



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

**INFRASTRUKTURA ODPADOVÉHO
HOSPODÁŘSTVÍ V KONTEXTU EVROPSKÉ
LEGISLATIVY**

WASTE MANAGEMENT INFRASTRUCTURE IN THE CONTEXT OF EUROPEAN LEGISLATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

David Arlet

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Pluskal

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav procesního inženýrství
Student:	David Arlet
Studijní program:	Základy strojního inženýrství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Jaroslav Pluskal
Akademický rok:	2022/23

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Infrastruktura odpadového hospodářství v kontextu evropské legislativy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Infrastruktura odpadového hospodářství čelí legislativním nařízením při přechodu na koncept oběhového hospodářství. Platná legislativa se však v jednotlivých členských státech liší a je žádoucí provést srovnání s nařízením EU. Tyto informace mohou pomoci při zařazování nových zařízení, kdy spolu s implementací automatizovaných procesů může zvýšit efektivitu zpracovatelského řetězce a rozšířit portfolio materiálů využitelných odpadů. Investiční náklady takových projektů však značně převyšují výdaje na současnou infrastrukturu. Je tak žádoucí kriticky posoudit a vyhodnotit udržitelnost zařízení v dlouhodobém horizontu, aby bylo možné řádně reagovat na nastavené trendy v této oblasti. Hlavní náplní práce je identifikovat v rámci rešerše ta zařízení a technologie, která mohou významně pomoci při přechodu na oběhové hospodářství a vyhodnotit jejich přínos z pohledu plnění ambiciózních cílů. Součástí výstupů bude také porovnání legislativy ve vybraných členských státech EU.

Cíle bakalářské práce:

- Seznámení se konceptem oběhového hospodářství.
- Porovnání odpadové legislativy ČR s vybranými státy v EU.
- Analýza současných zařízení a nových technologií ke zpracování odpadu.
- Srovnání a diskuze analyzovaných způsobů zpracování odpadu.

Seznam doporučené literatury:

ANDĚL, Jiří. Základy matematické statistiky. Vyd. 3. Praha: Matfyzpress, 2011. ISBN 80-7378-162-x.

GALLAUD, Delphine. Circular economy, industrial ecology and short supply chain. Hoboken, NJ: Wiley, 2016. Innovation, entrepreneurship and management series, volume 4. ISBN 978-1-84821-879-6.

KISLINGEROVÁ, Eva. Cirkulární ekonomie a ekonomika: společenské paradigma, postavení, budoucnost a praktické souvislosti. Praha: Grada Publishing, 2021. Expert (Grada). ISBN 978-80-271-3230-0.

Zákon č. 541/2020 Sb. o odpadech. Účinnost od 01.01.2021.

ISOH, Informační systém odpadového hospodářství. Dostupné z: <https://www.cenia.cz/odpadove-a-obehove-hospodarstvi/isoh/>

Waste treatment facilities: Economic and technical assessment

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlínka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je vyhodnotit přínos zařízení a technologií ke zpracování odpadu, které budou hrát roli při přechodu na oběhové hospodářství. V úvodu práce je představen koncept oběhového hospodářství, seznámení s evropskou legislativou týkající se odpadového hospodářství, uvedení plánu odpadového hospodářství ČR společně s metodikou pro vykazování dílčích výsledků a srovnání kritických výsledků s vybranými státy EU. Jádrem práce představuje vytvořený přehled aktuální zpracovatelské infrastruktury a potenciálně zajímavých nových technologií, které mohou pomoci v přechodu na cirkulární ekonomiku a dosáhnout tak ambiciózních cílů Evropské unie. Výstupy práce mohou napomoci při směřování budoucího vývoje odpadového hospodářství a poskytnout tak ucelený vhled do problematiky zpracování odpadu, jehož cíle jsou řízeny zejména evropskou legislativou v kontextu nastavených ekologických milníků.

Klíčová slova

Odpadového hospodářství ČR, oběhové hospodářství, recyklace, komunální odpad

ABSTRACT

This bachelor's thesis aims to evaluate the contribution of waste management infrastructure and technologies that will play a part in the transition to circular economy. The introduction consists of the concept of circular economy and the European legislation on waste management. Furthermore it presents the waste management plan of the Czech Republic together with the methodology for reporting partial results and comparison of critical results with selected EU countries. The core of the thesis is an overview of the current processing infrastructure and potentially interesting new technologies that could help in the transition to a circular economy and thus achieve the ambitious objectives of the European Union. The outputs of the thesis can help to guide the future development of the waste management sector and thus provide a comprehensive insight into waste treatment issues, the objectives of which are mainly driven by European legislation in the context of set environmental milestones.

Key words

Czech waste management, circular economy, recycling, municipal waste

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ARLET, David. *Infrastruktura odpadového hospodářství v kontextu evropské legislativy*. Brno, 2023. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/149632>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního inženýrství. Vedoucí práce Jaroslav Pluskal.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Infrastruktura odpadového hospodářství v kontextu evropské legislativy vypracoval samostatně pod vedením vedoucího a s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 26. 5. 2023

David Arlet

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Jaroslavu Pluskalovi za odborné vedení, konzultace, velkou míru trpělivosti a poskytnutí motivace v těch nejtěžších chvílích. Dále bych chtěl poděkovat rodině za podporu během studia.

OBSAH

ÚVOD	10
1 Oběhové hospodářství	11
1.1 Popis myšlenky, přínosy	11
1.2 Vyhodnocení vývoje odpadového hospodářství v ČR	12
1.3 Cíle a legislativa Evropské unie	13
1.3.1 Revidovaná směrnice 2018/851 o odpadech.....	14
1.3.2 Revidovaná směrnice 2018/852 o obalech a obalových odpadech.....	14
1.3.3 Revidovaná směrnice 2018/850 o skládkách odpadů	14
1.3.4 Směrnice 2019/904 o omezení dopadu některých plastových výrobků na životní prostředí.....	14
1.4 Zákony a odpadové hospodářství ČR.....	15
1.5 Metodika indikátorů OH [18]	15
1.5.1 Definice základních indikátorů pro komunální odpady (I.1 až I.18).....	15
1.5.2 Definice doplňkových indikátorů	18
1.5.3 Definice specifických indikátorů (I.23 až I.35)	18
1.5.4 Katalog odpadů	18
1.6 Srovnání odpadového hospodářství ČR s vybranými státy EU.....	19
2 Aktuální zpracovatelská infrastruktura.....	22
2.1 Skládky	22
2.2 Spalovny	23
2.3 Třídící linky (Dotřídňovací linky).....	25
2.4 Bioplynové stanice	25
2.5 Kompostárny	26
2.6 Mechanicko-biologická úprava odpadů (MBÚ).....	27
2.7 Shrnutí a vyhodnocení	27
3 Nové technologie a trendy pro zpracování odpadu	29
3.1 Chemická recyklace.....	29
3.1.1 Plazmové zplyňování	30
3.1.2 Pyrolýza	30
3.2 Automatické třídící systémy	31
3.2.1 Balistický separátor.....	31
3.2.2 Magnetické separátory	31
3.2.3 Indukční separátory	31
3.2.4 Optické separátory	31
4 Srovnání a diskuse analyzovaných způsobů zpracování odpadů	32
4.1 Zvýšení recyklace komunálního odpadu	32
4.2 Snížení skládkování komunálního odpadu	33
5 Závěr.....	34
6 Seznam použitých zdrojů.....	35
7 Seznam obrázků.....	40
8 Seznam tabulek.....	41
9 Seznam zkratk.....	42

ÚVOD

V dnešním světě se problematika odpadů stala naléhavým problémem, který vyžaduje okamžitou pozornost. Neustále rostoucí produkce odpadů, znečišťování životního prostředí a klimatická změna. To všechno jsou důvody k zamyšlení pro změnu současných postupů a nacházení udržitelných řešení.

Evropská unie reaguje na tuto problematiku konceptem cirkulárního odpadového hospodářství, který má být alternativou pro stávající lineární ekonomiku. Tato práce se zabývá seznámením s klíčovými myšlenkami, které oběhové hospodářství představuje. Pro rychlejší přechod na tento ekonomický model nastavuje Evropská unie ve své legislativě nové cíle v oblasti odpadového hospodářství. Jde především o zvýšení míry recyklace a omezení skládkování. Členské státy jsou zavázány plnit tyto cíle, a proto je nutné analyzovat současnou situaci naší země a zhodnotit možné kroky k jejich dosažení.

Práce se zaměřuje na stávající odpadovou zpracovatelskou infrastrukturu. V první řadě je nutné seznámení s českou odpadovou legislativou a metodikou vyhodnocování pro plnění daných cílů. Následně je uvedeno srovnání výsledků ČR s vybranými evropskými státy. Jedná se o zhodnocení hlavních ukazatelů vzhledem k současnému stavu v oblasti recyklace, skládkování a energetického využívání. Jedná se o přehled zařízení využívaných u nás pro recyklaci, energetické využití a odstraňování odpadu. Rovněž jsou zmíněny také vznikající nové a inovativní technologie pro zpracování odpadu. Tato zařízení nabízejí zajímavé možnosti, jak snížit produkci odpadů, maximalizovat navrácení surovin do oběhu, a naopak minimalizovat škody životnímu prostředí.

Aby bylo možné dosáhnout nastavených cílů, zejména zvýšení recyklace a snížení skládkování, je třeba na základě analyzovaných současných a nových technologií a metod, zjištěných poznatků o oběhovém hospodářství v porovnání s jinými státy určit vhodné postupy a řešení.

1 Oběhové hospodářství

V této části se práce zabývá seznámením s konceptem cirkulární ekonomiky a jeho aplikací v oblasti odpadového hospodářství. Evropská unie ve snaze řešit problémy s klimatem a konečným množstvím nerostných surovin zakládá právě na cirkulární ekonomice. Pro budoucí ekonomický rozvoj je nutné vytvořit udržitelný a ekologický systém hospodaření s odpadem a pomyslné „uzavírání smyčky“ se v současnosti jeví jako nejvhodnější řešení.

Jeden z prvních zastánců udržitelné ekonomiky 20. století Kenneth E. Boulding popisuje ve své eseji [1] myšlenku, že planeta Země je vlastně vesmírná loď, která má omezené zdroje. Ve svém díle zavádí a popisuje a srovnává dva typy ekonomiky: otevřená a uzavřená. Otevřená ekonomika (v díle též zvaná kovbojská ekonomika) je neohospodárná a pohlíží na zdroje jako neomezené. V kovbojské ekonomice značí měřítko úspěchu maximalizace produkce a spotřeby bez ohledu na dlouhodobou udržitelnost. Naopak uzavřená ekonomika (též astronautská ekonomika) upřednostňuje zachování přírody, minimalizaci spotřeby omezených přírodních zdrojů a zajištění budoucnosti pro potomstvo. [1]

1.1 Popis myšlenky, přínosy

Koncept cirkulární ekonomiky (též oběhového hospodářství) je model produkce a spotřeby, spočívající v první řadě v předcházení vzniku odpadu a navrácení produktů zpět do oběhu například skrze: sdílení, pronajímání, opětovném používání a opravování. Tímto dojde k prodloužení životního cyklu produktů a minimalizaci vzniklého odpadu, a tedy také k zachování, nebo dokonce zlepšení životního prostředí. Pokud by se již výrobek nedal opravit přecházíme k recyklování, případně k energetickému využití. Hlavním cílem je navrácení použitých materiálů a surovin zpátky do oběhu v ideálním případě jako druhotné suroviny, anebo alespoň jako energii. Koncept je výstižně vizualizován na Obrázku 1. [2]



Obrázek 1: Schéma oběhového hospodářství [2]

Opakem je ekonomika lineární, která funguje na principu vytěžit-vyrobít-prodat-spotřebovat a odhodit na skládku. Přechod z lineárního modelu na cirkulární model podporuje EU pomocí pravidel a regulací. [3] Ve směrnici vydané v roce 2018 nařizuje do roku 2035 zvýšit recyklaci komunálního odpadu na 65 % z jeho celkové hmotnosti. Pro splnění nastavených cílů vyšel v ČR zákon č. 541/2020 Sb. o odpadech s platností od 01.01.2021.

Ekologické nakládání se surovinami by mohl být velký přínos pro evropskou ekonomiku. Nerostných surovin má Evropa nedostatek a musí je dovážet, tudíž by oběhové hospodářství mohlo být ideální příležitostí pro zachování surovin v oběhu. Zároveň by zavedení cirkulární ekonomiky mohlo omezit spotřebu neobnovitelných zdrojů (ropa, zemní plyn, atp.).

1.2 Vyhodnocení vývoje odpadového hospodářství v ČR

V České republice má produkce odpadu v posledních letech stoupající trend, přestože populace víceméně stagnuje, tudíž produkce komunálního odpadu na obyvatele také roste (viz Tabulka 1). V roce 2021 jsme vyprodukovali 39,9 mil. tun odpadů, z toho 14,8 % tvořil komunální odpad. [4] Avšak právě komunální odpad je jedním z hlavních problémů, protože až 48 % z celkového množství vyprodukovaného komunálního odpadu zamířilo na skládky (Tabulka 2).

