



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

ZÁLOHOVÁNÍ PET OBALŮ JAKO KLÍČOVÝ KROK K UZAVŘENÍ CIRKULÁRNÍ SMYČKY

DEPOSIT REFUND SYSTEM AS A KEY TOOL FOR CIRCULAR ECONOMY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vojtěch Patka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Gregor, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav procesního inženýrství
Student: **Vojtěch Patka**
Studijní program: Základy strojního inženýrství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Gregor, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24

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:

Zálohování PET obalů jako klíčový krok k uzavření cirkulární smyčky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

S rozvojem společnosti a zrychlujícím se životním stylem je velmi populární používat různé druhy obalů. Tyto obaly často bývají dále komplikovaně využívány (jak po ekonomické, tak environmentální stránce) a běžnou praxí je, že se ztrácí jako nevyužitý materiál v energetických koncovkách či přímo na skládkách. Z důvodu stanovení vysokých recyklačních i separačních cílů je velmi zajímavé se detailně podívat na konkrétní typ obalů. V kontextu této práce se jedná o zaměření na obalové PET lahve (nápojové lahve), které budou soustředovány v zcela novém systému.

Cílem práce je detailně popsat na základě dostupných zdrojů a informací zálohový systém pro PET lahve tzv. Deposit refund system. Tento systém je velmi populární zejména v severovýchodních zemích, kde je systém nakládání s odpady řešen odlišným způsobem než v ČR.

Bakalářská práce bude vycházet zejména z cizojazyčných podkladů (angličtina, němčina). Výstupem práce bude popis, porovnání existujících systémů, identifikace kritických míst v procesu a jejich možná řešení.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše dostupných podkladů související se zálohovaným systémem pro PET obaly
Celkový zpracovatelský proces PET lahve – od vrácení až po výrobu nové
Určení kritických bodů v procesu zálohování a jejich možná řešení
Srovnání DRS systémů v Evropě

Seznam doporučené literatury:

How a Deposit Return System Will Complement Ontario's Blue Box Program and Enhance the Circular Economy dostupné z www.reloopplatform.org/wp-content/uploads/2019/06/Ontario-Report-Final-Issued-2.pdf

Deposit return scheme for Scotland: BRIA dostupné z <https://www.gov.scot/publications/deposit-return-scheme-scotland-full-business-regulatory-impact-assessment/pages/1/>

A Deposit Refund System for the Czech Republic dostupné z <https://www.zalohujme.cz/wp-content/uploads/2019/01/A-Deposit-Refund-System-for-the-Czech-Republic.pdf>

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Předkládaná bakalářská práce se zabývá problematikou PET obalů, přesněji nápojovými PET lahvemi, a možným řešením této problematiky využitím zálohového systému, který je označován jako „DRS“. Při porovnání současné situace nakládání s nápojovými PET lahvemi s nastavenými cíli a legislativou EU a ČR lze konstatovat, že je nutné upravit přístup k této části odpadového hospodářství. Moderním přístupem je přístup tzv. cirkulární ekonomiky, která odpad vnímá jako potenciální zdroj materiálu pro opětovnou výrobu. Nástrojem cirkulární ekonomiky je právě DRS, který v Evropě zaznamenává vysokou míru sběru nápojových PET lahví, tj. podíl vrácených lahví a lahví uvedených na trh. DRS však představuje pouze část celkového systému nakládání s nápojovými PET lahvemi, který pro správnou funkčnost vyžaduje efektivní zpracovatelský řetězec. Tento řetězec je v práci podrobně popsán od vrácení použité lahve až po výrobu lahve nové. Značným přínosem jsou v této kapitole informace získané v rozhovorech s odborníky z praxe a během návštěv výrobních linek na PET preformy a PET lahve. Práce je zakončena SWOT analýzou DRS v podmínkách ČR, kde bude zálohový systém zaveden pravděpodobně na začátku roku 2026 a jehož zavedení je v současnosti velmi diskutováno.

KLÍČOVÁ SLOVA

PET lahev, cirkulární ekonomika, DRS, zpracovatelský řetězec, recyklace, preforma, záloha

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the issue of PET packaging, more precisely PET beverage bottles, and with a possible solution to this issue using Deposit Refund System, referred to as „DRS“. When comparing the current situation of PET beverage bottle management with the set targets and legislation of the EU and the Czech Republic, it can be concluded that it is necessary to adjust the approach to this part of waste management. The modern approach is the approach of so called circular economy, which considers waste as a potential source of material for re-production. DRS is a tool of circular economy which indicates high collection rate of PET beverage bottles in EU, i.e. the proportion of bottles returned and bottles placed on the market. However, DRS is only part of the overall PET beverage bottle management system which requires an efficient processing chain to function properly. The chain is described in detail from returning the used bottle to the production of a new one. A significant benefit in this chapter is the information obtained in interviews with experts from practice and during visits to production lines for PET preforms and PET bottles. The thesis is concluded with a SWOT analysis of DRS in the Czech Republic where the deposit system is likely to be introduced at the beginning of 2026 and its introduction is currently being widely discussed.

KEYWORDS

PET bottle, circular economy, DRS, processing chain, recycling, preform, deposit fee

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PATKA, Vojtěch. *Zálohování PET obalů jako klíčový krok k uzavření cirkulární smyčky*. Brno, 2024. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/158076>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního inženýrství. Vedoucí práce Jiří Gregor.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „*Zálohování PET obalů jako klíčový krok k uzavření cirkulární smyčky*“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jiřího Gregora, Ph.D. a s použitím zdrojů, které jsou uvedeny v seznamu použitých zdrojů.

.....

Datum

.....

Vojtěch Patka

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Jiřímu Gregorovi, Ph.D. za odborné vedení a rady, které mi poskytl při vypracování této závěrečné práce. Chtěl bych také poděkovat mé rodině za podporu ve studiu.

Obsah

Úvod.....	11
Motivace a cíle práce.....	12
1 Legislativní pohled na odpadovou problematiku.....	13
1.1 Cíle EU.....	14
1.1.1 Nápojové PET lahve.....	14
1.1.2 Obaly a obalové odpady.....	15
1.1.3 Komunální odpad.....	15
1.2 Cíle ČR.....	16
1.2.1 Obaly a obalový odpad.....	16
1.2.1 Komunální odpad.....	17
2 Nakládání s nápojovými PET lahvemi v ČR a EU.....	18
2.1 Nakládání s obaly a obalovým odpadem.....	20
2.2 Nakládání s komunálním odpadem.....	21
3 Zpracovatelský řetězec nápojové PET lahve s využitím DRS.....	24
3.1 Materiál PET.....	24
3.2 Sběr PET lahví.....	25
3.3 Svoz.....	26
3.4 Dotříd'ovací linka.....	27
3.4.1 Příklad české ruční dotříd'ovací linky na plast.....	27
3.4.2 Automatická třídící linka.....	28
3.5 Výroba PET vložek.....	29
3.6 Výroba regranulátu.....	32
3.6.1 Extruze.....	32
3.6.2 Zvyšování viskozity a tvorba regranulátu.....	34
3.7 Výroba preforem.....	34
3.7.1 Preformy z regranulátu.....	35
3.7.2 Preformy z vložek.....	37
3.8 Vyfukování lahve.....	37
3.9 Doprovodné procesy výroby PET lahve.....	39
3.9.1 Ekodesign.....	39
3.9.2 Víčka.....	39
3.9.3 Etikety.....	40
3.9.4 Chemická recyklace.....	41
4 Deposit Refund System.....	43

4.1	Role DRS v cirkulární ekonomice	43
4.2	Princip DRS.....	43
4.3	DRS v Evropě.....	44
4.3.1	Slovenská republika	45
4.3.2	Německá spolková republika	46
4.3.3	Norské království	46
4.3.4	Celkové shrnutí fungujících DRS v Evropě.....	47
4.4	DRS mimo Evropu	49
4.5	Plán zavedení DRS v České republice	50
4.6	Littering.....	52
5	SWOT analýza DRS	53
5.1	Slabé stránky DRS	53
5.2	Silné stránky DRS	53
5.3	Příležitosti.....	54
5.4	Hrozby.....	55
5.5	Shrnutí	56
	Závěr.....	57
	Seznam použitých zdrojů	59
	Seznam použitých zkratk a symbolů	66
	Seznam obrázků	68
	Seznam tabulek	69

Úvod

V posledních letech dochází ke zvyšování nároků na minimalizaci dopadů na životní prostředí prakticky ve všech odvětvích moderního světa. V kombinaci se zrychlováním životního stylu je řešení otázky efektivního odpadového hospodářství klíčovým krokem pro udržitelné fungování společnosti. S rostoucí populací a zvyšováním životní úrovně se navíc bude množství produkovaného odpadu celosvětově zvyšovat, a proto je vhodné tuto problematiku řešit co nejdříve. V kontextu této problematiky se recyklace stává klíčovým prvkem odpadového hospodářství.

Recyklace hraje klíčovou roli v udržitelném nakládání s odpadem, a to nejen v kontextu obalů z polyethylentereftalátu (dále jen „PET“), ale i širšího spektra materiálů. Efektivní recyklace snižuje potřebu těžby nových surovin a tím minimalizuje negativní dopady na životní prostředí. V Evropské unii (dále jen „EU“) a v České republice (dále jen „ČR“) však stále významné množství odpadu končí na skládkách, spalovnách nebo zařízeních na energetické využití (dále jen „ZEVO“). Tento způsob nakládání s odpadem představuje ztrátu potenciálně cenných materiálů. V posledních letech se na odpad začíná nahlížet jinou optikou a čím dál více se v oblasti odpadového hospodářství používá pojem cirkulární ekonomika.

Cirkulární ekonomiku lze chápat jako model hospodaření, který po využití primárního účelu výrobku neuvažuje jako návazný krok odstraňování odpadu (např. skládkování) nebo energetické využití (palivo, výroba energie). V rámci cirkulární ekonomiky by měl být odpad vnímán jako zdroj pro další, zejména materiálové využívání. Současně je vhodné, aby materiál nebyl využíván v režimu tzv. downcyclingu, kde je materiál zpracován do dále těžko recyklovatelné podoby, ale byl využit jako zdroj pro opětovnou výrobu prvotního výrobku a uzavřel tzv. cirkulární smyčku. Cirkulární ekonomika představuje kromě šetrného přístupu k životnímu prostředí také ekonomický potenciál, a i proto je tak často diskutovaným tématem.

Jako nástroj cirkulární ekonomiky je v této práci analyzován zálohový systém, označovaný nejčastěji zkratkou DRS (Deposit Refund/Return System), na nápojové PET lahve. Tento systém je využíván jak v rámci evropských států, tak i jinde na světě a v ČR jeho zavedení proběhne pravděpodobně na začátku roku 2026. Cirkulární smyčka nápojových PET lahví by v ideálním případě znamenala, že se z jedné vyhozené lahve stane nová lahev, tzv. princip bottle-to-bottle. Tento scénář není samozřejmě zcela reálný, jelikož se ztráty materiálu vyskytují hned v několika místech zpracovatelského procesu. Pro pochopení ztrátových procesů je v práci podrobně rozbrán zpracovatelský řetězec PET lahve.

Motivace a cíle práce

Jedním z velmi diskutovaných témat v oblasti odpadového hospodářství je v současné době oblast obalového materiálu, přesněji nápojových obalů. Jedno z možných řešení této problematiky je zavedení systému DRS. Obvykle jsou skrze DRS sbírány nápojové PET obaly, respektive nápojové PET lahve, a nápojové plechovky. Spojení vratného poplatku a třídění se v dnešní době ukazuje jako konzistentní řešení umožňující dosáhnout cílů stanovených EU, jako je minimální míra sběru plastových nápojových lahví na jedno použití, tedy nápojových PET lahví, a minimální obsah PET recyklátu (dále jen „rPET“) v nápojových PET lahvích. Minimální míra sběru je stanovena do roku 2025 na 77 % a do roku 2029 na 90 %. Minimální obsah rPET je stanoven na 25 % od roku 2025 a 30 % od roku 2030.

Vysoká míra sběru materiálu však sama o sobě není dostačující a pro ideální využití materiálu je žádoucí použití principů cirkulární ekonomiky. S ohledem na tyto cíle a principy cirkulární ekonomiky je plánováno zavedení DRS i na území ČR. Tento systém je v ČR současně aplikován například u lahví ze skla (zejména pивní lahve) a aplikace na PET lahve a plechovky je zavedena například v sousedním Německu a Slovensku. Pro zefektivnění celé cirkulární smyčky nápojových PET lahví je také důležité pochopit jejich zpracovatelský řetězec a určit kritická místa. Zálohovému systému a zpracovatelskému řetězci je dále věnována většina této práce. Cílem této práce je především popsat DRS a určit jeho roli v budoucnosti odpadového hospodářství. Na základě těchto poznatků byly stanoveny následující cíle práce:

1. Rešerše dostupných podkladů související se zálohovým systémem pro PET obaly.
2. Celkový zpracovatelský proces PET lahve – od vrácení až po výrobu nové.
3. Určení kritických bodů v procesu zálohování a jejich možná řešení.
4. Porovnání DRS systémů v Evropě.

Plánované zavedení DRS v ČR je velmi aktuálním a diskutovaným tématem, a právě proto je jeho vyhodnocení dílčím cílem této práce.

1 Legislativní pohled na odpadovou problematiku

V této kapitole je přehledně sumarizována stěžejní legislativa a hlavní cíle související s odpadovou problematikou se zaměřením na PET. Prioritně je pozornost věnována nápojovým PET lahvím, resp. obalům. Tato část práce je stěžejní pro správné porozumění současné situace a potenciálním důvodům, proč má smysl zavádět DRS.

Mezi relevantní legislativní dokumenty patří:

- Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/904 ze dne 5. června 2019 o omezení dopadu některých plastových výrobků na životní prostředí (dále jen „Směrnice 2019/904“).
- 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 (dále jen „Směrnice 2018/852“).
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/850 ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 1999/31/es o skládkách odpadů (dále jen „Směrnice 2018/850“).
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/851 ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 2008/98/ES o odpadech (dále jen „Směrnice 2018/851“).
- Novela zákona č. 244/2022 Sb., zákon, kterým se mění některé zákony v souvislosti s přijetím zákona o omezení dopadu vybraných plastových výrobků na životní prostředí (dále jen „Zákon 244/2022“).
- Zákon č. 477/2001 Sb. o obalech a změně některých zákonů ze dne 4. prosince 2001 (dále jen „Zákon 477/2001“).
- Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech ze dne 1. prosince 2020 (dále jen „zákon 541/2020“).

Současně pro potřeby předkládané práce a porozumění terminologie je zásadní definovat klíčové pojmy z oblasti odpadového hospodářství.

Odpad: „Odpad je každá movitá věc, které se osoba zbavuje, má úmysl nebo povinnost se jí zbavit.“[1]

Komunální odpad (dále jen „KO“): „směsný odpad a tříděný odpad z domácností, zejména papír a lepenka, sklo, kovy, plasty, biologický odpad, dřevo, textil, obaly, odpadní elektrická a elektronická zařízení, odpadní baterie a akumulátory, a objemný odpad, zejména matrace a nábytek; směsný odpad a tříděný odpad z jiných zdrojů, pokud je co do povahy a složení podobný odpadu z domácností;“[1]

Směsný komunální odpad (dále jen „SKO“): jedná se o část KO, která zůstane jako zbytková část po vytrídění využitelných složek, např. papír, sklo, plast, kov, bio odpad, a vytrídění objemného odpadu a potenciálně nebezpečných složek.

Obal: obalem se rozumí produkt sloužící k ochraně a zachování kvality zboží až do jeho spotřeby a lze je rozdělit do následujících kategorií [2]:

- **Prodejní (primární)** – obal, který je součástí výrobku a jeho odstranění by ovlivnilo výrobek, jedná se například o nápojovou lahev či plechovku.
- **Skupinové (sekundární)** – slouží k seskupení více výrobků dohromady a jeho odstranění neovlivní samotný výrobek, typicky plastová folie kolem skupiny PET lahví nebo přepravka.

- **Přepravní (terciární)** – slouží k usnadnění, manipulaci, přepravě či ochraně zboží, jedná se například o přepravní paletu.

Materiálové využití: Je způsob nakládání s odpady, při kterém jsou odpady znovu zpracovány na výrobky, materiály nebo látky pro původní nebo jiné účely jejich použití. Zahrnuje recyklaci a další způsoby využití odpadů jako materiálu. V této práci je materiálové využití sledováno u KO a je z největší části tvořeno recyklací a kompostováním.

Třídění: Je to proces, při kterém je odpad separován do různých kategorií na základě typu či materiálu tak, aby byla následně možná efektivní recyklace.

Recyklace: Proces zpracování odpadu vedoucí k opětovnému využití odpadového materiálu ve výrobního cyklu.

Vločky (flakes): Zpracování druhotné suroviny drcením do podoby vloček pro potřeby následné recyklace. Vločky mohou být obchodovány nebo dále využity ve výrobním procesu zpracování plastů.

rPET: Vzniká zpracováním PET vloček do formy regranulátu, tedy malých granulí o velikosti okolo 3 mm. Je kvalitnější než PET vločky z hlediska potřebných vlastností důležitých pro výrobu PET lahve, jako jsou vnitřní viskozita, homogenita či potřeba rPETu pro potravinářské účely.

1.1 Cíle EU

V této části jsou představeny základní cíle EU, které jsou klíčové v oblasti nápojových PET lahví, obalového odpadu a nakládání s KO. Cíle ČR reflektují cíle EU, proto jsou cíle EU popsány v první řadě.

1.1.1 Nápojové PET lahve

Cíle zaměřené na PET lahve určuje Směrnice 2019/904, která stanovuje množství obsahu podílu regranulátu tzv. rPET v nápojových PET lahvích, které jsou uvedeny na trh [3]:

- Od roku **2025** alespoň **25 %** rPET.
- Od roku **2030** alespoň **30 %** rPET.

Dále ze stejné směrnice vychází povinnost členských států zajistit sběr plastových výrobků na jedno použití za účelem recyklace [3]:

- Do roku **2025** zajistit **77 %** sběr.
- Do roku **2029** zajistit **90 %** sběr.

Tato pravidla se vztahují na: „*Nápojové lahve o objemu až tři litry, včetně jejich uzávěrů a víček, avšak nikoli: a) skleněné nebo kovové nádoby na nápoje, které mají uzávěry a víčka vyrobené z plastu, b) nápojové lahve určené a používané na potraviny pro zvláštní lékařské účely ve smyslu čl. 2 písm. g) nařízení (EU) č. 609/2013, které jsou v kapalné formě.*“ [3]

Dále například od 3. července roku 2024 budou povinná neodnímatelná víčka, která po otevření zůstávají uchycena ke kroužku kolem hrdla lahve (obr. 1) [3].



Obr. 1 Neodnímatelná víčka (tethered caps) [4]

1.1.2 Obaly a obalové odpady

Směrnice 2018/852 stanovuje minimální míru recyklace obalových odpadů. Tato míra je daná na základě hmotnostních procent a liší se pro různé typy materiálu. Minimální míra recyklace obalového materiálu a její dosavadní termíny¹ jsou zobrazeny v tab. 1.

Tab. 1 Recyklační cíle obalového odpadu ([5], vlastní zpracování)

Druh obalového odpadu	Do 31. 12. 2025	Do 31. 12. 2030
	Míra recyklace v %	
Papír a lepenka	75	85
Sklo	70	75
Plast	50	55
Železné kovy	70	80
Hliník	50	60
Dřevo	25	30
Celkem	65	70

1.1.3 Komunální odpad

Cíle ve spojení se skládkováním KO jsou definovány dle Směrnice 2018/850. Nynější cíl k roku 2035 představuje poměrně zásadní skok, který povede ke změnám v přístupu k odpadovému hospodářství členských států. Níže je uveden přehled vytyčených cílů pro maximální míru skládkování KO v jednotlivých letech [6]:

¹ Členské státy mohou termín odložit až o pět let za podmínek: a) odchylka je omezena na nejvýše 15% bodů z jediného cíle nebo rozdělených mezi dva cíle; b) v důsledku odchylky neklesne míra recyklace u žádného cíle pod 30 %; c) v důsledku odchylky neklesne míra recyklace u žádného z cílů uvedených pod 60 %; d) o posunutí zažádají maximálně 24 měsíců před cílovým termínem

- 75 % v 2006 (2010)²
- 50 % v 2009 (2013)
- 35 % v 2016 (2020)
- 10 % v 2035 (2040)

Cíle spojené s materiálovým využitím KO určuje směrnice 2018/851. Cíle pro minimální míru materiálového využití KO jsou³ [7]:

- 55 % do roku 2025
- 60 % do roku 2030
- 65 % do roku 2035

1.2 Cíle ČR

Ačkoliv cíle ČR ve velké míře reflektují cíle EU, v určitých bodech se liší, proto jsou v této části ve stručnosti doplněny. Například míru sběru plastových lahví a obsah rPETu v nich adresuje Zákon 244/2022 a jeho cíle a termíny jsou v přímém souladu se Směrnicí 2019/904, proto zde není blíže rozebírán.

1.2.1 Obaly a obalový odpad

V ČR otázku obalového odpadu řeší Zákon 477/2001, jehož cíle jsou zobrazeny v tab. 2 a liší se v různých bodech od cílů EU. Celkové využití zahrnuje kromě recyklace ještě energetické využití a biologický rozklad. Začátek období je vždy 1.1. a konec 31.12.

Tab. 2 Cíle recyklace a celkového využití obalového odpadu v ČR ([8], vlastní zpracování)

Druh obalového odpadu	2021-2024		2025-2029		2030-2034		2035+	
	A	B	A	B	A	B	A	B
	%	%	%	%	%	%	%	%
Papír a lepenka	75		75		85		85	
Sklo	75		75		75		75	
Plast	50		50		55		55	
Železné kovy	55		70		80		80	
Hliník	-		35		50		60	
Dřevo	15		25		30		30	
Prodejních určených spotřebiteli	50	55	50	55	50	55	50	55
Celkem	70	75	75	80	75	80	75	80

Poznámka: A – Recyklace, B – celkové využití

² Roky uvedené v závorkách u prvních tří cílů představují posunutí termínů realizace u států, kterým EU tuto změnu umožnila v souvislosti s vysokou mírou skládkování KO (nad 80 %) v roce 1995. Odložení cíle 10 % bylo umožněno státům, jejichž míra skládkování KO k roku 2013 převyšovala hranici 60 % (například Řecko, Malta, Kypr). Zároveň však pro tyto státy platí limit 25 % do roku 2035. [7]

³ I zde členské státy mohou zažádat o posunutí termínů až o 5 let, a to pokud jejich míra skládkování KO převyšovala 60 % v roce 2013 a pokud o posunutí zažádají maximálně 24 měsíců před cílovým termínem.[5]

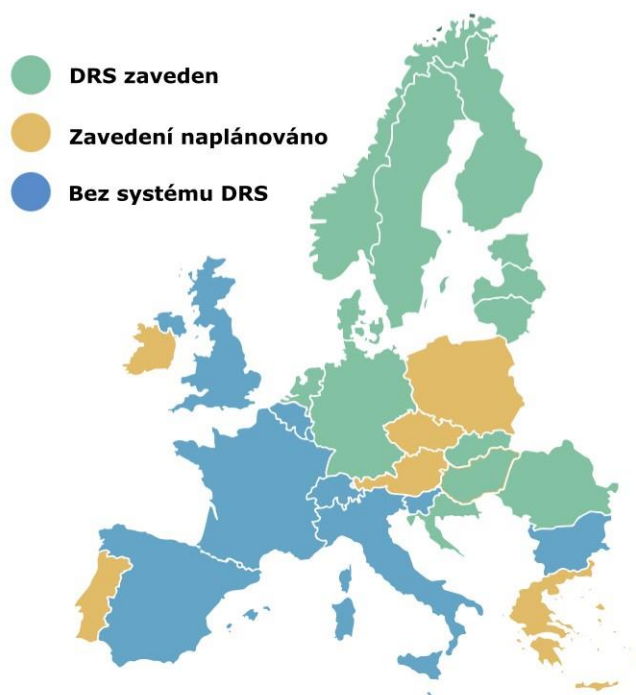
1.2.1 Komunální odpad

Cíle pro nakládání s KO v ČR stanovuje Zákon 541/2020 následovně: „*Obec je povinna zajistit, aby odděleně soustředované recyklovatelné složky komunálního odpadu tvořily v kalendářním roce 2025 a následujících letech alespoň 60 %, v kalendářním roce 2030 a následujících letech alespoň 65 % a v kalendářním roce 2035 a následujících letech alespoň 70 % z celkového množství komunálních odpadů, kterých je v daném kalendářním roce původcem.*“ [1] Skládkování je od 1. ledna 2030 zakázáno pro odpady s výhřevností v sušině vyšší než 6,5 MJ/kg [1]. Průměrná výhřevnost SKO je obecně v rozmezí 8-12 MJ/kg a významný vliv na hodnotu výhřevnosti SKO má úroveň třídění, tedy pokud je vysoká úroveň třídění například papíru a plastu, výhřevnost SKO klesá. V případě, že třídění je na nižší úrovni, objevuje se v SKO velká část spalitelných částí s potenciálně vyšší výhřevností [9].

2 Nakládání s nápojovými PET lahvemi v ČR a EU

V této kapitole je popsána současná situace z hlediska odpadové problematiky související s PET materiálem, zejména s nápojovými PET lahvemi. Také je uvedena situace obalového odpadu a KO, s kterou nápojové PET lahve souvisí.

V roce 2022 se v EU27+3 vysbíralo přibližně 75 % nápojových PET lahví uvedených na trh. V absolutních číslech to činilo 2 340 kt vysbíraných z 3 110 kt uvedených na trh. Jedná se tedy o poměrně zásadní změnu (pozitivní) vzhledem k tomu, že v roce 2020 bylo vysbíráno přibližně 64 % [10]. Z již zmíněné Směrnice 2019/904 se hodnoty třídění blíží k cíli 77 % pro rok 2025. Cíle pro rok 2030 však v současné době aktivně dosahují pouze země se systémem DRS jako například Německo, Dánsko či Litva. Jedinou výjimkou je Belgie s mírou sběru nápojových PET lahví 92 % k roku 2020, a to bez využívání DRS [11]. I v Belgii však probíhají diskuse ohledně potenciálního zavedení DRS systému, zejména kvůli možnému snížení množství pohozeného odpadu, tzv. litteringu, jehož problematika je popsána v kapitole 4.6. Na obr. 2 můžeme vidět aktuální situaci států EU27+3 k zavedení zálohového systému⁴.

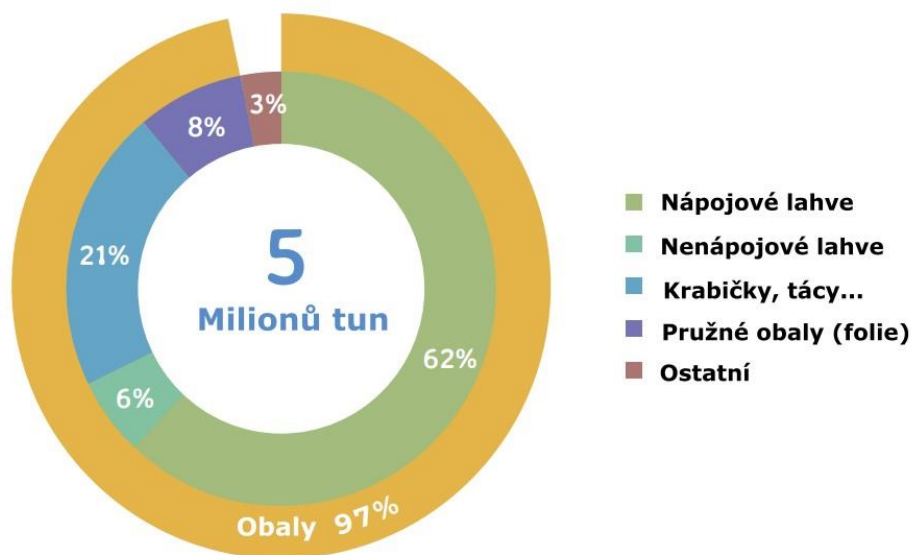


Obr. 2 DRS systém v EU27+3 ([10], upraveno)

Použití PET materiálu v EU27+3 v roce 2022 lze vidět na obr. 3. Je třeba poznamenat, že z tohoto obrázku byl vynechán PET používaný jako polyesterová vlákna, těch bylo uvedeno na trh přibližně 1 700 kt [10]. Z obr. 3 lze také vidět, že nápojové lahve tvoří 62 % z celkového množství PET materiálu uvedeného na trh. To znamená, že DRS neřeší celou problematiku PET odpadu, ale pouze tu nápojovou. DRS nezohledňuje zbytek PET produktů hlavně z důvodu odlišné vnitřní viskozity jiných výrobků, která je klíčová pro výrobu kvalitní PET lahve. Další výhodou odděleného systému pro nápojové PET lahve je splnění požadavků Evropského úřadu pro bezpečnost potravin ohledně potravinářské jakosti rPET. Tento úřad nařizuje, aby PET

⁴ Platné ke květnu 2024

výrobek používaný pro styk s potravinami obsahoval maximálně 5 % nepotravinářského PET materiálu [11]. Dalším důležitým parametrem potravinářské jakosti je například maximální míra migrace materiálu do potravin. Vyprodukovaného rPET bylo v roce 2022 přibližně 1 900 kt a z tohoto bylo 48 % využito na výrobu PET lahví. Průměrný obsah rPET v nápojových lahvích byl přibližně 24 % [10].



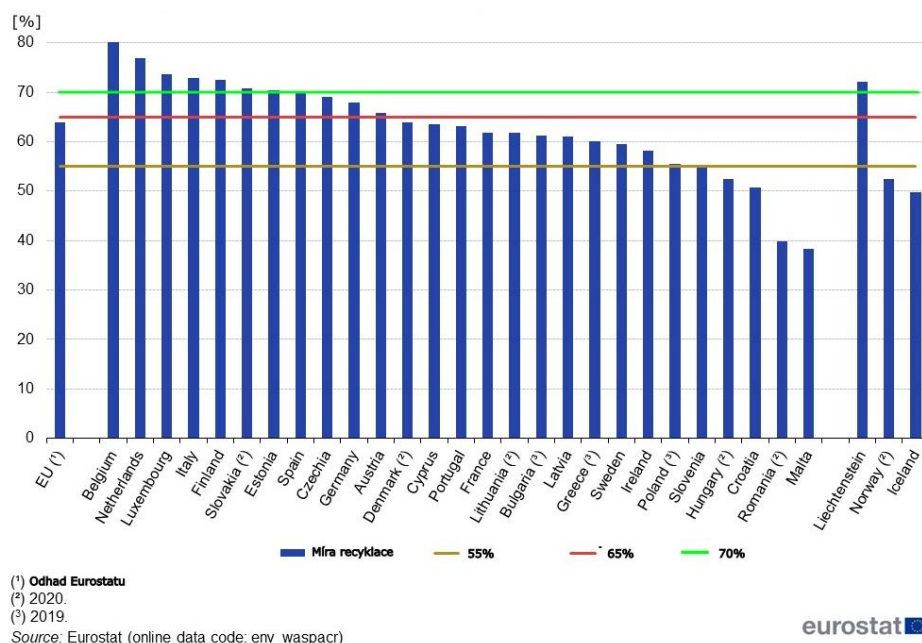
Obr. 3 PET produkty na trhu EU27+3 v roce 2022 ([10], upraveno)

Výpočet hodnoty míry sběru je obecně snadnější u zemí, které mají zavedený DRS, jelikož může být počítán jako podíl počtu PET lahví uvedených na trh a počtu PET lahví naskenovaných v rámci DRS. V ČR, jež zatím nevyužívá DRS, se ani pravidelně neuvádí celková míra sběru PET lahví a uvádí se pouze míra sběru a recyklace plastových obalů. V ČR se navíc do roku 2021 nahlíželo na míru sběru jako na míru recyklace. Pro ujasnění míra sběru, či vytrídění, znamená podíl množství materiálu uvedeného na trh a množství materiálu vysbíraného systémem. Od roku 2021 se recyklace hodnotí až od místa, kdy materiál vstupuje do fáze reálné recyklace, ve které je přepracován na výrobek/materiál/látku, a nikoliv materiál, který je na vstupu do třídící linky (po svozu žluté nádoby) [12]. To zejména u plastů představuje velkou změnu, jelikož na dotřídňovacích linkách dochází k materiálovým ztrátám zejména z důvodu kontaminace a nevhodnosti pro další zpracování. Dle dat společnosti EKO-KOM, tedy autorizované obalové společnosti v ČR, se v roce 2022 vytrídilo 85 % plastových obalů, avšak zrecykluje se pouze 46 % [13]. Podle studie vypracované Institutem cirkulární ekonomiky z roku 2016 se vytrídilo 69,5 % PET lahví umístěných na trh v daném roce.

Podíl obsahu rPET v PET lahvích na českém trhu je přibližně 12 % [14]. Hlavním důvodem nízkého podílu rPET v lahvích je především jeho nákupní cena. Ta je totiž vyšší než cena panenského, tzv. virgin PET materiálu (dále jen „vPET“), který je navíc pro výrobu PET lahví méně problémový. Výrobci tím pádem nemají motivaci přidávat rPET do lahví. Motivace bude jasně stanovena v roce 2025, kdy začne platit povinný podíl regenerátu v nápojových PET lahvích ve výši 25 %. Pro představu o rozdílné ceně byl index ceny PET materiálu v březnu 2024 v Evropě přibližně 1,14 US\$/kg [15] a rPET 1,56 US\$/kg [16].

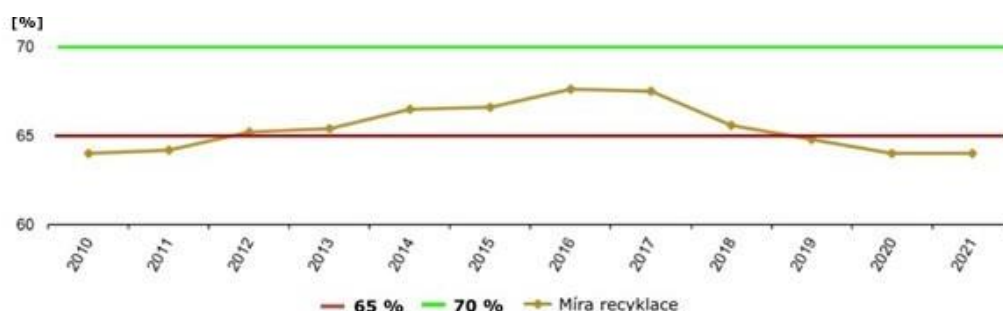
2.1 Nakládání s obaly a obalovým odpadem

Míra recyklace obalového odpadu ve státech EU+Lichtenštejnsko, Norsko, Island je zobrazena na obr. 4. Průměrná míra recyklace obalového odpadu činila 64 % v roce 2021, tedy s ohledem na cíl 65 % v roce 2025 slibně vypadající hodnota. Této hodnoty však dosáhlo pouze 11 z 27 členských států a na další cíl 70 % dosáhlo 8 členských států.



Obr. 4 Míra recyklace obalového odpadu v EU 2021 ([17], upraveno)

Zajímavé je pozorovat trend vývoje míry recyklace v EU zobrazený na obr. 5. Míra recyklace v roce 2021 je shodná s rokem 2010, ačkoliv v roce 2016 byla na hodnotě 67,6 %. Tento pokles je způsoben zejména značnou variabilitou výkupních a nákupních cen.



Obr. 5 Vývoj míry recyklace obalového odpadu v EU ([17], upraveno)

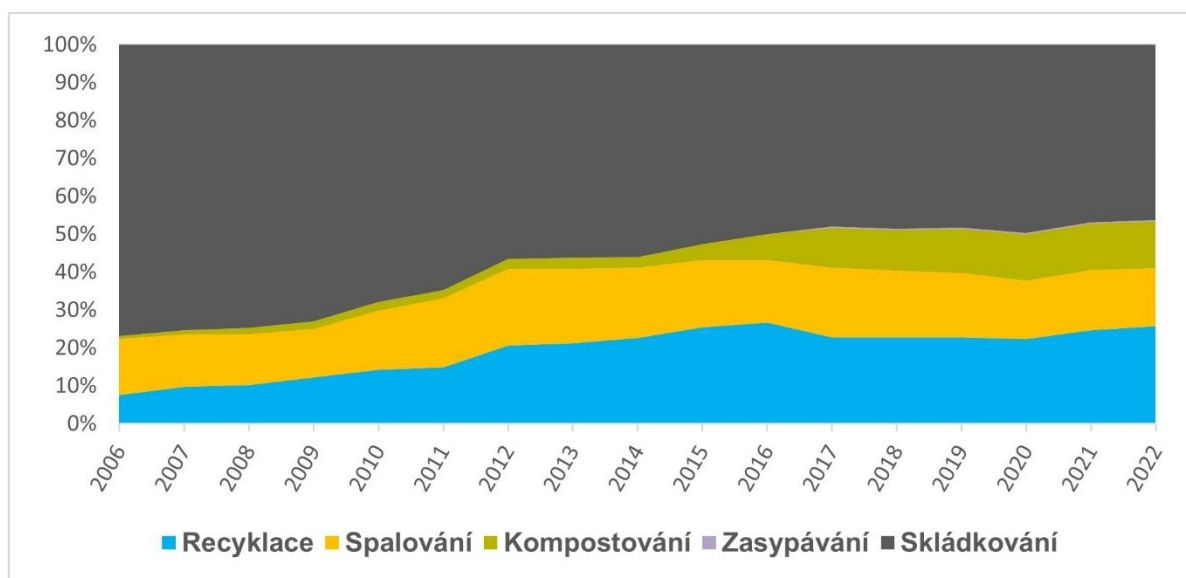
V tab. 3 je uvedena situace v ČR za rok 2022 a pro rychlé porovnání s cíli EU byly zeleně označeny hodnoty splňující cíle EU pro rok 2025 (tab. 1) a červeně hodnoty nespĺňující. Všechny zeleně označené hodnoty dokonce splňují cíle pro rok 2030.

Tab. 3 Využití obalového odpadu v ČR za rok 2022 ([18], vlastní zpracování)

ČR 2022		
Druh obalového odpadu	Recyklace (%)	Celkové využití (%)
Papír a lepenka	91,2	95,9
Sklo	84,6	85,7
Plast	47,2	85
Železné kovy	86,1	86,1
Hliník	28,8	28,8
Dřevo	36,9	41,3
Celkem	71,6	82

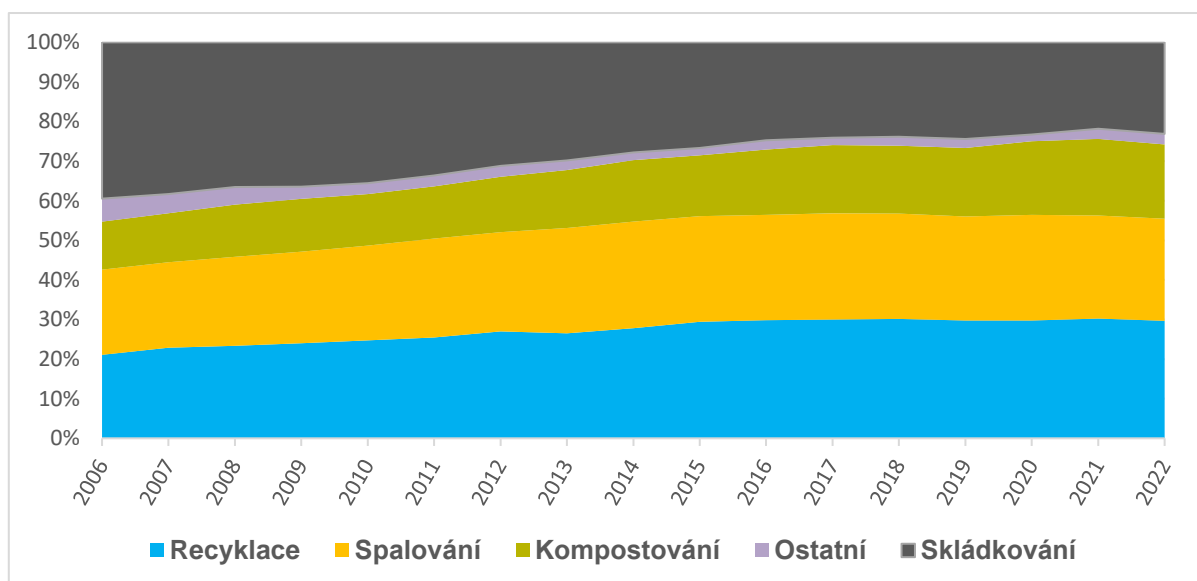
2.2 Nakládání s komunálním odpadem

Obalový plast tvořil v roce 2022 dle Ministerstva životního prostředí (dále jen „MŽP“) průměrně 6,5 % hmotnosti SKO a PET lahve přibližně 1 % [19]. Vývoj nakládání s KO v ČR zobrazuje obr. 6. a jak lze vidět, míra skládkování klesá. Dle dat dostupných z Českého statistického úřadu (dále jen „ČSÚ“) tvořilo v roce 2006 skládkování KO v ČR bez mála 77 % celkového nakládání s KO. V roce 2022 tato hodnota klesla na 46,3 %. V posledních letech však nedochází k zásadním změnám ve skládkování.



Obr. 6 Nakládání s KO v ČR v letech 2006-2022 ([20], vlastní zpracování)

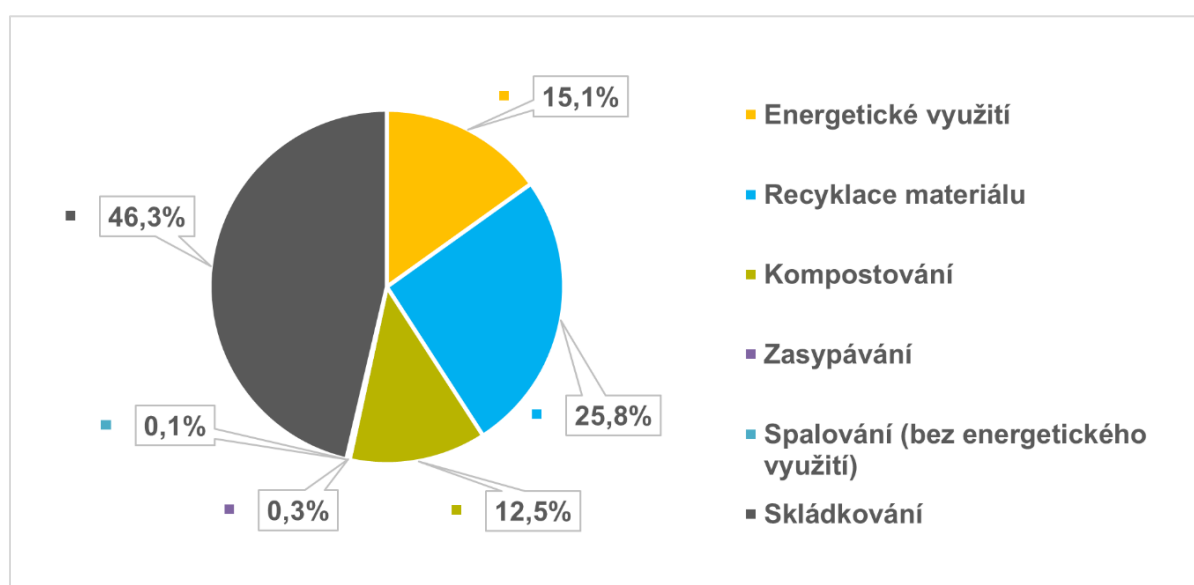
V rámci EU bylo skládkování KO již v roce 2006 na úrovni 39,5 % a v roce 2022 dokonce na úrovni 23 %. K porovnání se situací v ČR lze na obr. 7 vidět vývoj nakládání s KO v EU.



Obr. 7 Nakládání s KO v EU v letech 2006-2022 ([21], vlastní zpracování)

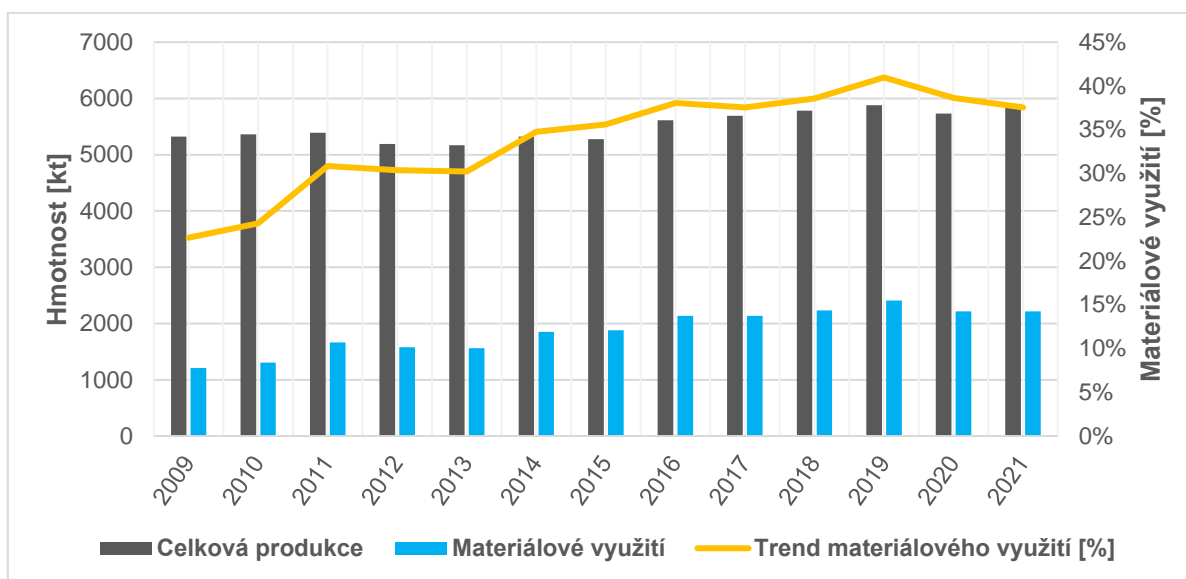
„Spalování“ je v grafech uvažováno jako součet energetického využití odpadů a spalování bez produkce energie. „Ostatní“ je v datech definováno jako rozdíl mezi vyprodukovaným a zpracovaným odpadem, například ztráta vody při skládování. ČSÚ však kategorii „ostatní“ neviduje, na rozdíl od EU však od roku 2017 eviduje zasypávání, to znamená: „že se odpady využily na povrchu terénu pro účely rekultivace vytěžených oblastí nebo pro technické účely při terénních úpravách.“ [22]

Nejenže ČR měla od počátku sledovaného období výrazně vyšší úroveň skládkování, ale i rychlost poklesu nepřevyšovala průměr EU. Je tedy patrné, že v oblasti skládkování je na tom ČR výrazně hůře než země EU a bez odpovídající změny přístupu k odpadovému hospodářství dojde jen velmi obtížně ke splnění stanovených cílů k roku 2035. Dostupná data byla sjednocena pro možnost porovnání se zmíněným rozdílem v kategorii ostatní a zasypávání. Pro plnou představu o nakládání s KO v ČR byl vytvořen obr. 8.



Obr. 8 Nakládání s KO v ČR v roce 2022 ([23], vlastní zpracování)

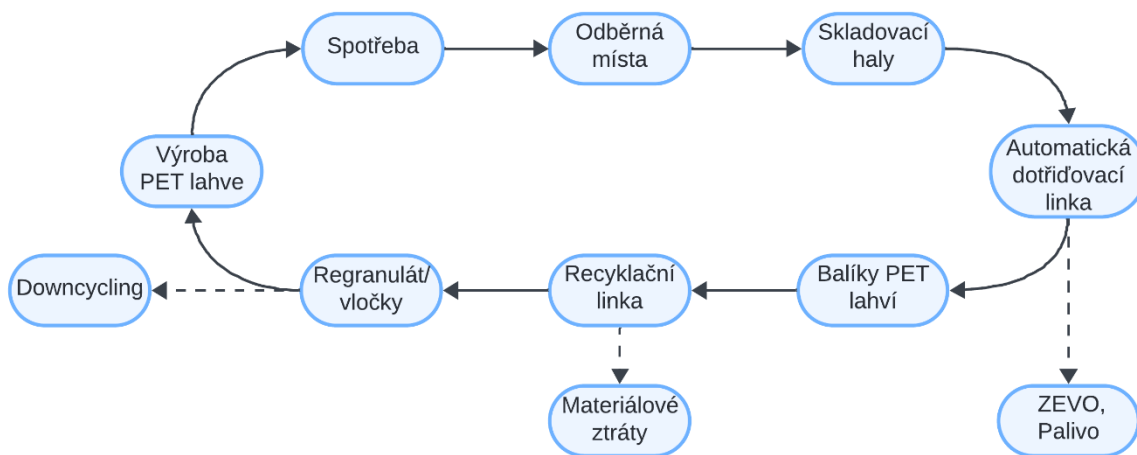
Produkce a materiálové využití KO je shrnuto na obr. 9, na kterém jsou hodnoty vyjádřené hmotnostně ve sloupcích a procentuálně oranžovou spojnici.



Obr. 9 Materiálové využití KO v ČR ([24], vlastní zpracování)

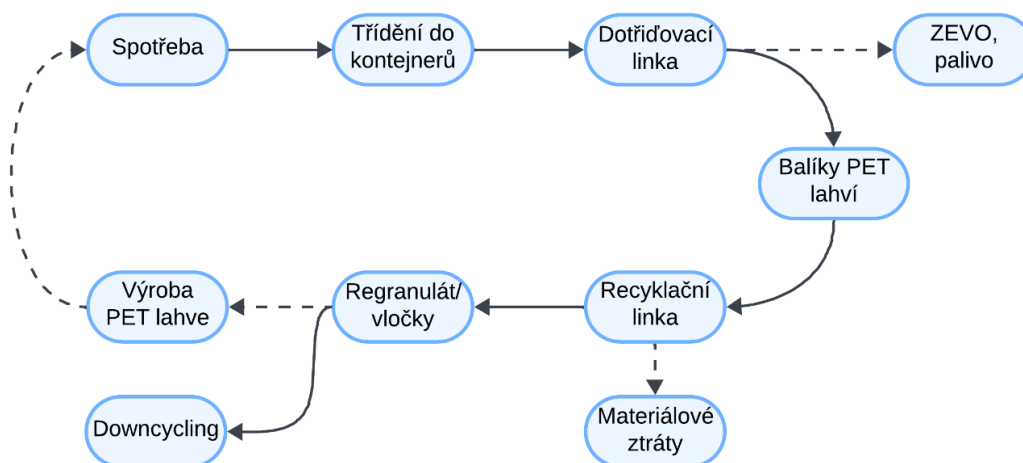
3 Zpracovatelský řetězec nápojové PET lahve s využitím DRS

V této části je popsán typický proces od vrácení nápojové PET lahve v rámci systému DRS, až po výrobu nové s využitím recyklovaného materiálu, tzv. zpracovatelský řetězec PET lahve. Na konci jednotlivých bodů v řetězci je uvedeno kritické místo daného procesu. Před samotným popisem řetězce je vhodné také blíže popsat vlastnosti PET materiálu. Pro rychlý přehled je tento řetězec zjednodušeně a schematicky zobrazen na obr. 10. Tučné čáry představují hlavní materiálový tok a přerušované menší materiálový tok.



Obr. 10 Zpracovatelský řetězec PET lahve s využitím DRS

Pro porovnání je na obr. 11 zobrazen současný zpracovatelský řetězec, který se liší zejména v první části způsobem sběru a svozu a také v množství materiálu, který je odveden z cirkulární smyčky ven.

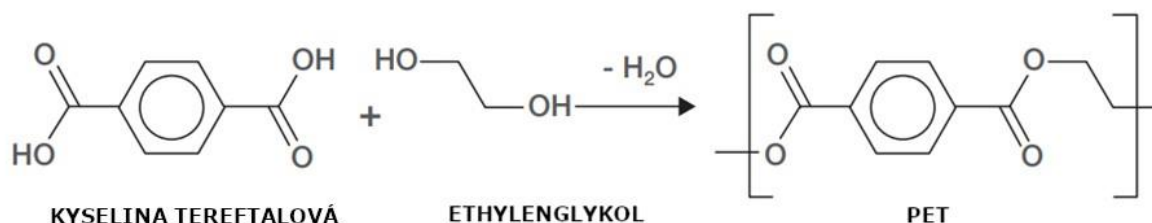


Obr. 11 Současný zpracovatelský řetězec PET lahve v ČR

3.1 Materiál PET

PET je zkratka pro „Polyethylentereftalát“ a vzniká reakcí kyseliny tereftalové a ethylenglykolu. Z chemického hlediska se řadí mezi polyestery, které byly vyvinuty zejména pro použití jako syntetická vlákna se zaměřením do oděvů. Zpočátku, tj. přibližně ve 30. letech

20. století, byl PET využíván zejména jako vlákna a až následně, přibližně v 70. letech 20. století, se začal využívat pro výrobu nápojových lahví. Struktura a chemická rovnice pro PET materiál je zobrazena na obr. 12.[25]



Obr. 12 Chemická reakce PET ([25], upraveno)

Materiál PET může mít podobu krystalické anebo amorfni látky. **Amorfni** PET se vyznačuje dobrými optickými vlastnostmi, transparentností a malou propustností pro plyny jako oxid uhličitý a kyslík. Tyto vlastnosti společně s houževnatostí a tuhostí dělají PET ideálním materiálem pro potravinářský průmysl, kde je používán v obalech, zejména ve formě nápojových lahví. **Krystalický** PET je na rozdíl od amorfniho tvrdý a křehký, a tudíž nevhodný pro zpracování do nápojových lahví, je také typicky zakalený, což je spíše nežádoucí. Příkladem využití krystalické formy PET mohou být tácy, nádoby či krabičky využívané například k zabalení jídla. [26]

Zachování si dobrých mechanických a chemických vlastností i při tenkostěnných aplikacích dělá z PET ideální materiál pro obaly. Například 1,5 l lahev z PET váží obvykle okolo 30 g, což je poměrově vzhledem k hmotnosti plné lahve velmi málo [25]. Tato vlastnost také znamená menší zátěž pro životní prostředí, jelikož se při výrobě lahve spotřebuje menší množství materiálu.

3.2 Sběr PET lahví

V první fázi je PET lahev po použití místo vhození do odpadového kontejneru vrácena do vratných automatů označovaných jako RVM (Reverse Vending Machine) nebo vrácena přes manuální sběrnou síť. Lahev může být lehce zmáčknutá, ale musí mít na sobě bez problému čitelný EAN identifikátor (čárkový kód). Automat naskenuje lahev a vyhodnotí, jestli je lahev možno pustit dál do systému. Většina automatů rozpozná a roztřídí lahev dle barvy, zmáčkne ke zvýšení kapacity a vhodí do předurčeného místa. Počet sesbíraných obalů za minutu záleží na typu automatu, ale obvykle se pohybuje mezi 15 ob./min. pro méně výkonné a okolo 60 ob./min. pro výkonnější automaty. U manuálního odběru zaměstnanec skenuje PET lahve a ukládá je do pytlů k dalšímu zpracování. Po ukončení vracení dostane spotřebitel zálohu zpátky, buď ve formě papírového poukazu anebo přes mobilní aplikaci. Zajímavá je také možnost darování zálohy na charitu nabízenou na automatu. Automaty se dají rozdělit na:

- **Volně stojící automaty** – Hodně využívané zejména z důvodu nízké prostorové a cenové náročnosti. Nevýhodou je menší kapacita a často pomalejší odběr, proto je tento typ vhodný na místa s menším počtem zákazníků. (obr. 13, A).
- **Automaty se zázemím** – Vhodné pro větší obchody, jelikož je nutný prostor pro jejich vestavbu. Pojmou však větší množství lahví/plechovek před nutností výměny koše a rychlejší odběr. (obr. 13, B).

Většina automatů přijímá lahve a plechovky po jednom, existují ale i automaty přijímající velké množství najednou. Takovým automatem je například Tomra R1 (obr. 13, C), který je vhodný do obchodů s velkým počtem lidí.



A – volně stojící

B – se zázemím

C – Tomra R1

Obr. 13 Příklady možných podob RVM automatů; (A [27], B [28], C [29])

Sběr v rámci DRS má určité výhody, ale i nevýhody:

Výhody:

- Nulový kontakt s jiným typem odpadu (materiálový pohled).
- Dostupnost dat ohledně počtu lahví, které systémem projde => transparentnost, datová analytika.
- Zvýšení efektivity možným předběžným roztríděným dle barev a zmáčknutím.

Nevýhody:

- Vysoké pořizovací náklady.
- Pravidelný servis a údržba automatů.
- Nutnost organizace svozů.
- Nutno disponovat skladovacím prostorem pro skladování vybraných PET lahví.
- Obsluha systému.

Kritické místo: Jeden automat se cenově pohybuje průměrně okolo 12 000 € (přibližně 300 tis. Kč), například často využívané automaty Tomra stojí 20 000 € (přibližně 500 tis. Kč) [30]. Společně se servisními náklady představuje tedy velkou vstupní investici pro chod systému. Menší vstupní náklady lze řešit ručními skenery, které jsou řádově levnější, avšak vyžadují obsluhu na místě.

3.3 Svoz

Jedním z řešení problematiky svozu vrácených lahví je využití zpětné cesty zásobovacích aut zboží do obchodů. Zde záleží na nastavení systému, jelikož se může narazit na legislativní problém, který zakazuje vozit odpad a potraviny v jednom voze. Tento problém lze řešit

například vytvořením výjimky, či označením PET lahví jako vratné lahve [31]. Další možností je zařízení speciálních svozů, které by měl na starost správce systému, to však vyžaduje další logistiku a s ní spojené náklady [14]. Svozy odváží vrácené nápojové lahve do skladovacích hal a následně na dotříd'ovací linky. Vhodná optimalizace rozmístění skladovacích hal a dotříd'ovacích linek je klíčová k minimalizaci najetých kilometrů, a tak i celkových nákladů [32].

Aktuálně v ČR fungují automatické dotříd'ovací linky pouze v Brně (SAKO Brno) a v Ostravě (OZO Ostrava). V Ostravě je linka přizpůsobena na třídění i SKO a je tak první svého druhu v ČR. Právě z logistického hlediska však rozmístění nedává smysl, jelikož by svážecí vzdálenosti z východu ČR byly moc velké. Je tedy zřejmé, že bude potřeba zajistit funkčnost linky v Praze, která se momentálně potýká z technickými problémy a je v odstaveném provozu, anebo zajistit automatickou dotříd'ovací linku jinde na území Čech.

Kritické místo: Optimalizace svozových tras, tedy rozmístění skladovacích hal a dotříd'ovacích linek.

3.4 Dotříd'ovací linka

Dotříd'ovací linka slouží k třídění různých druhů materiálu a v případě PET lahví je rozlišena i barva (transparentní, modrá, zelená, červená, další dle obchodního potenciálu), což je důležitým krokem pro výrobu PET vložek popsanou dále. Dotříd'ovací linky mají charakter ruční, poloautomatické nebo plně automatické linky [33]. PET lahve z DRS systému jsou z větší části vyseparovány od jiných materiálů, kromě etiket a víček. Na dotříd'ovací lince u nich tedy dojde hlavně k rozřídění dle barev a lisování do balíků. Lahve z DRS systému by měly být dotříd'ovány v automatických dotříd'ovacích linkách k zachování větší čistoty a minimalizaci materiálových ztrát, avšak je popsána i ruční dotříd'ovací linka, na které je tříděn materiál ze žlutých kontejnerů a kde také dochází k vyřídění PET lahví.

3.4.1 Příklad české ruční dotříd'ovací linky na plast

Svozy vyloží odpad ze žlutých kontejnerů, ten je dále obvykle nahrnován na řetězopásový dopravník vynášející odpad do výšky. Tam se nachází předtříd'ovací stanoviště sloužící ke zjednodušení hlavního třídění [33]. Zde se využívá například bubnový separátor k oddělení plastů od menších nečistot (kusy kovu, skla), které propadnou dírami dolů [34]. Pásový dopravník pak vede odpad přes samotnou třídící kabinu, kde probíhá hlavní třídění. Pracovníci jsou rozděleni do kójí a rozříd'ují odpad nejčastěji do následujících skupin [35]:

- PET lahve: transparentní, modré, zelené, červené a ostatní
- Duté pevné plasty: nejčastěji HDPE a PP (obaly mléčných výrobků, drogerie)
- Folie: LDPE a HDPE (plastové folie), PP⁵ (etikety)
- Pěnový polystyren
- Směsný plast
- Výmět (nezrecyklovatelné)

Pracovníci danou skupinu odpadu vhazují do tzv. shozů. V prvním kroku dopravník vyveze odpad do výšky právě z důvodu možnosti využití shozů. Pod shozy se hromadí materiál, jehož

⁵ Třídění tohoto typu odpadu je obtížné, a proto se často netřídí.

velký objem je nevhodný pro převoz. Ke snížení objemu je využíváno lisů, ty stlačí materiál do tvaru balíku, který už je ideální pro transport a uskladnění. [33]

V roce 2016 byla ztrátovost tohoto procesu 12,1 % z celkového množství PET lahví vydaných na trh, v absolutním čísle pak 6 839 tun [36]. Ztráty jsou zapříčiněny hlavně kontaminací materiálu a lidskou chybovostí. Tyto ztráty jsou využity v cementárnách nebo v ZEVO.

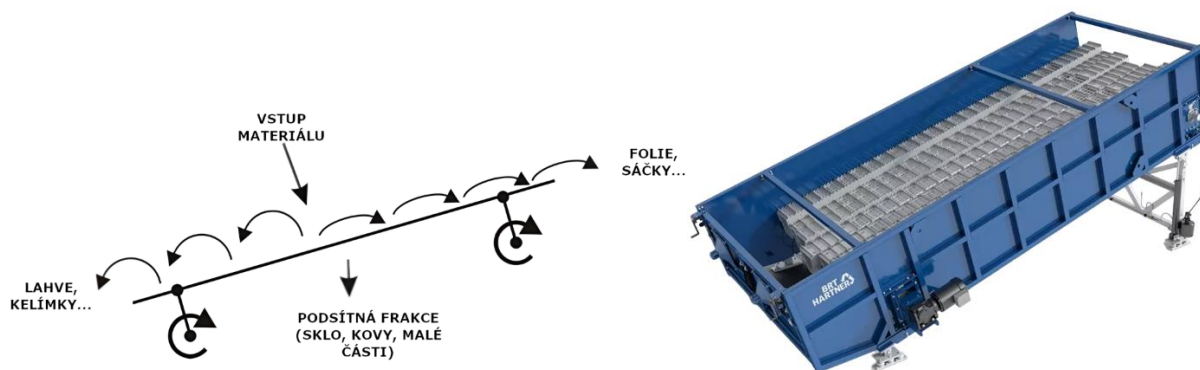
Kritické místo: Ztrátovost procesu zapříčiněna zejména lidskou chybovostí. Přejít na automatické třídící linky představuje příležitost do budoucna, avšak samozřejmě vyžaduje vyšší vstupní náklady.

3.4.2 Automatická třídící linka

Dne 20. 3. 2023 byl v Brně spuštěn provoz první automatické třídící linky na suchou složku v ČR, konkrétně možnost dotřídřovat plast, papír a kov. Princip procesu je podobný jako u ručního třídění, avšak s nahrazením práce lidí stroji. V první části jsou pytle s odpadem roztrhnuty tzv. trhačkou, dále odpad postupuje do bubnového separátoru, který rozdělí odpad dle velikostí [34]:

- Podsítná frakce – malé části
- Střední frakce – pokračuje dále ve třídění (plastové lahve, kelímky)
- Objemné folie – slisovávány do balíků

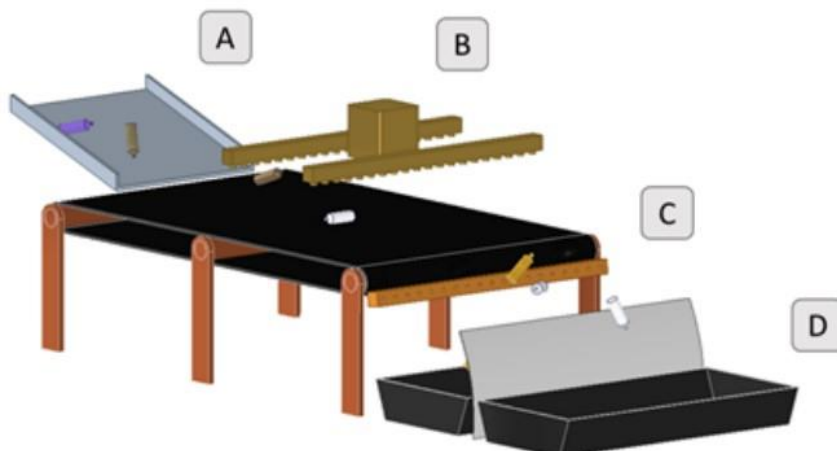
Střední frakce dále prochází přes magnetický separátor odlučující kovové materiály a indukční separátor odlučující neželezné kovy [37]. Následně jde přes balistický separátor, jehož princip a možné provedení tohoto zařízení je vidět na obr. 14. Ve zkratce se rotačním pohybem nakloněných desek s lopatkami opakovaně nadhazuje materiál, kde se tuhý a „3D“ materiál (kelímky, lahve) převalí dolů a lehký plochý „2D“ materiál (folie, sáčky) je dopraven přes vrchní část a dále zpracován [38].



Obr. 14 Princip a provedení balistického separátoru; vlevo ([38], upraveno), vpravo [39]

Materiál, který spadne dolů, prochází přes senzory pro identifikaci materiálu, polohy na páse a barvy. Stěžejním senzorem je pak tzv. NIR (Near-InfraRed), senzor fungující na principu odrazu, respektive absorpce infračerveného záření odpadem. Různé materiály totiž jinak odrážejí světlo, a toho právě tento systém využívá [34]. Na obr. 15 je zobrazen zjednodušený princip využití NIR senzoru. V části **A** probíhá doprava odpadu, v části **B** NIR senzory snímají a posílají k vyhodnocení data o odrazu infračerveného záření, systém mezitím vyhodnotí, o jaký materiál se jedná. V části **C** jsou na základě dat aktivovány vzduchové trysky roztrhávající

odpad. Část **D** představuje buď finální místo dotřídění anebo pás s dalším dotříděním [40]. Na konci je roztríděný odpad slisován lisem.



Obr. 15 Využití NIR sensoru na třídící lince [40]

Specifikace třídící linky SAKO Brno [37]:

- 4,5 tuny odpadu za hodinu
- Až 95% přesnost v zachycení recyklovatelných plastů
- Kapacita 20 tisíc tun plastového odpadu ročně (stará ruční linka měla 6 tisíc tun)
- Čistota třídění až 90 % (u ručních se pohybuje okolo 20 %) [41]

Čistota a přesnost třídění je spíše teoretická, uvedená provozovatelem. Automatická linka v Praze je příkladem, kde se při skutečném provozu nedaří splnit stanovené cíle čistoty a přesnosti. Vyšší čistota a menší chybovost pro PET materiál znamená vyšší kvalitu recyklátu a menší materiálové ztráty.

Kritické místo: Více technologických prvků znamená vyšší možnost poruchy, což při neustálém toku odpadu představuje poměrně značné procesní riziko.

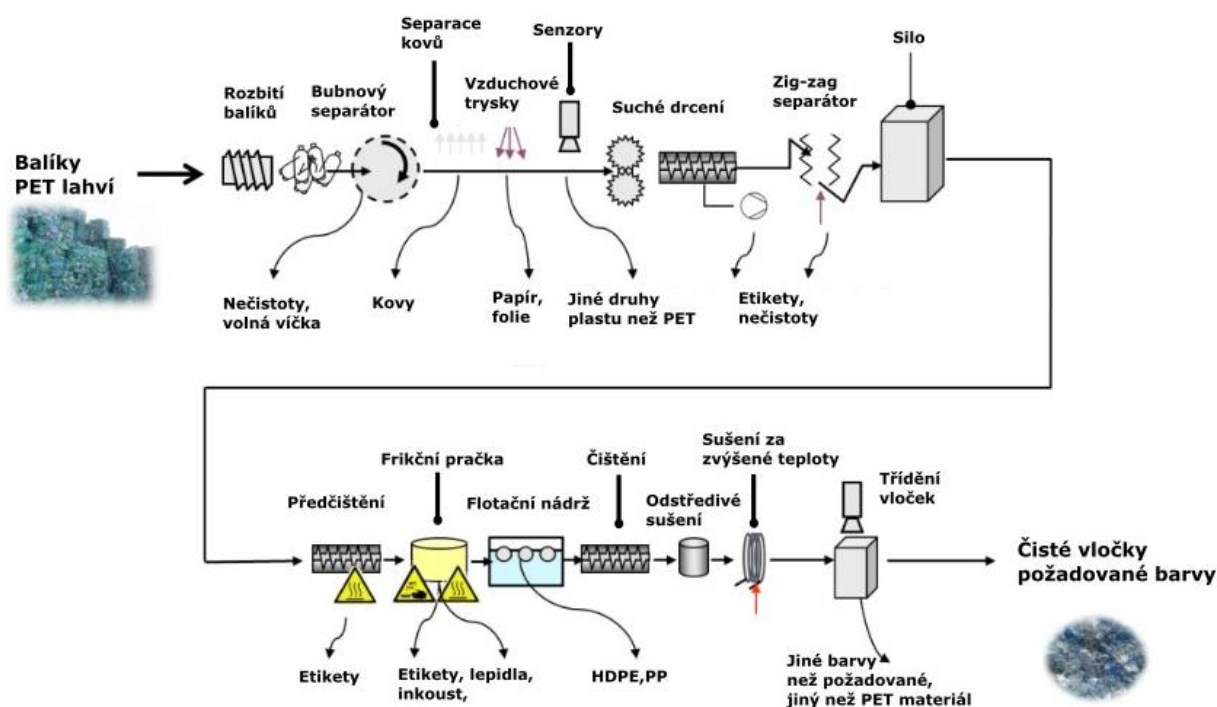
3.5 Výroba PET vloček

Materiál sesbíraný z dotřídňovacích linek je ve slisovaných balících převezen do recyklačních linek. Na těchto linkách je obvykle zpracován PET, HDPE a PP materiál zajištěný předešlým tříděním. Je nutné však zpracovávat pouze jeden druh materiálu najednou, a to hlavně kvůli rozdílným vlastnostem materiálu, jako je teplota tání, vnitřní viskozita či hustota [42]. Na obr. 16 jsou vidět číré PET vločky (flakes), které typicky nemají zcela stejnou barvu ani stejné tvary či velikost. Velikost se pohybuje typicky v rozmezí 1-12 mm [43].



Obr. 16 Čiré PET vločky

Na obr. 17 je schematicky zobrazen typický proces výroby PET vloček, kde prvním krokem je dostat balíky PET lahví do procesu. Vhodné je, aby byl materiál navážen a zpracován po jednotlivých barvách, tak jako jsou vytříděny na dotříd'ovací lince. V první části je v rámci zvýšení čistoty možné zakomponovat optické třídění materiálu a barvy obdobně jako u dotříd'ovací linky.

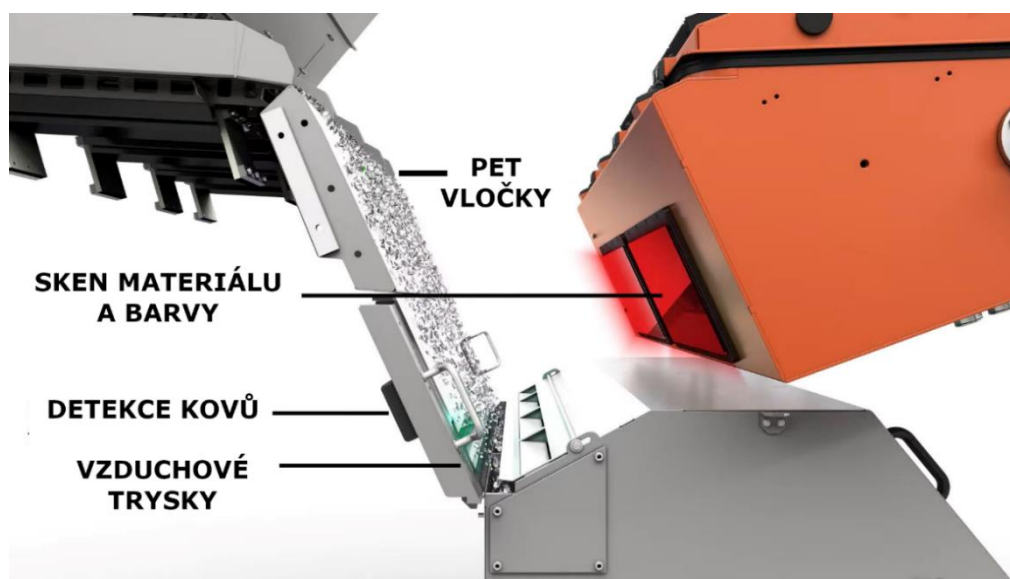


Obr. 17 Schéma procesu výroby PET vloček ([44], upraveno)

Následuje proces suchého drcení, kdy dochází k rozsekání materiálu na vločky o velikosti 1-12 mm [43]. Poté jsou vločky čištěny za zvýšené teploty ve frikčních pračkách, za účelem očištění od lepidel a organického odpadu. Někdy je přidáván hydroxid sodný ke zvýšení čistoty. V této části je také možné další drcení na jemnější vločky. Vyčištěné vločky však nejsou homogenní, což je žádoucí z důvodu kvality a čistoty. Víčka PET lahve jsou obvykle z materiálu HDPE a etikety z PP/PVC. K homogenizaci se využívají flotační nádrže separující plasty podle

hustoty. Ve vodní lázni se plasty s nižší hustotou (PE – 915 kg/m³, PP – 900 kg/m³ [45]) vznášejí na hladině, na rozdíl od materiálu jako PET (hustota okolo 1 330 kg/m³ [26]), ABS nebo PVC, které se potopí dolů. Jelikož hustota těchto materiálů bývá kvůli aditivům rozdílná, je nastavení flotační nádrže důležitým krokem v procesu, případně se v procesu může objevovat víceřadová flotační nádrž. Nastavení může probíhat změnou hustoty lázně, dosaženou například přidáním soli či využitím oleje. Soustava lopatek v nádrži opakovaně ponořuje vločky k zajištění dostatečné separace a vede je ke konci nádrže, kde jsou dále zpracovány. Ponořené vločky na dně nádrže jsou nejčastěji šnekovým dopravníkem unášeny do další části. V dalším kroku procesu je nutné zbavit se přebývající vody, které probíhá v zařízeních využívajících odstředivou sílu. Vločky jsou následně dosušeny v sušičkách se zvýšenou teplotou nepřekračující 60 °C a prouděním vzduchu. [43; 42]

Posledním krokem může být další dotřídění PET vloček dle barvy a případné oddělení zbytkových nečistot. Tento krok není zcela nutný při kvalitně roztříděném vstupu materiálu. Tento proces probíhá v automatických třídících zařízeních, kde je využíván opět NIR senzor v kombinaci s barevným senzorem. Sensory konstantně monitorují tok vloček a vyhodnocují barvu a složení, informaci poté posílají ke vzduchovým tryskám, které oddělují nejčastěji čiré a světle modré vločky od jinak zabarvených vloček. Tento proces je opakován vícekrát k zajištění korektní separace. Oddělený tok vloček od světle modrých a čirých pak může být znovu vytříděný dle barvy nebo ponechaný jako mix barev. Hlavní část automatického třídícího zařízení je vidět na obr. 18, takové zařízení má kapacitu až 6 tun vloček za hodinu [46]. Následně jsou vločky buď uloženy do pytlů jako finální produkt k prodeji, anebo je rovnou výroba navázána na regenerační linku či výrobu preforem.



Obr. 18 Automatické třídící zařízení na PET vločky ([46], upraveno)

Kritické místo: Výroba PET vloček zahrnuje mnoho procesů, za kritické se dá považovat správné nastavení flotační nádrže, ve které dochází k největšímu oddělení různých druhů materiálu.

3.6 Výroba regranulátu

Vstupní surovinou jsou PET vločky popsané v předchozí části. Pokud výroba regranulátu nenavazuje přímo na výrobu PET vloček, je obvyklým prvním krokem sušení k zajištění přesných hodnot vlhkosti a správnému chodu extruze. Zbytková vlhkost by neměla přesahovat hodnotu 0,005 % (50 ppm), čehož je dosaženo v sušičkách prouděním horkého vzduchu [42]. Na obr. 19 je vidět PET regranulát, který je již na pohled znatelně homogennější oproti PET vločkám a má konzistentní barvu.



Obr. 19 Čirý PET regranulát

3.6.1 Extruze

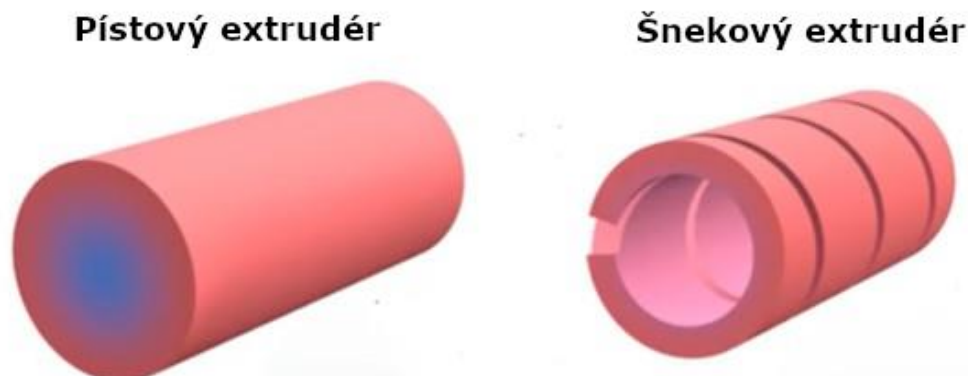
Jako extruze se rozumí proces protlačování materiálu skrz otvor požadovaného tvaru. Další možné využití extruze kromě následujícího výroby PET regranulátu je například výroba trubek, těstovin či folií. Pro ilustraci diametrálně rozdílných aplikací extruze slouží obr. 20.



Obr. 20 Použití extruze pro výrobu trubky [47] a těstovin [48]

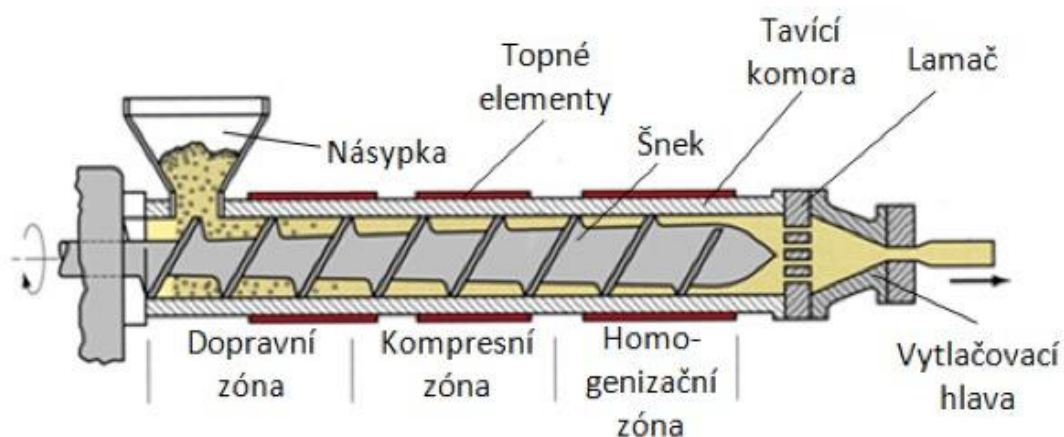
V dnešní době jsou nejčastěji využívány šnekové extrudéry, jejichž hlavní výhoda spočívá v rovnoměrném natavení materiálu, a to navíc s menší potřebou externího zahřívání [49]. Porovnání typického prohřátí užitím pístového a užitím šnekového extrudéru lze vidět na obr. 21. Ideální je rovnoměrné prohřátí materiálu, a tím pádem stejné mechanické vlastnosti

při protlačování. Úkol extruderu je z velkého množství jednotlivých vloček udělat homogenní taveninu a tu následně protlačit přes protlačovací hlavu (matrici) s požadovanými otvory.



Obr. 21 Prohřátí materiálu při extruzi [50]

Schematicky popsané fungování šnekového extruderu lze vidět na obr. 22. V první části extruderu dochází ke stálému dodávání vstupního materiálu do válcové komory s otáčejícím šnekem. První část této komory bývá ohřívána využitím topných těles zajišťujících prvotní natavení materiálu. Šnekové kolo unáší materiál a zároveň ho stlačuje proti stěnám válce, jelikož se zvětšuje průřez šneku. Toto stlačování a tření pak způsobuje zvýšení teploty a tavení materiálu. Jsou rozlišovány jednošnekové a dvoušnekové extrudéry, přičemž hlavní výhodou dvoušnekového extruderu je větší výstupní tlak a rychlejší tavení, které umožňuje použití kratšího šneku, což může být logisticky žádoucí. Obvykle bývá tlak na konci šneku okolo 10-40 MPa [49]. Před vstupem taveniny do vytlačovací hlavy prochází tavenina přes lamač, který slouží zejména k homogenizaci tlaku a rychlosti [49]. Za lamačem je často připevněno síto k zachycení nečistot (jemnost například 50 μm [51]).



Obr. 22 Schéma šnekového extruderu [33]

Kritické místo: Nastavení šnekového extruderu tak, aby do vytlačovací hlavy vstupovala homogenní a rovnoměrně prohřátá tavenina.

3.6.2 Zvyšování viskozity a tvorba regranulátu

Vnitřní viskozita je klíčovou kvalitativní vlastností požadovaného PET materiálu a její cílová hodnota by měla být v blízkosti 0,8 dl/g [42]. Může být využita metoda zvyšování viskozity v tavenině, případně lze nasekat taveninu na granulát a následně zvyšovat viskozitu v něm.

Při zvyšování viskozity v pevné fázi je tavenina tlačena přes protlačovací hlavu tvořící vlákna o průměru⁶ kolem 2,5 mm, ta jsou následně vedena přes vodu, kde dochází k rychlému ochlazení a vytvrzení. Vlákna jsou poté nasekána na tvar granulátu, pro správné zvýšení viskozity je důležité docílit konzistentní velikosti granulátu. Granulát se nechá zkrystalizovat v peci při 160 °C po dobu jedné hodiny. Po vychladnutí je možno přikročit k samotnému zvýšení viskozity. Vhodné je odebrat příliš velké nebo naopak příliš malé granule a změřit vstupní vlhkost granulátu. Poté je granulát umístěn do tzv. rotačního reaktoru, kde je za vakua zvýšena teplota na 170 °C po dobu jedné hodiny, poté se teplota zvedne na 210 °C. Rotace zajišťuje, že se granulát neslepí. [42]

Při zvyšování viskozity v tavenině je tavenina z extrudéru čerpána do tzv. reaktoru, kde je ve vakuu vystavena teplotě 270 °C⁷. Tavenina je poté opět přefiltrována a přes další extrudér protlačena a nasekána na tvary granulí o hmotnosti okolo 15-30 mg. Granule jsou po nasekání ochlazený vodou na teplotu 80 °C a ponechány přibližně 20 minut ke krystalizaci [51].

Zvyšování viskozity v tavenině přeskakuje krok granulování bez zvýšení viskozity a urychluje tak celý proces. Také je šetrnější z pohledu energie, u prvního procesu dochází ke dvojímu zahřívání materiálu a u druhého pouze jednou v rámci natavení.

Kritické místo: Správné nastavení teplot a délky ohřevu, které určuje výslednou vnitřní viskozitu. Dlouhé vystavení zvýšené teplotě znamená příliš vysokou vnitřní viskozitu a příliš krátké naopak nízkou.

3.7 Výroba preforem

Preformy se vyrábějí metodou vstřikování, která je nejrozšířenější technologií na zpracování plastů. Princip fungování spočívá v rychlém vstříknutí nataveného materiálu do formy (dutiny), ve které výrobek ztuhne a získá požadovaný tvar [52]. Na obr. 23 lze vidět porovnání preformy vyrobené čistě z vPET a preformy s obsahem 50 % rPET a 50 % vPET. Takto znatelný rozdíl v zabarvení je viditelný proti bílému pozadí, za přirozeného světla v prostoru je rozdíl méně znatelný a rPET preforma působí spíše kouřově zakalená.

⁶ Hodnota průměru uvedena orientačně, záleží na použité matici a technologii.

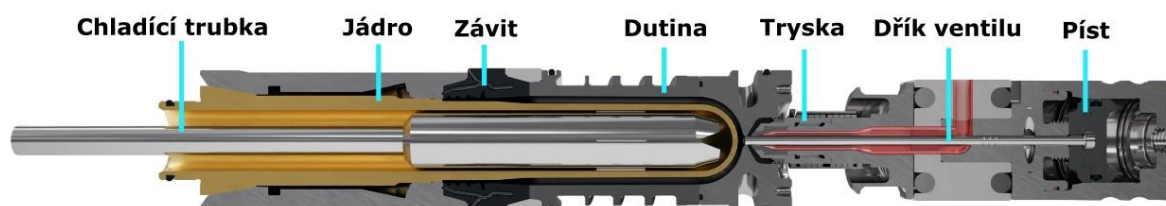
⁷ Jedná se o hodnotu dle způsobu procesu ve zdroji [51], jiné procesní linky pravděpodobně nebudou mít stejnou hodnotu, ale pro orientaci je zde uvedena dohledaná hodnota.



Obr. 23 Preforma z vPET a 50 % rPET

3.7.1 Preformy z regranulátu

Na obr. 24 je popsáno vstříkovací zařízení a červenou barvou je vyznačena tavenina. Využívá se opět extrudér se stejným principem fungování jako na obr. 22. Vstupním materiálem do násypky je regranulát. Extrudér vtláčeje taveninu do komory s tryskou, která propustí taveninu v momentě, kdy je dutina preformy připravena u hrotu trysky [49]. Tavenina rychle zaplní dutinu, která je z obou stran chlazena vodou či jiným mediem. Následně je ztuhlá preforma vytažena z dutiny na jádře a přes hrdlo se závitem oddělena od jádra jako hotový výrobek. Případně může být preforma při oddělování od hrotu ještě vsunuta do protikusu a dochlazena vzduchem.



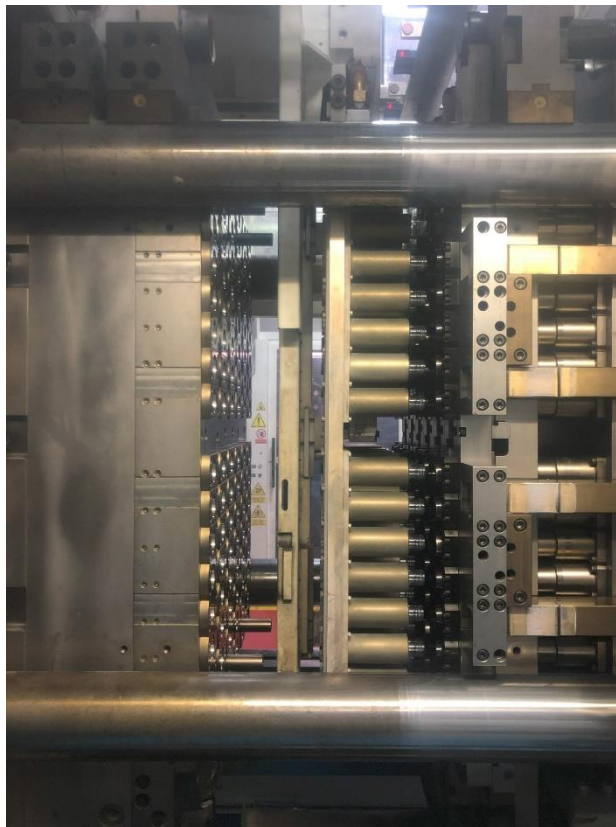
Obr. 24 Schéma vstříkovacího zařízení na výrobu preformy [53]

Na obr. 25 je detail dutiny, kterou zaplnila tavenina. Kolem dutiny lze vidět chlazení vodou a vlevo závitovou část, přes kterou je pevná preforma vytažena z dutiny.



Obr. 25 Detail dutiny na výrobu preformy [53]

Proces se dá provozovat ve velkých rychlostech, například jeden stroj může vstříkovat ve stejný moment do 72 dutin. Klíčové je hlavně zajištění rovnoměrného zahřátí taveniny ve všech dutinách a následné chlazení všech preforem [44]. Na obr. 26 je vidět stroj na výrobu preforem přímo ve výrobě, kde ve vysoké rychlosti proces vstřikování probíhá v několika dutinách zároveň. Například dle informací od výrobce PowerJet dokáže jejich 72 dutinový model vyrobit 20 093 preforem za hodinu, což je necelých 335 preforem za minutu [54].



Obr. 26 Použití stroje ve výrobě preforem

Kritické místo: Výroba preforem často probíhá ve velkých rychlostech a objemech, a proto je důležité zajistit plynulý chod bez přerušení. Důležité je také rovnoměrné prohřátí taveniny a stejná teplota chlazených dutin.

3.7.2 Preformy z vloček

Inovativní řešení v oblasti výroby preforem je přeskočení kroku regranulace a přímé využití taveniny se zvýšenou viskozitou k výrobě PET preforem. Přeskočení regranulace znamená přeskočení chlazení a zahřívání regranulátu a ušetření energie. Dle výrobců zařízení na výrobu preforem přímo z vloček, Husky Technologies, Erema, se jedná o ušetření až 30 % energie oproti výrobě z regranulátu, což dále souvisí s provozními náklady a emisemi CO₂ [55; 56]. Takový systém je však logisticky náročnější, a proto nemusí být vhodnou variantou pro menší výrobce nápojových obalů vyrábějících si vlastní preformy. Pro velkovýrobu se však dá předpokládat, že v budoucnu bude tento systém více využíván i v kontextu povinného přidávání regranulátu do nápojových obalů [44].

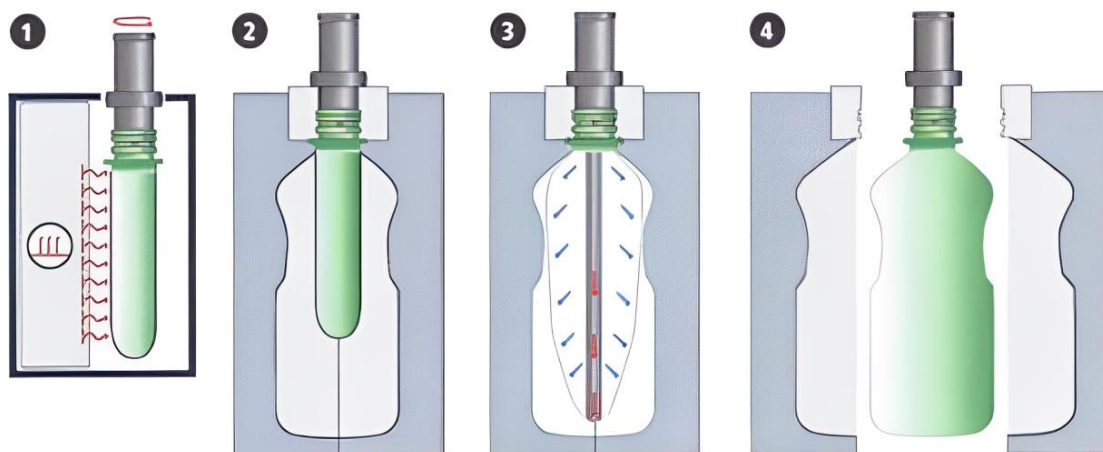
3.8 Vyfukování lahve

Při vyfukování preforem je důležité dbát na správnou teplotu a vlhkost vstupní preformy. Obvykle jsou stroje nastaveny na teplotu vstupních preforem okolo 20 °C, což lze zejména v zimních měsících řešit využitím odpadního tepla ze strojů a skladovat preformy v jejich blízkosti. Linka na vyfukování, např. PEPSI Kolbenova je schopna vyrobit až 25 000 lahví za hodinu. Jakákoliv porucha tak představuje velké ztráty, a proto je důležité mít proces velmi standardizovaný [57]. Na obr. 27 je v blokovém schématu zjednodušeně zobrazen proces vyfukování PET lahve a následného zpracování.



Obr. 27 Blokové schéma procesu vyfukování PET lahve a následného zpracování

Proces vyfukování PET lahve lze vidět v krocích na obr. 28. V první části jsou preformy vedeny přes komoru s halogenovými či infračervenými lampami, které nahřívají preformu v různých částech s výjimkou závitové části. