14 440 721	15 191 638	15 981 603	16 812 647	17 686 904	18 606 623			
	nájem, údržba a opravy CZT	0	5 435 349	5 458 472	5 482 316	5 506 905	5 532 261	5 558 409	5 585 372	5 613 177	5 641 850	5 518 418	5 701 909	5 733 351			
	údržba ZEVO	0	14 040 000	14 478 188	14 930 053	15 396 020	15 876 529	16 372 036	16 883 007	17 409 926	17 953 290	18 513 612	19 091 422	19 687 265			
	rezidua	0	10 517 598	11 168 015	11 375 427	12 038 108	12 258 842	12 933 842	13 167 286	13 407 734	13 655 395	11 592 071	14 173 229	14 443 855			
	doprava	0	952 218	969 076	986 289	1 003 863	1 021 807	1 040 127	1 058 832	1 077 930	1 097 428	1 092 434	1 137 663	1 158 416			
	ostatní	0	1 834 560	1 891 817	1 950 860	2 011 747	2 074 533	2 139 279	2 206 046	2 274 897	2 345 896	2 419 112	2 494 612	2 572 469			
náklady	stavby	0	3 070 080	3 070 080	3 070 080	3 070 080	3 070 080	3 070 080	3 070 080	3 070 080	3 070 080	3 070 080	3 070 080	3 070 080			
	technologie	0	8 720 400	8 720 400	8 720 400	8 720 400	8 720 400	8 720 400	8 720 400	8 720 400	8 720 400	8 720 400	8 720 400	8 720 400			
	elektro	0	5 288 400	5 288 400	5 288 400	5 288 400	5 288 400	5 288 400	5 288 400	5 288 400	5 288 400	5 288 400	5 288 400	5 288 400			
	odpisy	0	350 000	350 000	350 000	350 000	350 000	350 000	350 000	350 000	350 000	350 000	350 000	350 000			
	nákl. vůz	0	17 428 880	17 428 880	17 428 880	17 428 880	17 428 880	17 428 880	17 428 880	17 428 880	17 428 880	17 428 880	17 428 880	17 428 880			
	celkem	0	23 303 333	23 740 718	24 634 271	25 085 337	25 991 391	26 453 669	27 369 530	28 289 133	29 211 616	18 965 257	19 010 568	19 010 568			
	EBIT	0	4 427 633	4 510 736	4 680 512	4 766 214	4 938 364	5 026 197	5 200 211	5 374 935	5 550 207	3 603 399	5 601 148	5 776 938			
	daň	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	investice	471 500 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67 981 002	0	0			
	CF -471 500 000	36 304 579	36 658 861	37 382 640	37 748 003	38 481 907	38 856 352	39 598 199	40 343 078	41 090 289	-35 190 263	42 889 144	43 638 567	43 638 567			
DCF	-471 500 000	33 954 900	32 067 202	30 583 917	28 884 056	27 539 867	26 008 082	24 789 216	23 620 954	22 501 354	-18 023 246	20 544 659	19 550 735				
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
53 382 909	54 503 950	55 648 533	56 817 152	58 010 312	59 228 529	60 472 328	61 745 872	63 038 834	64 362 650	65 714 265	67 094 265	68 503 244	69 941 813	71 410 591	72 910 213	74 441 327	76 004 595
39 115 386	40 336 177	41 595 069	42 893 251	44 231 949	45 612 428	47 035 992	48 501 795	50 017 795	51 578 850	53 188 626	54 848 643	56 560 470	58 325 722	60 146 068	62 023 226	63 958 971	65 955 131
18 913 735	19 504 033	20 112 754	20 740 473	21 387 783	22 055 296	22 743 642	18 482 097	24 185 453	24 940 281	25 718 668	26 521 347	27 349 079	28 202 643	29 082 848	29 990 523	30 926 528	31 891 745
3 123 968	3 189 571	3 256 552	3 324 940	3 394 763	3 466 054	3 538 841	3 010 964	3 689 033	3 766 502	3 845 599	3 926 356	4 008 810	4 092 995	4 178 948	4 266 706	4 356 306	4 447 789
19 574 168	20 592 025	21 662 810	22 789 276	23 974 318	25 220 983	26 532 474	27 912 163	29 363 595	30 890 502	32 496 808	34 186 642	35 964 348	37 834 494	39 801 887	41 871 585	44 048 908	46 339 451
5 765 774	5 799 210	5 833 689	5 869 244	5 905 909	5 943 718	5 982 707	5 869 912	6 064 373	6 107 128	6 151 217	6 196 682	6 243 566	6 291 913	6 341 770	6 393 182	6 446 199	6 500 870
20 301 704	20 935 321	21 588 712	22 262 496	22 957 308	23 673 806	24 412 665	25 174 584	25 960 283	26 770 504	27 606 011	28 467 595	29 356 068	30 272 271	31 217 069	32 191 353	33 196 046	34 232 094
14 722 600	15 009 707	15 305 427	15 610 019	15 923 748	16 246 890	16 579 725	14 102 122	17 275 651	17 639 350	18 013 959	18 399 807	18 797 230	19 206 576	19 628 202	20 062 477	20 509 781	20 970 503
1 179 605	1 201 239	1 223 327	1 245 879	1 268 905	1 292 414	1 316 417	1 316 021	1 365 946	1 391 493	1 417 576	1 444 208	1 471 398	1 499 160	1 527 505	1 556 444	1 585 992	1 616 160
2 652 756	2 735 549	2 820 925	2 908 966	2 999 755	3 093 377	3 189 922	3 289 479	3 392 144	3 498 012	3 607 185	3 719 766	3 835 860	3 955 577	4 079 030	4 206 337	4 337 617	4 472 994
3 070 080	3 070 080	3 070 080	3 070 080	3 070 080	3 070 080	3 070 080	3 070 080	3 070 080	3 070 080	3 070 080	3 070 080	3 070 080	3 070 080	3 070 080	3 070 080	3 070 080	3 070 080
8 720 400	8 720 400	8 720 400	8 720 400	8 720 400	8 720 400	8 720 400	8 720 400	8 720 400	8 720 400	8 720 400	8 720 400	8 720 400	8 720 400	8 720 400	8 720 400	8 720 400	8 720 400
6 798 100	6 798 100	6 798 100	6 798 100	6 798 100	6 798 100	6 798 100	6 798 100	6 798 100	6 798 100	6 798 100	6 798 100	6 798 100	6 798 100	6 798 100	6 798 100	6 798 100	6 798 100
421 988	421 988	421 988	421 988	421 988	421 988	421 988	421 988	421 988	421 988	421 988	421 988	421 988	421 988	421 988	421 988	421 988	421 988
19 010 568	19 010 568	19 010 568	19 010 568	19 010 568	19 010 568	19 010 568	19 010 568	19 010 568	19 010 568	19 010 568	19 010 568	19 010 568	19 010 568	19 010 568	19 010 568	19 010 568	19 010 568
31 328 823	32 250 114	33 167 451	34 079 369	34 984 297	35 880 552	36 766 325	23 193 250	36 830 728	37 672 900	38 496 006	39 297 517	40 074 737	40 824 786	41 544 596	42 230 894	42 880 196	-17 912 808
5 952 476	6 127 522	6 301 816	6 475 080	6 647 017	6 817 305	6 985 602	4 406 717	6 997 838	7 157 851	7 314 241	7 466 528	7 614 200	7 756 709	7 893 473	8 023 870	8 147 237	0
0	0	0	0	0	0	0	83 684 492	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44 386 914	45 133 160	45 876 203	46 614 856	47 347 849	48 073 815	48 791 291	-45 887 392	50 511 285	51 193 444	51 860 160	52 509 384	53 138 932	53 746 472	54 329 518	54 885 419	55 411 354	64 167 488
18 598 957	17 687 662	16 815 245	15 980 161	15 180 920	14 416 090	13 684 290	-12 036 892	12 392 258	11 746 742	11 129 560	10 539 551	9 975 601	9 436 637	8 921 630	8 429 589	7 959 563	8 620 739

10.3. Výpočtový model

Výpočtový model je k práci přiložen v souboru *vypoctovy_model.xlsx*