Rok	Produkce komunálních odpadů [tis. tun]	Produkce všech odpadů [tis. tun]	Počet obyvatel [tis. osob]	Celková produkce komunálních odpadů na obyvatele [kg/obyv.]
2009	5324	32267	10491	507
2010	5362	31811	10517	510
2011	5388	30672	10495	513
2012	5193	30023	10509	494
2013	5168	30621	10510	492
2014	5324	32028	10524	506
2015	5274	37338	10542	500
2016	5612	34242	10565	531
2017	5691	34513	10589	537
2018	5782	37785	10626	544
2019	5879	37362	10669	551
2020	5730	38504	10700	535
2021	5904	39897	10500	562

Tabulka 1: Produkce odpadů v ČR (2009-2021)
zdroj dat o produkci odpadu [5], zdroj dat o počtu obyvatel (střední stav) [6]

Komunální odpady	Produkce	Využito	Materiálově využito	Energeticky využito	Odstraněno (skládkování)	Jiné nakládání
Rok 2009	5,3 mil. tun	29 %	23 %	6 %	64 %	7 %
Rok 2010	5,4 mil. tun	33 %	24 %	9 %	59 %	8 %
Rok 2011	5,4 mil. tun	42 %	31 %	11 %	55 %	3 %
Rok 2012	5,2 mil. tun	42 %	30 %	12 %	54 %	4 %
Rok 2013	5,2 mil. tun	42 %	30 %	12 %	52 %	6 %
Rok 2014	5,3 mil. tun	47 %	35 %	12 %	48 %	5 %
Rok 2015	5,3 mil. tun	47 %	36 %	11 %	47 %	6 %
Rok 2016	5,6 mil. tun	50 %	38 %	12 %	45 %	5 %
Rok 2017	5,7 mil. tun	50 %	38 %	12 %	45 %	5 %
Rok 2018	5,8 mil. tun	51 %	39 %	12 %	46 %	3 %
Rok 2019	5,9 mil. tun	53 %	41 %	12 %	46 %	1 %
Rok 2020	5,7 mil. tun	51 %	39 %	12 %	48 %	1 %
Rok 2021	5,9 mil. tun	50 %	38 %	12 %	48 %	2 %

Tabulka 2: Produkce a nakládání s komunálními odpady v ČR (2009-2021) zdroj dat: [7]

V současné době je jeden z hlavních problémů nedostatek zpracovatelského průmyslu pro recyklát z vytrízeného odpadu. Odpady se u nás sice relativně třídí, například plastových obalů bylo v roce 2021 vytríženo až 75 % z celkového objemu [8], ovšem problém nastává v následném materiálovém využití po opuštění třídících linek. Na Českém trhu není dost velký odbyt pro výkup recyklátu a výrobu nových produktů z druhotných surovin. Některé firmy dokonce vykupují recyklát ze zahraničí kvůli cenově výhodnějším podmínkám. [9]

Za účelem zvýšení recyklace plastových a kovových obalů – PET láhví a plechovek – se v zahraničí (Německo, Norsko) osvědčil zálohovací systém. V současnosti se o zálohování hodně mluví a uvažuje se o něm i na našem území, nově se například v roce 2022 tento systém zavedl také na Slovensku. Kromě zvýšení recyklace přispívá zálohování také k ochraně životního prostředí a snížení množství odpadu pohozeného ve městech, parcích, silnic, ... Otázkou však je, zda se tento systém vyplatí i u nás. Už teď se u nás recykluje přibližně 80 % PET láhví, tudíž splňujeme stávající cíle EU. V neposlední řadě by to znamenalo vymizení nejcennější komodity ze žlutých kontejnerů a nabízí se otázka, zda by pak třídění plastů ještě mělo vůbec pro svozové společnosti smysl. [10]

I přes veškeré úsilí o recyklaci vzniká při třídění nemalé množství výmětů – čili materiálově nevyužitelného odpadu. Takový odpad je např. silně znečištěný, nebo obsahuje velké množství recyklátu. V takovém případě se přechází k energetickému využití. Z takového odpadu je možné například vytvářet tuhé alternativní palivo (TAP), je to směs nerecyklovatelných plastů, papírů a dalších materiálů. Zařízení – např. cementárny, teplárny – využívající TAP jako palivo musí zajistit čištění spalin a splňovat emisní povolenky. [11]

Pro přímé energetické zpracování směsného komunálního odpadu (SKO) a zbytkového odpadu z dotřídřovacích linek máme v Česku Zařízení pro energetické využití odpadů – ZEVO. Současně existují pouze 4 zařízení a kapacitně nejsou schopny zpracovat veškerý vznikající energeticky využitelný odpad, který pak končí na skládkách. [12] Pro fungování oběhového hospodářství s ohledem na možná rezidua, která není možné materiálově využít, je nutné přizpůsobit infrastrukturu s technologiemi na adekvátní úpravu odpadů.

Pro zpracování biologicky rozložitelných odpadů existuje v ČR 30 bioplynových stanic (BPS). [12] Odpady organického původu uvolňují při rozkladu bez přístupu vzduchu a za přítomnosti mikroorganismů bioplyn, který je využíván k výrobě elektřiny a tepla. Většina BPS u nás zpracovává zemědělské substráty (přes 500). BPS na zpracování odpadu jsou závislé na dostatku vstupních surovin, tudíž je třeba zajistit stálejší přísun organického odpadu.

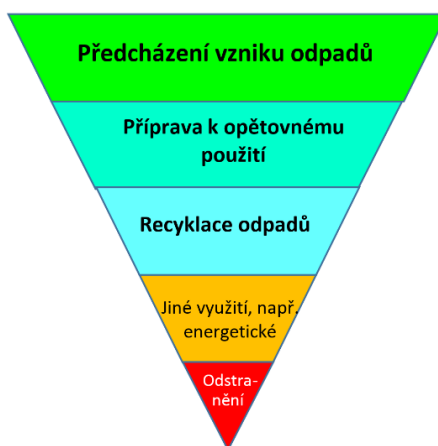
1.3 Cíle a legislativa Evropské unie

Evropská unie chce být do roku 2050 klimaticky neutrální a zajistit udržitelnou budoucnost. V Zelené dohodě pro Evropu (Green Deal) uvádí koncept oběhového hospodářství jako jeden z klíčových principů pro dosažení těchto cílů. Pro podporu tohoto konceptu vydává akční plány (= balíčky). Tyto dokumenty, stejně jako Green Deal mají pouze formu sdělení Komise a nejsou tedy právně závazné. Jsou však předzvěstí budoucích závazných opatření. Závaznými dokumenty jsou například směrnice, které stanovují lhůtu, do které musí členské státy uvést v činnost právní a správní předpisy pro soulad s danou směrnicí. [13]

První balíček s názvem „Uzavření cyklu – akční plán EU pro oběhové hospodářství“ vyšel v roce 2015. Jeho obsahem bylo stanovení strategie v oblasti cirkulární ekonomiky, představení komplexních opatření a podpora k přechodu na tento způsob hospodářství. [14] V rámci tohoto balíčku vyšly v roce 2018 čtyři směrnice o odpadech. Tento balíček v roce 2018 rovněž rozšířil akční plán „Strategie EU pro plasty“, na jehož základě vyšla v roce 2019 směrnice o omezení plastových výrobků na jedno použití.

1.3.1 Revidovaná směrnice 2018/851 o odpadech

Tato směrnice reviduje rámcovou směrnici 2008/98/ES o odpadech, ve které byla zavedena hierarchie způsobů nakládání s odpady (Obrázek 2). V této hierarchii je nejlepším způsobem pro nakládání s odpadem předcházení jeho vzniku, naopak nejhorším řešením je jeho odstranění (skládání, vypouštění odpadů do oceánů, spalování bez energetického využití, ...). V revidované verzi jsou stanoveny nové cíle ve snaze přiblížit Evropu k cirkulární ekonomice. Do roku 2025 je dle platné legislativy povinnost recyklovat minimálně 55 % hmotnosti komunálního odpadu. Do roku 2030 minimálně 60 % a do roku 2035 to bude nejméně 65 %. Mezi další nařízení pro členské státy je zřízení tříděného biologického odpadu a recyklování u zdroje (do 31. prosince 2023) a zřízení odděleného sběru textilního a nebezpečného odpadu (do 1. ledna 2025) [3]



Obrázek 2: Hierarchie nakládání s odpady [15]

1.3.2 Revidovaná směrnice 2018/852 o obalech a obalových odpadech

Revize směrnice 94/62/ES se vztahuje na obaly uváděné na evropský trh. Členské státy by měly podpořit opakovaně použitelné obaly a do konce roku 2024 musí zavést systémy pro rozšířenou zodpovědnost pro výrobce obalů. Těmito kroky by se mohlo dosáhnout nejefektivnějšího řešení, čímž je vlastní předcházení obalových odpadů. Vymezili se cíle, aby do roku 2025 bylo recyklováno alespoň 65 % hmotnosti obalových odpadů a do roku 2030 alespoň 70 %. Přičemž v dokumentu jsou vyjádřeny i konkrétní procentuální hodnoty pro jednotlivé obalové materiály. [16]

1.3.3 Revidovaná směrnice 2018/850 o skládkách odpadů

Revize směrnice 1999/31/ES se stejným názvem, ve které jsou stanoveny pravidla o skládání v EU. Na skládky by neměl být do roku 2030 přijímán recyklovatelný, či jinak využitelný odpad. Dále je nutné zajistit, aby se do roku 2035 snížilo množství skládkovaného komunálního odpadu na nejvýše 10 % z celkové hmotnosti vyprodukovaného komunálního odpadu. [17]

1.3.4 Směrnice 2019/904 o omezení dopadu některých plastových výrobků na životní prostředí

Tato směrnice jedná o snížení spotřeby a zákazu uvádění na trh některých plastů na jedno použití. Mezi zakázané plastové výrobky patří například příbory, talíře, brčka, nápojová míchátko apod. Zároveň se do roku 2025 musí recyklovat alespoň 77 % plastových láhví do tří litrů (včetně jejich uzávěrů) v daném roce podle hmotnosti. Do roku 2029 je limit stanoven na hodnotu alespoň 90 %. Členské země musí rovněž stanovit sankce za porušování přijatých ustanovení na základě této směrnice. [18]

1.4 Zákony a odpadové hospodářství ČR

Česká republika zareagovala na právní předpisy z EU zákonem č. 541/2020 Sb., ve kterém náležitě upravuje: „pravidla pro předcházení vzniku a nakládání s odpadem“, „práva a povinnosti osob v odpadovém hospodářství“ a „působnost orgánů veřejné správy v odpadovém hospodářství.“ [19]

Cíle odpadového hospodářství ČR [19]

1. Zvýšit do roku 2025 úroveň přípravy k opětovnému použití a úroveň recyklace komunálních odpadů nejméně na 55 % celkové hmotnosti komunálních odpadů vyprodukovaných na území České republiky.
2. Zvýšit do roku 2030 úroveň přípravy k opětovnému použití a úroveň recyklace komunálních odpadů nejméně na 60 % celkové hmotnosti komunálních odpadů vyprodukovaných na území České republiky.
3. Zvýšit do roku 2035 úroveň přípravy k opětovnému použití a úroveň recyklace komunálních odpadů nejméně na 65 % celkové hmotnosti komunálních odpadů vyprodukovaných na území České republiky.
4. Odstraňovat uložením na skládku v roce 2035 a v letech následujících nejvýše 10 % z celkové hmotnosti komunálních odpadů vyprodukovaných na území České republiky.
5. Energeticky využívat v roce 2035 a v letech následujících nejvýše 25 % z celkové hmotnosti komunálních odpadů vyprodukovaných na území České republiky; toto množství může být navýšeno o rozdíl mezi množstvím komunálních odpadů, které mohly být uloženy na skládku podle bodu 4, a skutečným množstvím komunálních odpadů uložených na skládku.

Mezi další nařízení, které reagují na evropské směrnice spadá povinnost obcí zajistit od 1. ledna 2025 místa pro soustředěný sběr textilu. Dále budou mít obce povinnost zajistit, aby oddělené recyklovatelné složky komunálního odpadu tvořily od roku 2025 alespoň 60 % z celkové hmotnosti komunálního odpadu. Rovněž od roku 2030 se tento požadavek zvedne na 65 % a od roku 2035 na 70 %.

1.5 Metodika indikátorů OH [20]

Indikátory využíváme ke sledování stavu a vývoje v daných oblastech OH. Vyhodnocují se díky nim aplikované strategie a opatření. Formulují se na základě požadavků platné legislativy a napomáhají také informovat veřejnost o současném stavu OH.

Soustava indikátorů se dělí na 3 skupiny:

- Základní indikátory I.1 až I.18
- Doplnkové indikátory I.19 až I.22
- Specifické indikátory I.23 až I.35

Základní indikátory se vyhodnocují zvlášť pro jednotlivé skupiny opadu: všechny odpady, komunální odpady, nebezpečné odpady a ostatní odpady.

1.5.1 Definice základních indikátorů pro komunální odpady (I.1 až I.18)

Vyhodnocují produkci a nakládání s odpady s katalogovým číslem 20 s výjimkou: 20 02 02 – zemina a kameny, 20 03 04 – kal ze septiků a žump a 20 03 06 – odpad z čištění kanalizace. Data pro výpočty jsou získávány z pracovní databáze PDISOH. Ve výpočtech jednotlivých indikátorů se ve všech vzorcích objevuje proměnná CP_K – celková produkce komunálních odpadů v tunách.

$$CP_K = P_K + CPO_{OB} + CP_{Sbob}$$

Kde:

P_K = Produkce komunálních odpadů. Jedná se o součet všech číselných hodnot množství odpadu s katalogovým číslem „20“ s výjimkou (20 02 02, 20 03 04, 20 03 06) s vykázaným kódem nakládání „A00“ nebo „AN60.“

CPO_{OB} = Číslo představuje celkovou produkci separovaných obalových odpadů obcemi. Spočítá se jako součet všech číselných hodnot množství odpadu podskupiny „15 01“ – obaly (včetně odděleně sbíraného komunálního obalového odpadu) – s vykázaným kódem nakládání „A00“ nebo „AN60.“

CP_{Sbob} = Součet všech hodnot množství odpadu skupiny „20“ s výjimkou (20 02 02, 20 03 04, 20 03 06) vykázaným kódem nakládání „BN30“ od občanů.

Kódy nakládání:

A00 = Produkce odpadu (vlastní vyprodukovaný odpad)

AN60 = Staré zátěže, živelné pohromy, černé skládky apod

BN30 = Převzetí zpětně odebraných některých výrobků nebo zpětně odebraných elektrozařízení

V následující pasáži budou uvedeny základní indikátory pro komunální odpad a jejich výpočetní definice:

I.1_K – Celková produkce komunálních odpadů (1000 t/rok)

Ukazatel pro sledování vývoje produkce komunálního odpadu v jednotce tisíc tun.

$$I.1_K = \frac{CP_K}{1000} (1000 t)$$

I.2_K – Celková produkce komunálních odpadů na jednotku HDP (t/1000 PPS /rok)

Tento ukazatel dává do poměru vznikající hrubý domácí produkt vyjádřený v tisících na paritu kupní síly (PPS) s produkcí komunálních odpadů.

$$I.2_K = \frac{CP_K}{HDP} (t/1000 PPS/rok)$$

I.3_K – Podíl celkové produkce komunálních odpadů na celkové produkci odpadů (%)

Vyjádření procentuálního zastoupení KO na produkci všech odpadů.

$$I.3_K = \frac{CP_K * 100}{CP_V} (\%)$$

Kde:

CP_V = Celková produkce všech odpadů v tunách

I.4_K – Produkce komunálních odpadů na obyvatele (kg/obyv./rok)

Významný ukazatel k porovnání produkci odpadu mezi ČR a jinými státy. Data o středním stavu obyvatelstva se získávají ze Statistické ročenky České republiky nebo na internetových stránkách Českého statistického úřadu.

$$I.4_K = \frac{CP_K * 1000}{střední\ stav\ obyvatelstva} (kg/obyv.)$$

I.5_K – Podíl využitých komunálních odpadů (% z celkové produkce KO)

Indikátor vyhodnocující míru recyklování komunálního odpadu. Pomocí tohoto indikátoru se sleduje plnění cílů ČR v oblasti recyklování.

$$I.5_K = \frac{CVYU\check{Z}_K * 100}{CP_K} \text{ (\% z celkové produkce KO)}$$

Kde:

CVYU\check{Z}_K = Číslo je součtem CPO_{OB} a VYU\check{Z}_K (součet všech komunálních odpadů) u kterých se uvádí nějaký kód využití.

I.6_K – Podíl materiálově využitých komunálních odpadů (% z celkové produkce KO)

$$I.6_K = \frac{CVYU\check{Z}_{MVK} * 100}{CP_K} \text{ (\% z celkové produkce KO)}$$

Kde:

CVYU\check{Z}_{MVK} = Číslo je součtem CPO_{OB} a VYU\check{Z}_{MVK} (součet všech komunálních odpadů), u kterých se uvádí kód materiálového využití.

I.7_K – Podíl energeticky využitých komunálních odpadů (% z celkové produkce KO)

Díky tomuto indikátoru sledujeme míru energetického využití KO. Dle současných výsledků (Tabulka 3) je v této oblasti a na základě cílů odpadového hospodářství (Kapitola 1.4) velký prostor pro zvýšení podílu energetického využití.

$$I.7_K = \frac{CVYU\check{Z}_{EVK} * 100}{CP_K} \text{ (\% z celkové produkce KO)}$$

Kde:

CVYU\check{Z}_{EVK} = Číslo je součtem všech odpadů, u kterých je vykázán kód energetického nakládání.

I.8_K – Podíl komunálních odpadů odstraněných skládkováním (% z celkové produkce KO)

Indikátor vyhodnocující množství odpadů uložených na skládku, pomocí kterého se sleduje plnění cílů v oblasti skládkování. Z výsledků za rok 2021 (Tabulka 3) je vidět, že se v této oblasti, pro dosažení požadovaných cílů (Kapitola 1.4), budou muset provést radikální změny.

$$I.8_K = \frac{SKLAD_K * 100}{CP_K} \text{ (\% z celkové produkce KO)}$$

Kde:

SKLAD_K = Číslo je součtem všech odpadů, u kterých je vykázán kód skládkování.

I.9_K – Podíl komunálních odpadů odstraněných jiným uložením (% z celkové produkce KO)

$$I.9_K = \frac{ULO\check{Z}_K * 100}{CP_K} \text{ (\% z celkové produkce KO)}$$

Kde:

ULO\check{Z}_K = Číslo je součtem všech odpadů, u kterých je vykázán jiného uložení kód.

I.10_K – Podíl komunálních odpadů odstraněných spalováním (% z celkové produkce KO)

Podíl odpadů odstraněných spalováním bez energetického využití.

$$I.10_K = \frac{SPAL_K * 100}{CP_K} \text{ (\% z celkové produkce KO)}$$

Kde:

SPAL_K = Číslo je součtem všech odpadů, u kterých je vykázán kód spalování.

Indikátory I.11 až I. 1.18

Indikátory I.11_K – Podíl komunálních odpadů vyvážených za účelem jejich odstranění – a indikátor I.12_K – Podíl komunálních odpadů dovážených za účelem jejich materiálového využití – se v současnosti nevyhodnocují na základě rozhodnutí MŽP.

Indikátory I.13_K až I.18_K týkající se kapacit zařízení pro nakládání s odpadem se v současné době nevyhodnocují z důvodu vydání vyhlášky č. 83/2016 SB., která novelizuje vyhlášku č. 383/2001 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady. Byl změněn způsob ohlašování a vedení evidence o zařízeních, včetně jejich kapacit. Zařízení tedy nejsou od 21. března 2016 zařazeny pod kódy zařízení, tudíž se tyto indikátory nevyhodnocují. [20]

1.5.2 Definice doplňkových indikátorů

Doplňkové indikátory slouží ke sledování některých toků odpadů základní skupiny. Vyhodnocené indikátory z této skupiny v roce 2021 jsou: I.20 – Podíl nebezpečných odpadů ze zdravotnictví na celkové produkci odpadů ze zdravotnictví (%); I.21 – Produkce odděleného sběru komunálních odpadů a obalů (podskupina 20 01 a 15 01) od obcí (kg/obyvatele/rok).

1.5.3 Definice specifických indikátorů (I.23 až I.35)

Specifické indikátory slouží ke sledování produkce a nakládání s některými konkrétními typy odpadů například autovraky, azbest, odpadní oleje, odpadní baterie a akumulátory.

Indikátory 2021 (Název indikátorů)		jednotka (zkráceně)	samostatně vyhodnotit pro skupiny:			
			všechny	nebezpečné	ostatní	komunální
I.1	Celková produkce odpadů	1000 t/rok	39896,58	1636,74	38259,84	5904,43
I.2	Celková produkce odpadů na jednotku HDP	t/1000 PPS/rok	0,13	0,01	0,12	0,02
I.3	Podíl na celkové produkci odpadů	%	100,00	4,10	95,90	14,80
I.4	Produkce na obyvatele	kg/obyvatele/rok	3799,37	155,87	3643,50	562,28
I.5	Podíl využitých odpadů	%	87,04	37,04	89,18	49,59
I.6	Podíl materiálově využitých odpadů	%	83,60	35,49	85,65	37,52
I.7	Podíl energeticky využitých odpadů	%	3,44	1,56	3,52	12,07
I.8	Podíl odpadů odstraněných skládkováním	%	9,62	5,91	9,77	47,64
I.9	Podíl odpadů odstraněných jiným uložením	%	0,01	0,00	0,01	0,00
I.10	Podíl odpadů odstraněných spalováním	%	0,22	4,96	0,01	0,06
I.20	Podíl nebezpečných odpadů ze zdravotnictví na celkové produkci odpadů ze zdravotnictví	%	83,97			
I.21	Produkce odděleného sběru komunálních odpadů a obalů (podskupina 20 01 a 15 01) od obcí	kg/obyvatele/rok	145,54			
I.23	Podíl stavebních a demoličních odpadů na celkové produkci odpadů	%	57,96			
I.24	Podíl využitých stavebních a demoličních odpadů	%	99,21			
I.25	Podíl stavebních a demoličních odpadů odstraněných skládkováním	%	2,00			
I.27	Celková produkce odpadů s obsahem PCB	t/rok	416,48			
I.28	Celková produkce odpadních olejů	t/rok	30619,05			
I.29	Celková produkce odpadních baterií a akumulátorů	t/rok	38495,52			
I.30	Celková produkce kalů z čištění odpadních vod	t/rok	162274,66			
I.31	Podíl kalů z produkce čištění odpadních vod použitých na zemědělské půdě	%	25,25			
I.32	Celková produkce odpadů azbestu	t/rok	61233,15			
I.33	Celková produkce autovrakov	t/rok	210667,26			

Tabulka 3: Vyhodnocení indikátorů za rok 2021 [21]

1.5.4 Katalog odpadů

Pro kategorizaci odpadů v rámci nového zákona o odpadech vydalo ministerstvo životního prostředí a ministerstvo zdravotnictví vyhlášku č. 8/2021 Sb. – vyhláška o katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů (Katalog odpadů). [22]

Odpady se definují pomocí šesticiferného (někdy osmiciferného) čísla ve formátu XX YY ZZ (WW). Nebezpečné odpady jsou v katalogu na konci kód doplněné o hvězdičku např.: 20 01 19* – pesticidy. Katalogová čísla slouží k přesné identifikaci, dalšímu nakládání a evidenci produkce odpadů.

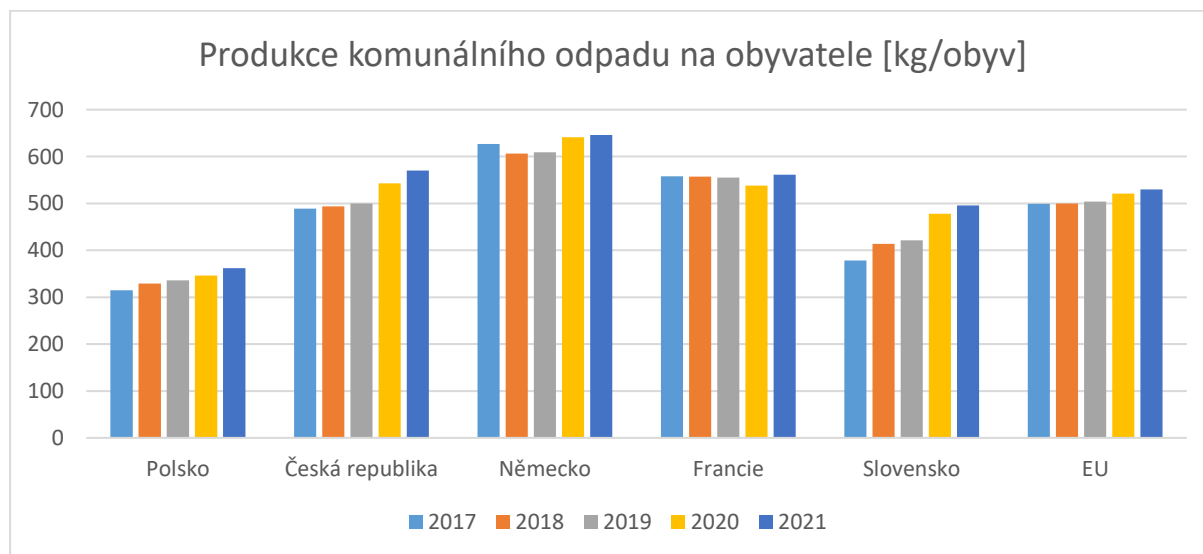
- XX – skupina odpadů
 - odvětví, obor, nebo technologický proces vzniku odpadu
 - Rozděluje odpady na základních 20 skupin
 - Příklad: 20 – Komunální odpady
- YY – podskupina odpadů
 - blíže upřesňující podskupina
 - Příklad: 20 01 – Složky z tříděného odpadu
- ZZ – druh odpadu
 - konkrétní druh nebo typ odpadů
 - Příklad: 20 01 40 – Kovy
- (WW) – ještě více konkretizující
 - Příklad: 20 01 40 02 – Olovo

Pro sledování stavu o produkci a nakládání s odpadem je v ČR zavedený systém ISPOP – Integrovaný systém plnění ohlašovacích povinností. Tento systém provozuje Česká informační agentura životního prostředí (CENIA), která je příspěvkovou organizací Ministerstva životního prostředí. Ekonomické subjekty mají povinnost hlásit vliv své ekonomické činnosti na životní prostředí. Cílem je shromažďování informací a zhodnocení meziročního stavu životního prostředí.

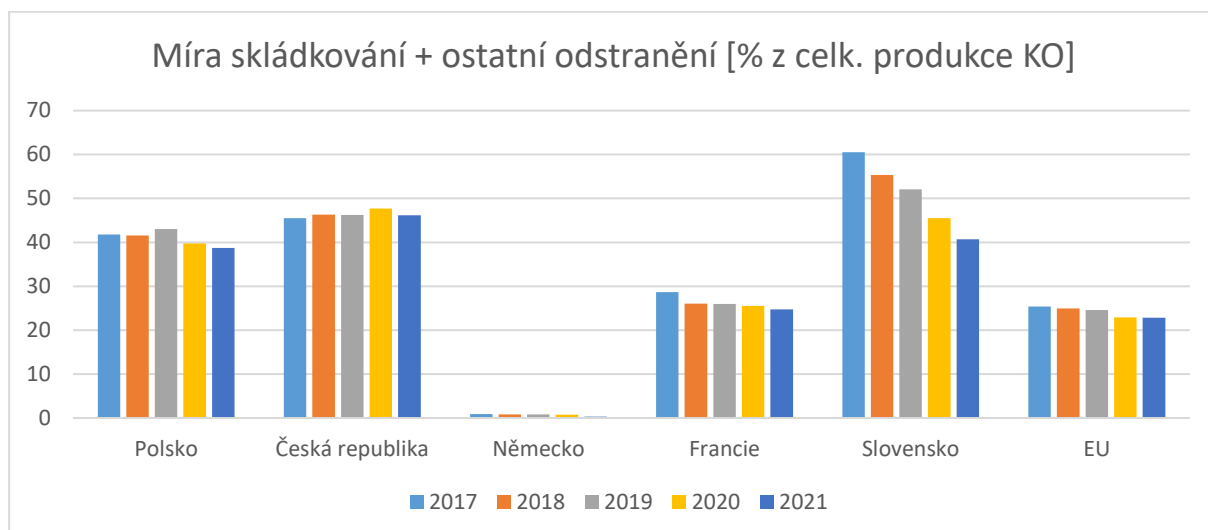
Původci odpadu, kteří produkují nebo nakládají s nebezpečným odpadem v ročním množství větším než 600 kg, nebo 100 tun ostatního odpadu mají povinnost vést průběžnou evidenci a informovat veřejnou správu. Oproti tomu provozovatelé zařízení nakládajících s odpadem mají povinnost zasílání roční hlášení o produkci a nakládání bez ohledu na ročním množství. [23] [24] [19]

1.6 Srovnání odpadového hospodářství ČR s vybranými státy EU

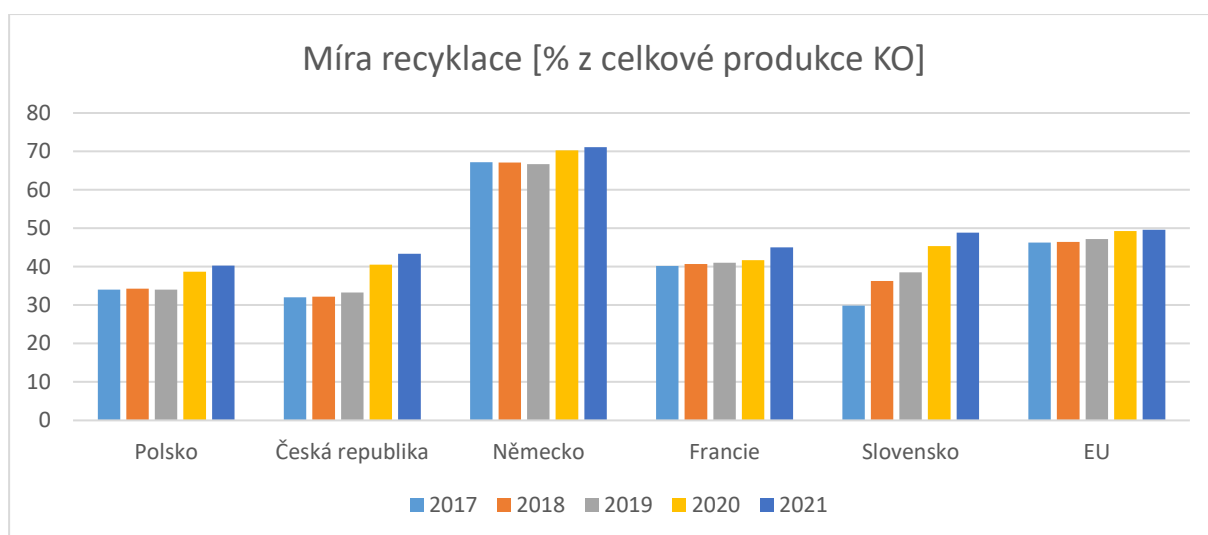
V této části se práce zaměřuje na porovnání odpadového hospodářství České republiky s Polskem, Německem, Slovenskem a Francií. V rámci srovnávání jsou porovnávány výsledky jednotlivých států v oblasti produkce, recyklace, skládkování a energetickém využití komunálního odpadu. Nejprve budou uvedeny grafy znázorňující vývoj individuálních výsledků za roky 2017 až 2021. Data pro grafy jsou získaná z databáze statistického úřadu Evropské unie – Eurostat. Dále se práce bude zabývat zhodnocením zjištěných poznatků a úvahou nad jejich příčinou.



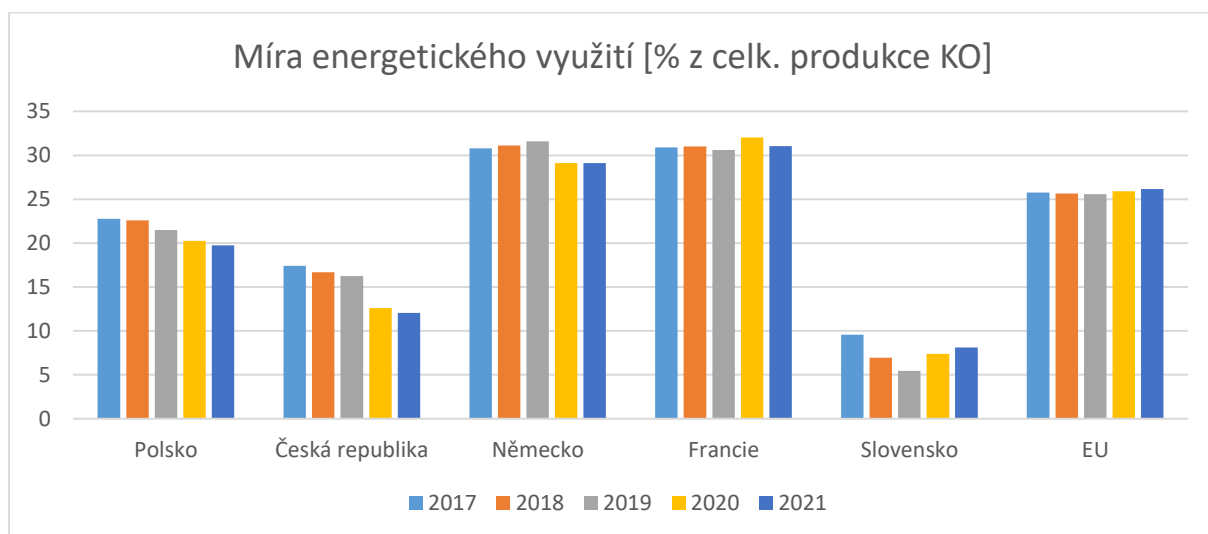
Obrázek 3: Graf produkce komunálního odpadu na obyvatele (2017-2021), zdroj dat: [25]



Obrázek 4: Graf míry skládkování + ostatní odstranění (2017-2021), zdroj dat: [25]



Obrázek 5: Graf míry recyklace (2017-2021), zdroj dat: [25]



Obrázek 6: Graf míry energetického využití (2017-2021), zdroj dat: [25]

Stát	Česká republika	Německo	Francie	Slovensko	Polsko
Zálohovací systém	Ne	Ano; DPG Deutsche Pfandsystem GmbH;	Ne	Ano; Správca zálohového systému, n.o.	Ne
typ	\	Sklo, kovy, plast	\	Plast (PET), Kov (hliník)	\
Recyklace PET [% z celkové produkce]	82 % (EKOKOM)	98%	47%	62 % (2018)	43%

Tabulka 4: Porovnání zálohovacích systému s recyklací PET [26]

Z grafu produkce KO (viz Obrázek 3) lze vyzorovat mírný rostoucí trend jak u všech pozorovaných států, tak u celkového evropského průměru. Jeden z možných důvodů nárůstu v letech 2020 a 2021 může být pandemie covidu-19. Lidé byli více zavření doma, a například otevřené mohly být pouze obchody s potřebným zbožím, tudíž se více objednávalo přes e-shopy a vznikalo tak více papírových a plastových odpadů kvůli doručování. Rovněž se vzhledem k uzavření restauračních podniků stravovalo spíše doma, a tedy bylo nutné více nakupovat, případně objednávat přes dovozní služby. [27]

Produkce komunálního odpadu na obyvatele však roste i v ostatních letech, to může jít ruku v ruce se zvyšujícími se životními standardy a ekonomickým rozvojem země, lidé mají k dispozici více prostředků, díky kterým si mohou dovolit častější nakupování a výměnu starých produktů za nové.

V oblasti recyklace vyčnívá oproti ostatním státům Německo (viz Obrázek 5). Hraje vůdčí roli v odpadovém hospodářství na celém světě a jako jediná země již teď splňuje cíle vytyčené do roku 2035. Těchto výsledků dosahuje zejména díky své odpadové politice. Mají zde zavedený zálohovací systém, kde v obchodech se zálohují nejen skleněné láhve na pivo, ale i láhve z pevného plastu a láhve jednorázové z měkkého plastu a plechovky. Z porovnání výsledků recyklace PET (Tabulka 4) je jasně vidět, že zálohování může být velmi efektivní metodou pro zlepšení výsledků v této oblasti. Mezi jiné metody pro zvýšení recyklace spadá například rozšířená odpovědnost výrobce (EPR), případně prodejce. Výrobci obalů vzniká odpovědnost za zpracování a likvidaci svých výrobků. Hlavním důvodem k zavedení je pobídnout výrobce, aby byl design jejich produktů co nejvíce šetrný k životnímu prostředí (materiálové složení, jednoduchá recyklovatelnost, ...). Tento systém mají zavedený v sousedním Německu od roku 2019 (VerpackG). Zajímavý krok za účelem lepší materiálové recyklace je zákaz prodeje plastových láhví s menším než 50% obsahem recyklátu. [28]

Míra skládkování je další ze sledovaných ukazatelů pro splnění stanovených cílů evropskou směrnicí (viz 1.3.3). Z grafu na Obrázku 4 tomto ohledu opět vede Německo, kde nesmí být od poloviny roku 2005 skládkován žádný nezpracovaný, biologicky rozložitelný odpad. Je to také odrazem výborné recyklační míry a faktem, že se zde, jak je patrné z Obrázku 6, investovalo do vybudování sítě zařízení pro energetické využití, kde se se využívá vyprodukovaného SKO na výrobu elektrické energie a pouze zbytky z těchto procesů se skládkují (pod 1% celkového objemu komunálního odpadu).

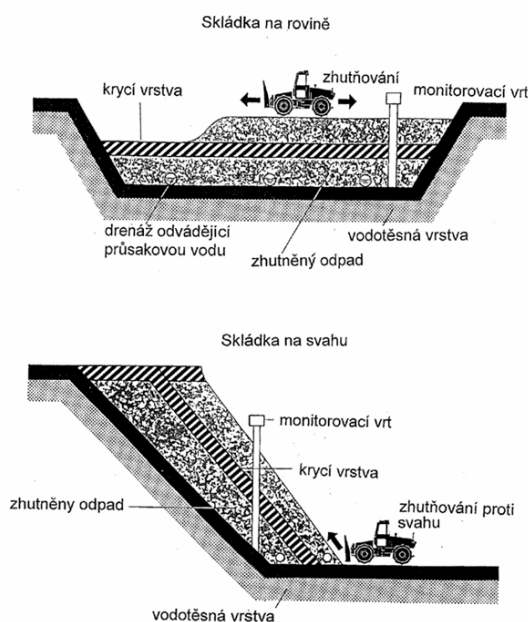
2 Aktuální zpracovatelská infrastruktura

Tato kapitola pojednává o vybraných zařízeních ke zpracovávání odpadů, které jsou aktuálně ve velkém měřítku používané v ČR a v zahraničí. Představen je základní princip fungování a vztažení jednotlivých zařízení vzhledem k naplnění požadovaných cílů. Na konci kapitoly je uvedeno shrnutí všech zařízení.

2.1 Skládky

Zařízení určené pro ukládání odpadu. Jedná se o nejstarší a nejrozšířenější způsob pro likvidaci odpadu. Moderní skládky se dělí na 3 základní typy: skládky pro inertní odpad (S-NO), skládky pro ostatní odpad (S-OO) a skládky pro nebezpečný odpad (SNO). Jedná se o nejvyužívanější a zároveň nejméně ekologický způsob zacházení s odpady. [29]

Princip skládkování spočívá v první řadě v určení lokality a rozlohy s ohledem na ochranu životního prostředí (zejména hydrogeologické, geologické a vodohospodářské podmínky) a technickou realizovatelnost. Oblast se nejprve musí zajistit ochrannou vrstvou bránící kontaminaci zeminy pod skládkou. Vystavěny musí být také monitorovací vrty, které zajišťují rychlé podchycení případné kontaminace podzemních vod, a drenážní systém proti hromadění průsakové vody. Odpad uložený na skládce se zhutňuje pomocí speciálních vozů tzv. kompaktorů. Zhutňováním se snižuje objem odpadu, a tudíž prodlužuje životnost skládky. Zároveň se při zhutňování vytlačuje kyslík, čímž se zvyšuje bezpečnost proti požáru a napomáhá omezit zápach vznikající při aerobním rozkladu. Celý koncept je vizualizován na Obrázku 7. Po naplnění kapacity se skládka uzavírá a následně rekultivuje, tedy vytvaruje, zabezpečí těsníci vrstvami a překryje, tak aby byla v souladu s okolní krajinou. Konkrétní technologický postup rekultivace závisí na budoucím zamýšleném účelu pro území (lesnické, zemědělské, rekreační účely). Rekultivovaná skládka se dle zákona [19] musí nejméně dalších 30 let monitorovat. [29]



Obrázek 7: Schéma skládky [29]

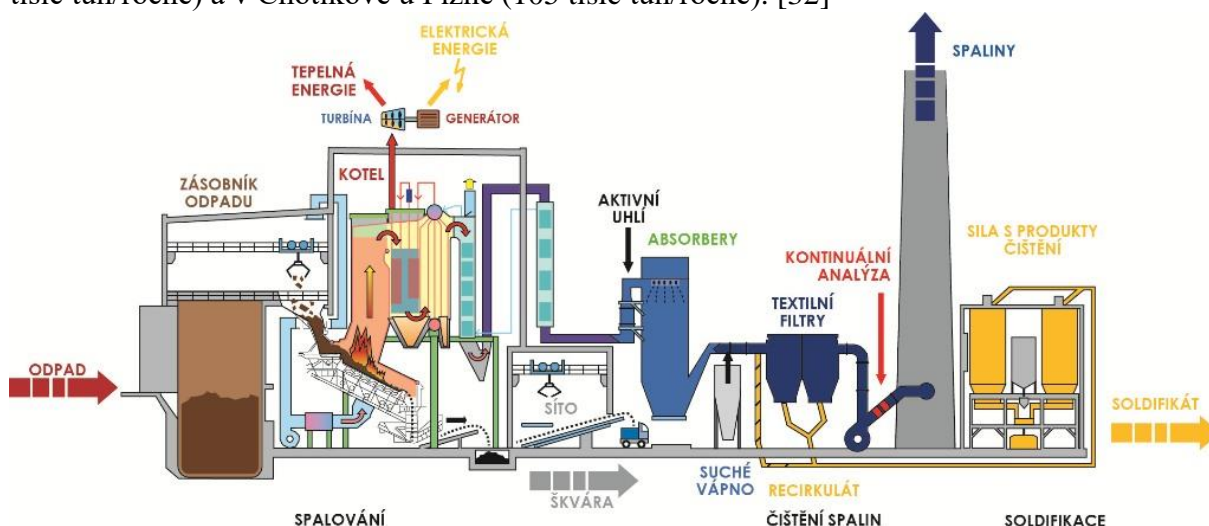
V hierarchii nakládání s odpady (Obrázek 2) je „odstranění“ (v naší zemi tedy zejména skládkování) nejméně ekologickým způsobem nakládání s odpady, tudíž by se na skládky správně měl ukládat pouze nerecyklovatelný, energeticky, či jinak nevyužitelný odpad. Bohužel tomu tak v současné době není a na skládkách často končí využitelné odpady. Ve snaze

skládkování omezit je v zákoně [19] zavedeno zvyšování poplatku za skládkování odpadu, zejména toho využitelného ze současných (2023) 1000,- za tunu na 1850,- za tunu v roce 2029. Od roku 2030 je zaveden zákaz skládkování využitelných odpadů, které mají s výhřevností v sušině více než 6,5 MJ/kg, a které bude možné za stávajícího stavu technického pokroku účelně recyklovat.

2.2 Spalovny

Zařízení pro energetické využití odpadů (ZEVO). Spalováním zbytkového odpadu, který by jinak končil na skládkách, získáváme tepelnou energii, která může být zdrojem pro vytápění a pro výrobu vodní páry a elektřiny. Tímto procesem se objem odpadu sníží až na 10 % původní hodnoty. Tento způsob zpracovávání odpadů je velmi významný ve Skandinávských zemích, ale i u našich sousedů v Německu a Rakousku. [30]

Historicky první spalovna – tehdy zvaná „Smetárna“ – využívající odpad k výrobě elektřiny na našem území, byla uvedena do provozu v Brně už v roce 1905 a fungovala až do roku 1941, ke konci druhé světové války byla vybombardována. [31] V současné době jsou v provozu 4 ZEVO, a to v Brně (248 tisíc tun/ročně), Praze (330 tisíc tun/ročně), Liberci (96 tisíc tun/ročně) a v Chotíkově u Plzně (105 tisíc tun/ročně). [32]



Obrázek 8: Schéma ZEVU [33]

Vstupní složkou do procesu (viz Obrázek 8) je zbytkový odpad, který zůstává po separaci jinak využitelných složek. Ten je vyspán do zásobníku odpadu, ve kterém je nejprve pomocí polypového drapáku homogenizován, aby směs měla podobnou výhřevnost, a následně plněn do násypky kotlů. Pomocí násypky je odpad přesouván na speciální nakloněné vratisuvné rošty, čímž se zajistí promísení a rovnoměrné rozmístění na roštu, a tudíž dokonalé prohoření. Vznikající tepelná energie je předávána varnému systému kotle. Produkuje se vysokotlaká přehřátá vodní pára pohánějící turbínu s generátorem, kde se mechanická energie transformuje na elektrickou. [33] [34]

Na konci spalovacího procesu vznikají dvě složky: spalin a škvára. Škvára je tuhá složka, ze které se dále třídí na železné a neželezné kovy. Zbytek škváry se může využívat jako stavební materiál vhodný například pro podklady silnic. [35] Spaliny procházejí vícestupňovým čištěním. Technologie zajišťují denitrifikaci, absorpci těžkých kovů a organických polutantů: PCDD, PCDF, PCB a PAU. Pomocí suchého vápna se odstraňují kyselé složky a v neposlední řadě se využívá textilních filtrů, pro odloučení pevných částic. Popílek vznikající čištěním je nebezpečný odpad, tudíž se musí skládkovat na příslušně zabezpečených skládkách. Alternativně se popílek (vyjma popílku z organických polutantů) promývá procesní vodou a může se využít ve stavebnictví spolu se škvárou. Plynná část spalin je vypouštěna komínem do

atmosféry, kde na vstupu probíhá kontinuální analýza udávající množství vypouštěných znečišťujících látek do ovzduší. Hodnoty emisí pro brněnské ZEVO jsou k dispozici k nahlédnutí v Tabulce 5, ze které je patrné, že jsou limity dané legislativou a integrovaným povolením konkrétního zařízení splněny. [33] [34]

Pro energetické využití odpadu je v českém zákoně o odpadech 541/2020 (příloha č. 7) uvedena nejnižší požadovaná energetická účinnost zařízení. Pro zařízení, která získala souhlas k provozu a byla provozována před 1. lednem 2009 byla stanovena hranice 0,6, zatímco pro zařízení se souhlasem k provozu po 31. prosinci 2008 je hranice 0,65. V zákoně je rovněž uvedena rovnice pro výpočet energetické účinnosti, která je v souladu referenčním dokumentem o nejlepších dostupných technikách pro spalování odpadů.

$$\text{Energetická účinnost} = \left(E_p - (E_f + E_i) \right) / 0,97 \cdot (E_w + E_f)$$

Kde:

E_p = roční množství vyrobené energie ve formě tepla nebo elektřiny. Vypočítá se tak, že se energie ve formě elektřiny vynásobí hodnotou 2,6 a teplo vyrobené pro komerční využití hodnotou 1,1 (GJ/rok).

E_f = roční energetický vstup do systému z paliv přispívajících k výrobě páry (GJ/rok).

E_w = roční množství energie obsažené ve zpracovávaných odpadech vypočítané za použití nižší čisté výhřevnosti odpadů (GJ/rok).

E_i = roční dodaná energie bez E_w a E_f (GJ/rok).

0,97 je činitelem energetických ztrát v důsledku vzniklého popela a vyzarování.

Výsledné číslo je bezrozměrné a za určitých okolností (vysoká dodávka tepla + moderní technologie) může dokonce přesahovat hodnotu 1. [19] [36]

Porovnání emisních limitů zařízení pro energetické využívání odpadů ZEVO SAKO, Brno a.s. za rok 2022						
Látka	Vyhláška č. 415/2012 Sb., ve znění pozdějších předpisů	Integrované povolení (IP)	Validované hodnoty zjišťované kontinuálním měřením [mg/m ³]			Dosažená úroveň emisního limitu dle IP [%]
	Emisní limity Denní průměr [mg/m ³]	Emisní limity Denní průměr [mg/m ³]	K2 průměrná denní hodnota	K3 průměrná denní hodnota	průměr K2 + K3	
TZL	10	8	0,2	0,1	0,2	1,9
TOC	10	8	1,1	0,0	0,55	6,9
SO _x jako SO ₂	50	50	20,6	22,8	21,7	43,4
NO jako NO ₂	200	200	164,5	171,7	168,1	84,1
NH ₃	50	50	0,6	0,6	0,6	1,2
CO	50	50	6,3	3,0	4,7	9,3
HCl	10	10	4,4	4,9	4,7	46,5
HF	1	0,8	0,0	0,1	0,1	6,3
Emisní limity pro znečišťující látky zjišťované jednorázovým autorizovaným měřením						
PCDD/PCDF (ng/m ³)	0,1	0,08	0,0056	0,0034	0,0045	5,6
Hg	0,05	0,05	0,00034	0,00024	0,0003	0,6
Cd, Tl	0,05	0,04	0,00006	0,000055	0,00006	0,1
Ostatní těžké kovy - Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V	0,5	0,4	0,0105	0,0121	0,0113	2,8

Tabulka 5: Porovnání emisních limitů ZEVO SAKO, Brno [33]

V rámci plnění cílů stanovených EU hrají ZEVO stanice významnou roli, neboť v současné době nemáme pro zpracování zbytkového odpadu z dotřídovacích linek a kontejnerů pro směsný odpad lepší řešení. Energetické využití odpadu je však zákonem o odpadech [19] od roku 2035 a v následujících letech omezeno na nejvýše 35 % z celkové hmotnosti produkce komunálního odpadu na území ČR.

2.3 Třídící linky (Dotříd'ovací linky)

Zařízení sloužící k dotříd'ování odpadu svezeneho z kontejnerů pro sběr odděleného komunálního odpadu (kontejnery na papír, plast, sklo). V současné době funguje v republice okolo 130 takovýchto manuálních linek. Zaměstnanci na lince ručně odstraňují nežádoucí příměsi z odpadu a dále roztríd'ují materiál dle požadavků zpracovatelů. Tato zařízení jsou velmi důležitá z hlediska využití odpadu jako druhotné suroviny, tudíž stěžejní pro plnění cílů stanovených legislativou v oblasti recyklace. [37]

V březnu letošního (2023) roku se v Brně uvedla do ostrého provozu první automatizovaná třídící linka na plasty a papír v ČR. Tato linka dokáže rozpoznat díky optickým sensorům plasty dle barvy, tvaru i složení. Pomocí technologie balistické separace třídí odpad na 2D – fólie sáčky, ... a 3D – kelímky, konzervy, ... Dále využívá technologie magnetických separátorů a indukčních separátorů pro vytrízení železných a neželezných kovů. Automatizovaná linka by měla zvládnout vytrídít až 20 000 tun plastového odpadu ročně a dosahovat čistoty dotříd'ování až 95 %, zatímco dosavadní systém (manuální linka) měl roční kapacitu pouze 6000 tun a čistotu dotříd'ování maximálně 35 %. Čistota dotříd'ování představuje poměrové zastoupení nečistot z celkové hmotnosti v dotříděné složce. Automatizovaná linka tak bude zásadně napomáhat plnit cíle materiálového využití komunálního odpadu. [38] [39]

Další zajímavou novinkou v ČR bude moderní automatizovaná třídící linka na směsný komunální odpad. Tato linka se buduje v Moravskoslezském kraji s primární funkcí vytrídít ze směsného odpadu využitelné složky. Z nevytríděného odpadu se bude vyrábět TAP, který bude využívat zdejší společnost Veolia díky svým novým multipalivovým kotlům. Tento přístup může pomoci obcím snížit produkci SKO a mírně napomoci k naplnění cílů v oblasti třídění, přestože vytríděná složka komodit vhodných k recyklaci na těchto linkách většinou nedosahuje závratných hodnot – třídící linka na SKO v Polsku průměrně 8,6 % hmotnosti z naváženého odpadu. [40] [41]

2.4 Bioplynové stanice

Tato zařízení slouží ke zpracovávání organických materiálů. Skrze anaerobní digesci vzniká bioplyn, vhodný pro výrobu elektrické energie, či jako palivo v dopravě, a digestát (hnojivo). [42] V České republice máme přes 500 bioplynových stanic, ovšem pouze zlomek zpracovává jako vstupní surovinu bioodpad (živočišného i rostlinného původu). Bioodpad totiž na rozdíl od zemědělských vstupních surovin (kukuřice, kejda, ...) musí projít procesem hygienizace, kde je zbavován nežádoucích příměsí. S tím jsou spojené také vyšší náklady na výstavbu oproti zemědělským stanicím. [43]

První bioplynová stanice (zemědělská) byla vystavěna v roce 1974 v Třeboni. Tato stanice byla v roce 2009 rozšířena a při této příležitosti vznikl také první bioplynovod na našem území. Vyrobený bioplyn putuje do městských lázní Aurora, kde se využívá pro energetické potřeby areálu. [44]

Od roku 2019 u nás funguje první BPS vyrábějící biometan. EFG Rapotín BPS (viz Obrázek 9) zpracovává širokou škálu odpadů, například gastroodpad (kuchyňský odpad, jídelní, ...), biologicky rozložitelný komunální odpadu (BRKO) a biomasu, s roční kapacitou až 30 000 tun. Z vyráběného bioplynu se zde pomocí membránové separace získává biometan s téměř stejným chemickým složením jako má zemní plyn. Biometan je vtlačěn do distribuční plynárenské sítě. [45]

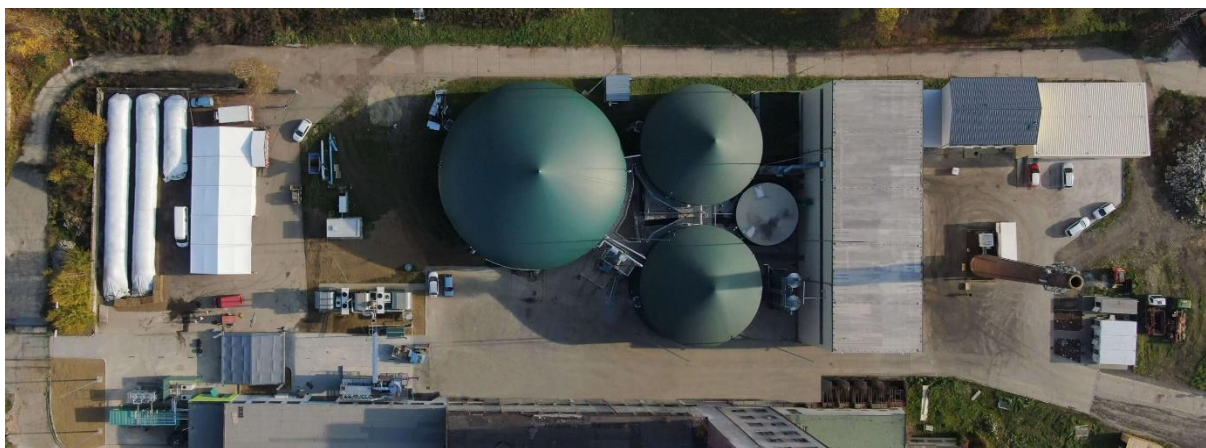
Technologie pro zpracování biologicky rozložitelných odpadů lze rozdělit na dva základní typy: mokrá a suchá anaerobní fermentace. [46]

Mokrá fermentace je nejběžnější metoda v ČR i celosvětově. Vstupní surovinou musí být čerpatelná kapalina s obsahem sušiny okolo 12 %. Samotná anaerobní fermentace probíhá ve speciálních vzduchotěsných míchaných nádobách – fermentorech. Ty jsou ohřívány na

provozní teplotu 35 °C při mezofilních podmínkách (lepší stabilita procesu) a 55 °C při termofilních podmínkách (hlubší rozklad). Mezi výhody patří možnost zpracování tekutých materiálů, kontinuita procesu, tudíž i stálá produkce bioplynu. Naopak nevýhodou může být nutnost stálého přísunu vstupních surovin a nutná úprava (BRKO), zejména drcením a odstraněním nežádoucích příměsí, které by mohly ucpat čerpací systémy, nebo kontaminovat digestát. [46]

Suchá fermentace je mladší technologií. Vstupní surovinou je organický odpad v sytkém stavu s průměrnou sušinou kolem 30 %. Materiál je nadávkován do železobetonových boxů, ohříváných na 40 °C, a současným sprchováním tzv. perkolátem – výluhem z boxů, aby došlo k dostatečnému naočkování materiálu mikroorganismy a zajistily se tak podmínky pro rozklad materiálu a vznik bioplynu. Výhodou je, že BRKO získaný ze separovaného sběru není třeba kromě drcení nijak upravovat (ředit) a celý proces je energeticky méně náročný. Další výhodou z hlediska využití odpadů je diskontinuální charakter procesu, protože dodávka (produkce) BRKO může být proměnlivá. Mezi nevýhodami je nižší účinnost rozkladu a výkyvy produkce bioplynu. [46]

BPS můžou být dalším ze zařízení, díky kterým bychom mohli dosáhnout nastavených cílů (zejména v oblasti recyklace tříděného sběru biologického odpadu) a bioodpad smysluplně využít. Nevýhodou jsou však vyšší investiční náklady.



Obrázek 9: EFG Rapotín BPS [45]

2.5 Kompostárny

Kompostárny jsou další možností pro zpracování organického odpadu. Na rozdíl od BPS se v kompostárnách využívá chemického procesu aerobní fermentace. Při tomto procesu vzniká kompost, který se může dále využívat jako hnojivo na zahradách a v zemědělství. V ČR máme okolo 530 kompostáren, ale většina z nich jsou malé a komunitní kompostárny. [47] [48]

Vstupní surovinou do procesu je bioodpad rostlinného původu svážený producenty, nebo svozovou firmou. Pro vznik kvalitního kompostu je důležité mít vhodné surovinové složení. Poměr uhlíku a dusíku by měl být 25–40 : 1 (C : N). Bioodpad se musí protřídit, aby se odstranili nežádoucí příměsí, drtí a promísí pro dosažení homogenizované struktury. Kompostovat se pak může na volné ploše, nebo intenzivně v uzavřených (boxy, bioreaktory), nebo polouzavřených (žlaby) zařízeních. Intenzivní kompostování využívá provzdušňovacích systémů pro zajištění rychlejšího rozkladu, při kterém se uvolňuje energie, vzniká teplo, a tím se dále urychluje celý proces vzniku kompostu. [49]

Kompostárny jsou levnější (oproti BPS) variantou pro nakládání s BRKO. Snižujeme díky nim množství odpadu, které by jinak končilo na skládce, a zároveň vyrábíme kompost. Živiny v něm obsažené se v zemědělství navracejí zpět do půdy. Kompostárny ale nejsou vhodné pro zpracovávání živočišného odpadu (zbytky masa, skořápky od vajíček). Pro

ziskovost je důležitá spolupráce se zemědělci. V současné době se prodává kompost obvykle od 400 do 700 korun za tunu. [47]

2.6 Mechanicko-biologická úprava odpadů (MBÚ)

Zařízení, které pomocí mechanických a biologických úprav zpracovává SKO a bioodpad, který je nevhodný pro kompostování, nebo anaerobní digesci (BPS). Drcením a následném třídění skrze síta získáváme dvě frakce: lehkou (nadsítná) a těžkou (podsítná). Cílem je produkce stabilizovaného odpadu, který by bylo možné energeticky využít. Tato zařízení jsou populární zejména v Německu a Rakousku. V těchto zemích se zařízení MBÚ budovala zejména kvůli vyhláškám, které zakázaly skládkování neupraveného směsného komunálního odpadu. [50] [51]

Lehká frakce je hlavním produktem tohoto procesu. Je to energeticky využitelná složka, ze které se vyrábí alternativní palivo. Přestože má tato složka vyšší výhřevnost než běžný SKO, stále obsahuje stejné škodliviny, tudíž spalováním vznikají stejné emise. O lehkou frakci u nás ale není zájem. Pro využití v cementárnách je problém nestabilní výhřevnost (různorodá směs naváženého SKO) a vysoký obsah chlóru, zatímco pro spalování v ZEVO představuje tento proces pouze nákladný a zbytečný mezistupeň. [50] [51]

Těžká frakce obsahuje sice velké množství biologicky rozložitelného materiálu, ale nachází se v ní nežádoucí příměsi. Právě kvůli kontaminaci (baterie, rozbité žárovky, ...) není ideální pro kompostování, ani pro anaerobní zpracování. Tento produkt je sice stabilnější a objemově zredukovaný oproti standardnímu SKO, ovšem stejně jako ten také končí na skládce. [50] [51]

Vzhledem k tomu, že vznikající produkty nemají za stávajícího stavu velkého využití jeví se MBÚ jako slepá ulička. Pro energetické využití lehké frakce se v Německu staví „monozdroje“ – spalovny určené pouze na tento jediný druh odpadu. Jak je vidět ze zahraničních zkušeností, tak pro správné fungování MBÚ je třeba vybudovat celý integrovaný systém. Na základě těchto informací usuzuji, že MBÚ nejsou pro Českou republiku, vzhledem k plnění cílů v odpadovém hospodářství, vhodnou cestou. [50]

2.7 Shrnutí a vyhodnocení

K budoucímu plnění cílů odpadového hospodářství je zásadní rozhodnout, které technologie mají pro Českou republiku smysl a které spíše ne. Nejdůležitější pro dosažení recyklačních cílů je třídění a dotřídění odpadu. Abychom mohli recyklovat 65 % z celkové hmotnosti KO, bude nutné, aby se zvýšila míra separovaného odpadu. V tomto ohledu hrají ze zmiňovaných zařízení velkou roli třídící a dotřídovací linky a do budoucna zejména ty automatizované, které umožní celý proces výrazně zefektivnit.

Vzhledem k nařízením o skládkování a postupném zdražování tohoto způsobu odstraňování odpad, bude nutné skládky značně omezit, ale i přesto si myslím, že mají skládky v celkovém mixu zařízení pro zpracovávání odpadu své místo, protože ne všechny vznikající odpad je recyklovatelný, nebo energeticky využitelný.

Snížení skládkování lze dosáhnout skrze energetické využití, a právě pro tento účel máme v ČR 4 ZEVO. Díky těmto zařízením nemusí všechny směsný komunální odpad končit na skládkách, ale naopak najde využití při výrobě energie. Otázkou je však, do jaké míry je vhodné tato zařízení budovat, protože energetické využití odpadů je zákonem od roku 2035 omezeno.

Pro rostlinný biologicky rozložitelný odpad jsou kompostárny jasnou volbou, neboť pomáhají zvýšit míru recyklovaného KO a zároveň mají velmi ekonomický provoz a poměrně nízké investiční náklady. Budoucnost vidím také v bioplynových stanicích, které umožňují zpracovávat gastroodpad (živočišný BRKO), tudíž doplňují v tomto ohledu funkci kompostáren. Zároveň se pomocí těchto zařízení vyrábí bioplyn, ze kterého je možné čištěním

získat biometan. Ten může nahradit zemní plyn, tudíž omezit spotřebu tohoto neobnovitelného zdroje a zároveň snížit závislost a náklady státu na dovoz ze zahraničí.

Naopak zařízení MBÚ v naší zemi nevidím jako vhodnou investici. Pro správné fungování by bylo nutné vybudovat infrastrukturu pro spotřebu výstupních produktů. Ve výsledku jsou tato zařízení za současného stavu pouze zbytečný mezistupeň pro energetické využití spalováním.

3 Nové technologie a trendy pro zpracování odpadu

V této části se práce zabývá novými technologiemi, které mají potenciál zefektivnit celý proces odpadového hospodářství. Jde zejména o ekonomicky výhodná a zároveň ekologicky šetrná možná řešení.

3.1 Chemická recyklace

Jedná se o metody zaměřující se zejména na chemické zpracování plastového odpadu, přičemž probíhá diskuze na téma získávání alternativních paliv, separaci chemických prvků, a především depolymerizační procesy, jejichž cílem je rozklad polymerů, tedy vysokomolekulárních plastových odpadů, na nízkomolekulární monomery. Tyto monomery je možné vyčistit a využít pro výrobu nových polymerů – plastových produktů – stejným způsobem jako když se vyrábí z ropy, nebo zemního plynu. Mezi světově nejvyžívanější polymery patří: PET, HDPE, PVC, LDPE, PP, PS. Přehled produkce jednotlivých typů vytvořen v Tabulce 6. [52]

Polymer	Běžné výrobky	Globální produkce [53]	Globální míra recyklace [52]
PET	láhve, blistry na léky	33 mil. tun	19,5 %
HDPE	víčka, láhev od šampónu, fólie	64 mil. tun	10 %
PVC	potrubí, hadice	38 mil. Tun	0 %
LDPE	fólie, sáčky, smršťovací fólie	64 mil. tun	5 %
PP	nádoby, krabičky	68 mil. tun	1 %
PS	obaly, zateplení	25 mil. Tun	1 %

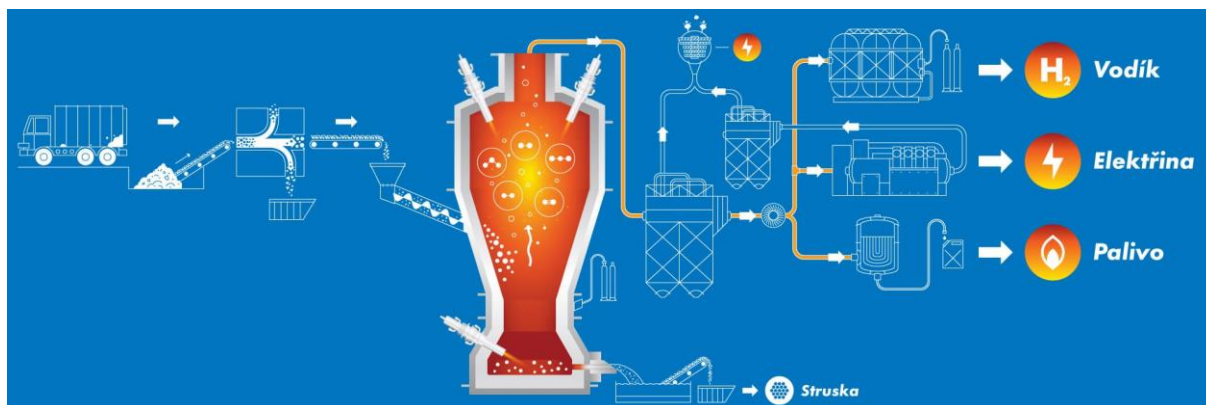
Tabulka 6: Typy polymerů [47]

Současné zpracování plastového odpadu se spoléhá zejména na spalování za účelem energetického využití a odstranění skládkováním. Recyklace plastů je ztížena faktem, že plastové výrobky obsahují různá plniva a aditiva. Aditiva se využívají k pozměnění vlastností polymerů – barviva, změkčovadla. Plniva ke snížení ceny, případně k vyztužení. Při mechanické recyklaci jsou však tyto příměsi problémem, z důvodu nekonzistentních kvalit vznikajícího recyklátu. Bohužel pro většinu plastů až na PET a HDPE je mechanická recyklace ekonomicky nevýhodná a technicky někdy neuskutečnitelná právě z důvodu složitého odstraňování příměsí. Recyklát má nepředvídatelné vlastnosti a zároveň není levnou surovinou, protože v tržní ceně se promítne sběr, vytřídění a úprava. Firmy proto většinou upřednostňují panenský plast, jehož cena se odvíjí od ceny ropy. [54]

Cílem chemické recyklace je doplnění stávajících procesů, tudíž umožnění zpracování dosud jinak nevyužitelného plastového odpadu a dosažení lepších recyklačních výsledků v této oblasti. Mezi nejvýznamnější typy chemické recyklace se řadí pyrolýza nebo zplyňování. Těmito způsoby se však zatím spíše získává energie a alternativní paliva.

3.1.1 Plazmové zplyňování

Technologie pro zpracování zejména nebezpečného a nemocničního odpadu, dále komunálního, průmyslového odpadu a čistírenských kalů. Plazmovým zplyňováním vzniká syntézní plyn, který je možné využít jako zdroj energie, anebo chemických produktů. V České republice pracuje na vývoji těchto zařízení firma Millenium Technologies. V roce 2022 byl v jejich vědecko-technickém parku v Dubé představen plazmový generátor R4 s kapacitou 500 kg za hodinu. [55] [56]



Obrázek 10: Schéma technologie plazmového zplyňování [56]

Před samotným zplyňováním je z naváženého materiálu vhodné vytrít látky, které mají nulovou výhřevnost (sklo, popel, kovy, ...). Dále je nutné odpad nadrtit a vysušit. Zplyňování probíhá v plazmovém reaktoru pomocí nízkoteplotního plazmatu (3000–5000 °C), které je vyvíjeno pomocí tzv. plazmatronů. V reaktoru se rozkládají organické sloučeniny. Hlavním produktem, který vzniká z organických prvků, je syntézní plyn. Tento plyn je následně zchlazen a zbaven nežádoucích prvků na základě koncového využití. Může se využívat k výrobě elektřiny, paliva a vodíku. Vedlejším produktem vznikajícím z anorganických prvků je inertní struska, kterou je možné využívat ve stavebnictví. Technologie je vizualizována na Obrázku 10. [53]

Plazmové technologie pro zpracování odpadů by mohly být alternativou pro ZEVO. Ve srovnání se spalovacími technologiemi mohou být výhodou menší rozměry, ve vývoji je i mobilní jednotka. Tato zařízení by se v budoucnu dala využít například v teplárenství, kde by mohla nahradit spalování fosilních paliv. Nevýhodou jsou však vysoké investiční náklady, vzhledem k pyrolýze a spalování relativně vysoké energetické nároky na provoz a zatím pouze laboratorní výsledky provozu. [57] [58]

3.1.2 Pyrolýza

Proces probíhající v reaktoru při teplotách od 300 do 600 °C bez přístupu kyslíku, tudíž nedochází ke spalování. V současnosti se využívá především pro zpracování biomasy, SKO a ojetých automobilových pneumatik, obecně jsou nejvhodnější materiály s vysokým obsahem organických látek. Skrze termický rozklad jsou získávány 3 hlavní produkty: pyrolýzní plyn, olej a tuhý zbytek. Produkty mohou být dále rafinovány a využívat se jako palivo, nebo nalézt využití v petrochemickém a biochemickém průmyslu. Pyrolýzou polymerů dochází k jejich rozkladu na jednodušší molekuly, které je možné opět využít k výrobě nových plastových výrobků. Pro zvýšení efektivity procesu se využívají katalyzátory. [52]

Nevýhodou tohoto procesu je nutnost zajištění odbytu produktů a vysoké energetické nároky procesu. Do budoucna však může nabízet chemickou recyklaci plastů, který se dosavadně třídí pouze mechanicky, tudíž možné řešení pro plnění recyklačních cílů.

3.2 Automatické třídící systémy

Automatizované linky mohou disponovat různými technologiemi pro třídění, díky kterým se významně zvyšuje efektivita samotného procesu. Takovými technologiemi mohou být například optické třídíče, magnetické, indukční, bubnové separátory umožňující identifikovat a separovat různé typy materiálů – plasty, kovy, neželezné kovy, papír i sklo. Maximalizováním separace využitelných materiálů budou snižovány dopady na životní prostředí. Zavedením automatizovaných linek nebude nutná intenzivní manuální práce, která může být i zdraví nebezpečná, čímž se sníží výdaje na pracovní sílu. Díky kvalitnějšímu třídění může také vzrůst větší zájem o druhotné suroviny. Na druhou stranu investice do takovýchto linek bude poněkud větší a v případě realizace je nutné projekty adekvátně plánovat a investici rozložit do delšího horizontu provozu zařízení.

3.2.1 Balistický separátor

Separátor využívá nakloněných sít konajících vodorovný a svislý pohyb, díky kterým je odpad neustále nadhazován směrem k hornímu okraji stroje. Odpad je rozdělen hned na 3 složky. První je podsítná frakce, což je odpad, který síty propadne – velikost děr může být nastavitelná dle specifické aplikace. Druhou frakcí jsou lehké 2D prvky (papír, fólie, sáčky, ...), tyto prvky jsou dopravovány k hornímu konci separátoru. Poslední složkou jsou těžší 3D prvky (PET láhve, kartóny, ...), které se díky náklonu sít sesouvají ke spodnímu okraji zařízení. [59]

3.2.2 Magnetické separátory

Zařízení sloužící k vytrídění částic železných kovů v odpadním proudu pomocí silných magnetů vytvářejících magnetické pole. Existuje více typů těchto zařízení. Využívá se například magnetického pásového dopravníku, který je umístěn rovnoběžně nebo kolmo nad pásovým dopravníkem s odpadovým mixem. Díky silným permanentním magnetům vzniká magnetické pole, čímž se oddělují železné kovové částice od zbytku a jsou odváděny magnetickým dopravníkem do separované nádoby. [60]

3.2.3 Indukční separátory

Využívají se k separaci neželezných kovů (hliník, měď) z odpadového mixu. Průchodem střídavého proudu elektromagnetickou cívkou vzniká nestacionární magnetické pole. Nad pásovým dopravníkem je umístěna cívka v režimu vysílače, která je poháněna střídavým proudem, tudíž se kolem ní vytváří nestacionární magnetické pole. Pod pásem dopravníku je umístěna druhá cívka, která je přijímačem, a měří se na ní magnetický indukční tok podle Lenzova zákona. Pokud mezi těmito cívkami projde na pásu kov dojde ke změně naměřeného magnetického indukčního toku. Pro separaci se následně využívají trysky se stlačeným vzduchem. [60]

3.2.4 Optické separátory

Optické separační technologie využívají senzorů a kamer pro identifikaci odpadu na základě optických vlastností. Sensory rozpoznají velikost, tvary, barvy, dokonce i typ plastů atd. Nejprve jsou tedy senzorem vyhodnoceny vlastnosti odpadu, který je pak díky vzduchovým tryskám separován do příslušných nádob. Mezi tento typ separátorů řadíme například senzor NIR (NearInfraRed), který dokáže detekovat záření v oblasti spektra blízké infračervenému záření. Tento senzor umí rozpoznat typ plastu nasvíceným viditelným světlem na základě vlnové délky, kterou reflektuje. Výhoda optických separátorů je ve spolehlivém roztrídění plastů na jednotlivé typy, případně i barvy. Rovněž díky dobré prostupnosti NIR záření není nutné odpad předem nějak upravovat. Jediným problémem mohou být černé plasty, které velkou část záření pohlcují. [60]

4 Srovnání a diskuse analyzovaných způsobů zpracování odpadů

Hlavním výstupem této práce je propojení vytyčených cílů s možnostmi jejich dosáhnutí. V následujících bodech se bude práce zabývat diskusí jednotlivých problematik a jejich řešení na základě analyzovaných zařízení a zjištěných poznatků.

4.1 Zvýšení recyklace komunálního odpadu

K dosáhnutí lepších recyklačních výsledků je třeba začít u vzniku samotného produktu. Můžeme si vzít inspiraci z Německa a jejich zákona o rozšířené odpovědnosti výrobce, případně prodejce, ve kterém vzniká těmto osobám odpovědnost za ukončení životního cyklu jejich produktu – čili jeho likvidaci/recyklaci. Zvýhodněním ekologického designu produktů může dojít ke snížení produkce nerecyklovatelných odpadů. Samotná prevence vzniku odpadu se dá podpořit i skrze opětovné používání (např. zavedením reuse center – starší nábytek, domácí potřeby, oblečení a obuv, ...), či prodloužením života výrobku opravou nefunkčních částí (výměna baterie, ...). Technologie se však ženou rychle vpřed, vznikají nové a lepší výrobky, tudíž si myslím, že běžný občan, když si kupuje nové produkty, na životní prostředí moc nehledí. Zaměřil bych se spíše na ustanovení regulací pro udržitelný design, aby se výrobci museli zamyslet nad tím, jak se bude doslouživší produkt recyklovat.

Zásadní oblastí je také samotná separace a třídění odpadů. Je nutné zajistit dobrý přístup občanům k nádobám pro separovaný sběr a motivovat je k třídění odpadu, toho by se dalo docílit například pomocí door-to-door sběru. Vzhledem k cíli týkajícího se separovaného sběru v obcích by mohlo být vhodné zavést metodický plán pro sběr, kterým by se mohly obce řídit, přestože třeba nemají v této oblasti mnoho zkušeností. Cílem by pak byl kvalitnější sběr, který je základním kamenem pro recyklaci. Dále mi přijde vhodné plošnější zavedení sběrových nádob na bioodpad, případně gastroodpad, který se dá smysluplně využít v bioplynových stanicích k výrobě biometanu. Realizace takovýchto stanic by měla být podpořena ČR, neboť se mi jeví jako nejideálnější řešení pro tento typ odpadu. Dosáhnutí lepších výsledků v separovaném sběru podpoří i fakt, že od roku 2025 vzniká všem obcím povinnost zavedení kontejnerů pro soustředěný sběr textilu, díky čemuž se může míra recyklace zase mírně zvýšit.

Podpořit separovaný sběr může i systém zálohování plastových a hliníkových nádob, jako známe například z Německa, Norska a nově i ze Slovenska. V našich končinách však dosahuje recyklace PET láhví již dnes relativně dobrých výsledků, tudíž je otázkou, jestli by nebylo momentálně lepší zaměřit se na jiné projekty. Nicméně zavedením zálohování recyklace o nějaké to procento rozhodně vzroste.

Další předpoklad pro dosáhnutí vyšší recyklace je kvalitní třídění a dotřídění na manuálních a nově i automatizovaných linkách. Právě automatizované linky vidím jako zásadní pokrok v této oblasti, neboť umožňují výrazně efektivnější dotřídění, než kterého je možné dosáhnout na běžné manuální lince. Díky vyšší roční kapacitě by pár desítek takovýchto linek mohlo zcela nahradit ty manuální. Možnou budoucností mohou být také automatické linky na směsný komunální odpad, ze kterého se z vytrídí využitelné složky a ze zbytků se vyrábí tuhé alternativní palivo. Z SKO se však dle zjištěných výsledků nedá moc surovin materiálově využít, tudíž je zásadní pro takové linky zajistit odběr vyráběného paliva z nevytríděných zbytků. Na podobném principu však fungují i zařízení MBÚ. Tato zařízení sice mají dobrou myšlenku, ale technologicky komplexní provoz, který vzhledem k aktuálně malému využití výstupních produktů nemůže být moc profitabilní.

V neposlední řadě je třeba podporovat firmy, které recyklát nakupují a vyrábí z něj nové produkty. Pro přiblížení se uzavřenému cyklu je nutné, aby recyklát někdo koupil a vyrobil z něj nový výrobek. Proto je třeba nastavit systém tak, aby buď bylo cenově výhodnější využívat k výrobě druhotných surovin před těmi primárními, nebo zavést stejné podmínky pro všechny skrze pravidla a regulace – příkladem může být třeba zavedení minimálního množství

recyklátu obsaženého ve výrobku (inspirace německý zákon o obalech – VerpackG). Dokonalého uzavření cyklu však není možné dosáhnout, neboť procesem recyklace materiál degraduje a vznikají rezidua, které již materiálově využít nelze. Proto je v rámci plánování infrastruktury nezbytné myslet možnosti energetického využití.

4.2 Snížení skládkování komunálního odpadu

V ČR vzniká každý rok už skoro 6 miliónů tun komunálního odpadu, z toho necelá půlka zamíří na skládky, a to je v současném stavu poměrně velký problém. Lepší alternativou je energetické využití odpadu, ovšem v ČR máme v současnosti pouze 4 takovéto větší zařízení s celkovou kapacitou 779 tisíc tun za rok, což dohromady dělá zhruba 12 % z celkového množství ročního vyprodukovaného komunálního odpadu, které se uvádějí ve statistikách pro energetické využití. Nastavená hranice pro maximální energetické využití je 25 %, tudíž je zde určité prostor pro případné zvýšení kapacity těchto zařízení. Do budoucna se ke spalovnám rýsují alternativní technologie jako třeba plazmové zplyňování a různé typy pyrolýzy, avšak tyto metody nejsou zatím ve velkém měřítku odzkoušené, proto bych se do podpory takovýchto zařízení zatím nehrnul.

Zajímavým řešením ke snížení vzniku SKO můžou být třídící linky, které oddělí recyklovatelné složky a ze zbytku vytváří alternativní palivo. Otázkou je však, jestli vzhledem k nízkému zisku recyklovatelného materiálu není tato praktika spíše zbytečným mezistupněm pro energetické využívání ve spalovnách.

Snaha o snížení skládkování je v novém zákoně o odpadech podpořena do roku 2029 každoročně stupňující se sazbou za tunu uloženého využitelného odpadu na skládku až na více než dvojnásobek původní hodnoty v roce 2020. Od roku 2030 je zavedený zákaz skládkování odpadu s výhřevností v sušině vyšší než 6,5 MJ/kg.

5 Závěr

Práce je zaměřena na vývoj cirkulární ekonomiky vzhledem k infrastruktuře odpadového hospodářství ČR. Popsány jsou základní principy tohoto konceptu v souvislosti s dosavadními praktikami. Představeny jsou směrnice vydané Evropskou unií prezentující ambiciózní cíle, které mají členské státy v rámci odpadového hospodářství povinnost do stanovených dat dosáhnout. Tyto cíle jsou promítnuté v novém českém zákoně o odpadech. Uvedený je český katalog odpadů společně s metodikou pro výpočet indikátorů sledujících meziroční vývoj jednotlivých oblastí produkce a nakládání s odpady.

Mezi stěžejními úkoly práce bylo popsat aktuální zpracovatelskou infrastrukturu, zhodnotit výhody a nevýhody jednotlivých zařízení a určit jejich přínos k plnění plánu odpadového hospodářství. Zároveň byly představeny technologie pro automatické třídící systémy společně s vyvíjejícími se alternativními metodami pro energetické, případně materiálové využití.

Nakonec proběhla diskuse a vyhodnocení nejzásadnějších postupů a metod, které nám do roku pomohou 2035 můžou napomáhat k uskutečnění nastavených cílů daných zákonem. Diskuse se zaměřovala především na příležitosti ke zvýšení recyklace komunálního odpadu, a naopak možnosti pro omezení skládkování na minimum.

6 Seznam použitých zdrojů

- [1] Boulding, K. (1966). *The Economics of the Coming Spaceship Earth. Resources for the Future*, pp. 1 - 14. [online]. In: . [cit. 2023-05-23].
- [2] *Oběhové hospodářství: definice, význam a přínos* [online]. 2018 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/priorities/obehove-hospodarstvi/20151201STO05603/obehove-hospodarstvi-definice-vyznam-a-prinos>
- [3] *SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2018/851*. In: . 2018. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32018L0851>
- [4] Produkce a nakládání s odpady v roce 2021. In: *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpady_podrubrika/\\$FILE/OODP-Produkce_a_nakladani_2021-20221031.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpady_podrubrika/$FILE/OODP-Produkce_a_nakladani_2021-20221031.pdf)
- [5] Veřejné informace o produkci a nakládání s odpady. In: *Informační systém odpadového hospodářství* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://isoh.mzp.cz/visoh>
- [6] Veřejná databáze: Pohyb obyvatel. In: *Český statistický úřad* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/index.jsf?page=vystup-objekt&pvo=DEM05&z=T&f=TABULKA&skupId=546&katalog=30845&pvo=DEM05&str=v94>
- [7] Souhrnná data o odpadovém hospodářství ČR v letech 2009-2021. In: *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpady_podrubrika/\\$FILE/OODP-Souhrnna_data_2009_2021-20221031.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpady_podrubrika/$FILE/OODP-Souhrnna_data_2009_2021-20221031.pdf)
- [8] Výroční shrnutí 2021. In: *EKO-KOM* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://www.ekokom.cz/wp-content/uploads/2022/05/Vyrocní_shrnutí_FINAL.pdf
- [9] Pravda o třídění odpadu. In: *ČT edu* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://edu.ceskatelevize.cz/video/9412-pravda-o-trideni-odpadu?backlink=q7quk>
- [10] Zálohování PET lahví v ČR očima odborníků. In: *Česká asociace odpadového hospodářství* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.caoh.cz/aktuality/zalohovani-pet-lahvi-v-cr-ocima-odborniku.html>
- [11] Jaká je cesta plastového odpadu?. In: *Samosebou* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.samosebou.cz/2020/03/31/jaka-je-cesta-plastoveho-odpadu/>
- [12] Podklady pro oblast podpory odpadového a oběhového hospodářství jako součást Programového dokumentu v Operačním programu Životní prostředí 2021–2027: Manažerský souhrn. In: *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpadove_obehove_hospodarstvi/\\$FILE/OODP-1_Manazersky_souhrn-20200529.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpadove_obehove_hospodarstvi/$FILE/OODP-1_Manazersky_souhrn-20200529.pdf)
- [13] KISLINGEROVÁ, Eva. *Cirkulární ekonomie a ekonomika: společenské paradigma, postavení, budoucnost a praktické souvislosti*. První vydání. Praha: Grada Publishing, 2021. Expert (Grada). ISBN 978-80-271-3230-0.
- [14] *Uzavření cyklu – akční plán EU pro oběhové hospodářství*. 2015. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/cs/TXT/?uri=CELEX%3A52015DC0614>
- [15] *Časopis Stavebnictví: časopis stavebních inženýrů, techniků a podnikatelů*. Brno: EXPO DATA, 2006, . ISSN 1802-2030. Dostupné také z:

- <https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-recyklace-stavebnich-materialu-a-jejich-dalsi-vyuziti.html>
- [16] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2018/852. In: . Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/cs/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0852>
- [17] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2018/850. In: . 2018. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=celex:32018L0850>
- [18] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2019/904. In: . 2019. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=celex%3A32019L0904>
- [19] *Nový zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech: účinnost - 1. ledna 2021*. Praha: Verlag Dashöfer, 2021. Edice AZ - aktuální úplná znění. ISBN 978-80-7635-056-4. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-541>
- [20] MATEMATICKÉ VYJÁDŘENÍ VÝPOČTU „SOUSTAVY INDIKÁTORŮ OH“ V SOULADU S VYHLÁŠKOU č. 273/2021 Sb. (č. 383/2001 Sb.), O PODROBNOSTECH NAKLÁDÁNÍ S ODPADY, V PLATNÉM ZNĚNÍ. In: *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpady_podrubrika/\\$FILE/OODP-Metodika_indikatory_final-20221031.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpady_podrubrika/$FILE/OODP-Metodika_indikatory_final-20221031.pdf)
- [21] Soustava indikátorů OH - ohlašovací rok 2021 (finální data). In: *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpady_podrubrika/\\$FILE/OODP-Indikatory_za%202021_final-20221031.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpady_podrubrika/$FILE/OODP-Indikatory_za%202021_final-20221031.pdf)
- [22] *Vyhláška č. 8/2021 Sb.: Vyhláška o Katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů (Katalog odpadů)*. In: . 2021. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-8>
- [23] O ISPOP. In: *Integrovaný systém plnění ohlašovacích povinností* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.ispop.cz/zakladni-informace/>
- [24] O CENIA. In: *Česká informační agentura životního prostředí* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.cenia.cz/o-cenia/>
- [25] Municipal waste by waste management operations. In: *Eurostat* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_WASMUN__custom_6278207/default/table?lang=en
- [26] PET Collection Rates – UNESDA. In: *UNESDA – European soft drinks industry* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.unesda.eu/pet-collection-rates/>
- [27] Jak se vyvíjí produkce komunálních odpadů v době koronaviru?. In: *Komunální ekologie* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.komunalniekologie.cz/info/jak-se-vyviji-produkce-komunalnich-odpadu-v-dobe-koronaviru>
- [28] NOVELLE DES VERPACKG 2021: WICHTIGE ÄNDERUNGEN. In: *Verpackungsgesetz* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://verpackungsgesetz-info.de/wp-content/uploads/2022/04/fin_in3.pdf
- [29] Skládkování odpadu. In: *Vysoká škola chemicko-technologická v Praze* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/uchop/udalosti/skripta/1ZOZP/odpady/odpady4.htm>
- [30] Co je ZEVO. In: *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/zevo/co-je-zevo>

- [31] První spalovna byla v Brně. In: *Odpad je energie* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <http://www.odpadjeenergie.cz/historie/prvni-spalovna-odpadu-byla-v-brne>
- [32] Statistika energetického využívání odpadů a alternativních paliv 1989–2020. In: *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2021/7/Statistika-EVO-2020.pdf>
- [33] Energetické využití odpadu. In: *Sako Brno a. s.* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.sako.cz/pro-brnaky/cz/801/energeticke-vyuziti-odpadu/>
- [34] Princip technologie ZEVO. In: *Pražské služby a. s.* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.psas.cz/princip-technologie-zevo>
- [35] Za jakých podmínek lze využívat škváru ze ZEVO. In: *Průmyslová ekologie* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.prumyslovaekologie.cz/info/za-jakych-podminek-lze-vyuzivat-skvaru-ze-zevo>
- [36] Podklady pro oblast podpory odpadového a oběhového hospodářství jako součást Programového dokumentu v Operačním programu Životní prostředí 2021–2027: Energetické využití odpadu. In: *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2023-05-23].
- [37] Dotřídování. In: *Jak třídit* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.jaktridit.cz/cz/trideni/dotridovani/>
- [38] V Brně spustili první automatickou dotřídovací linku odpadů v Česku. In: *Odpady – časopis o nakládání s odpady a o životním prostředí*. [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://odpady-online.cz/v-brne-spustili-prvni-automatickou-dotridovaci-linku-odpadu-v-cesku/>
- [39] Ruční dotřídování plastu a papíru je u konce. Stavíme 1. automatickou linku v ČR. In: *Sako Brno a. s.* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.sako.cz/novinka/cz/1574/rucni-dotridovani-plastu-a-papiru-je-u-konce-stavime-1-automatickou-linku-v-cr/>
- [40] Dotřídování směšného komunálního odpadu nezajistí recyklaci materiálů ani splnění cílů EU. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/nakladani-s-odpady/23986-dotridovani-smesneho-komunalniho-odpadu-nezajisti-recyklaci-materialu-ani-splneni-cilu-eu>
- [41] Obce a města chtějí třídit a zpracovávat i směšné odpady. Mohou tím ušetřit za energie i za odpady. In: *ČAOH - Česká Asociace Odpadového Hospodářství* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.caoh.cz/aktuality/obce-a-mesta-chteji-tridit-a-zpracovavat-i-smesne-odpady-mohou-tim-usetrit-za-energie-i-za-odpady.html>
- [42] Bioplynová stanice zpracuje odpady, které jinde nemají využití. In: *Společně udržitelně* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://spolecne-udrzitelne.cz/aktuality/inspirace/bioplynova-stanice-zpracuje-odpady-ktere-jinde-nemaji-vyuziti>
- [43] Jaký je rozdíl mezi odpadářskou a zemědělskou bioplynovou stanicí?. In: *EFG Rapotín BPS s.r.o.* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.efg-rapotin.cz/odpadarske-a-zemedelske-bioplynovy-stanice/>
- [44] Bioplyn a bioplynové stanice v ČR. In: *OEnergetice.cz - denní zpravodajství z energetiky* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/bioplyn-a-bioplynovy-stanice-v-cr>

- [45] *EFG Rapotín BPS* [online]. In: . [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.efg-rapotin.cz/>
- [46] Výstavba komunálních bioplynových stanic s využitím BRKO. In: *Biom* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/bioplynky.pdf>
- [47] Kompostárny zvládnou i kousek plastu nebo živočišný odpad. In: *Ekonews* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://www.ekonews.cz/kompostarny-zvladnou-i-kousek-plastu-nebo-zivocisny-odpad-rika-kompostar/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=kompostarny-zvladnou-i-kousek-plastu-nebo-zivocisny-odpad-rika-kompostar
- [48] Komposty z bioodpadů pomáhají zvyšovat kvalitu půdy. In: *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/news_20220428_mezinarodni_tyden_kompostovani_2022
- [49] PETŘÍČKOVÁ, A. *Efektivní nakládání s biologicky rozložitelným odpadem. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 100 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Gregor.* [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/66700/final-thesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [50] Jak je to s MBÚ. In: *Odpad je energie* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <http://www.odpadjeenergie.cz/mbu-a-jine/mbu/jak-je-to-s-mbu>
- [51] Mechanicko-biologická úprava je slepá ulička. In: *Odpady – časopis o nakládání s odpady a o životním prostředí.* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://odpady-online.cz/mechanicko-biologicka-uprava-je-slepa-ulicka/>
- [52] *Renewable & sustainable energy reviews: Chemical recycling of plastic waste for sustainable material management: A prospective review on catalysts and processes.* Amsterdam: Elsevier, 2022, . ISSN 1364-0321.
- [53] Primary plastic production by polymer type - Our World in Data. In: *Our World in Data* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/grapher/plastic-production-polymer>
- [54] Proč používáme tolik plastů? A má cenu je vůbec recyklovat? Startujeme novou sérii o plastových obalech. In: *Zajímej se* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://zajimej.se/proc-pouzivame-tolik-plastu-a-ma-cenu-je-vubec-recyklovat-startujeme-novou-serii-o-plastovych-obalech/>
- [55] V Dubé představili nový reaktor pro plazmové zplyňování. In: *Technický týdeník. TT* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/veda-vyzkum-inovace/v-dube-predstavili-novy-reaktor-pro-plazmove-zplynovani_54707.html
- [56] Technologie: Plazmové zplyňování odpadu. In: *Millenium Technologies* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://millenium-technologies.cz/technologie/>
- [57] Unikátní plazmový reaktor mění odpad na čistý plyn a snižuje závislost na Rusku. In: *Obnovitelně* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.obnovitelne.cz/clanek/2223/unikatni-plazmovy-reaktor-meni-odpad-na-cisty-plyn-a-snizuje-zavislost-na-rusku>
- [58] *Global trends in municipal solid waste treatment technologies through the lens of sustainable energy development opportunity, Energy, Volume 275, 2023, 127471, ISSN*

- 0360-5442, [online]. In: . [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544223008654>
- [59] Ballistic Separator BRT HARTNER BS. In: *Eggersmann GmbH. Recyclinganlagen & Recyclingmaschinen* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.eggersmann-recyclingtechnology.com/en/recycling-machines/brt-hartner-opening-dosing-and-sorting-systems/products/ballistic-separator-brt-hartner-bs/>
- [60] *A review on automated sorting of source-separated municipal solid waste for recycling, Waste Management, Volume 60, 2017, Pages 56-74, ISSN 0956-053X*, [online]. In: . [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X16305189>

7 Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma oběhového hospodářství [2]	11
Obrázek 2: Hierarchie nakládání s odpady [14]	14
Obrázek 3: Graf produkce komunálního odpadu na obyvatele (2017-2021), zdroj dat: [22] ..	19
Obrázek 4: Graf míry skládkování + ostatní odstranění (2017-2021), zdroj dat: [22]	20
Obrázek 5: Graf míry recyklace (2017-2021), zdroj dat: [22]	20
Obrázek 6: Graf míry energetického využití (2017-2021), zdroj dat: [22]	20
Obrázek 7: Schéma skládky [25]	22
Obrázek 8: Schéma ZEVO [29]	23
Obrázek 9: EFG Rapotín BPS [46]	26
Obrázek 10: Schéma technologie plazmového zplyňování [56]	30

Seznam tabulek

Tabulka 1: Produkce odpadů v ČR (2009-2021), zdroj dat o produkci odpadu [5], zdroj dat o počtu obyvatel (střední stav) [6].....	12
Tabulka 2: Produkce a nakládání s komunálními odpady v ČR (2009-2021) [7].....	12
Tabulka 3: Vyhodnocení indikátorů za rok 2021 [19]	18
Tabulka 4: Porovnání zálohovacích systému s recyklací PET [22]	21
Tabulka 5: Porovnání emisních limitů ZEVO SAKO, Brno [29]	24
Tabulka 6: Typy polymerů [47]	29

8 Seznam zkratek

Zkratka	Význam
BPS	Bioplynová stanice
BRKO	Biologicky rozložitelný komunální odpad
CENIA	Česká informační agentura životního prostředí
ČR	Česká republika
EU	Evropská unie
HDP	Hrubý domácí produkt
HDPE	Polyethylen s vysokou hustotou
ISOH	Informační systém odpadového hospodářství
KO	Komunální odpad
LDPE	Polyethylen s nízkou hustotou
MBÚ	Mechanicko biologická úprava
OH	Odpadové hospodářství
PAU	Polycyklické aromatické uhlovodíky
PCB	Polychlorované bifenyly
PCDD	Polychlorované dibenzodioxiny
PCDF	Polychlorované dibenzofurany
PDISOH	Pracovní databáze informačního systému odpadového hospodářství
PET	Polyethylentereftalát
PPS	Parita kupní síly
PS	Polystyren
PVC	Polyvinylchlorid
SKO	Směsný komunální odpad
TAP	Tuhé alternativní palivo
ZEVO	Zařízení pro energetické využití odpadu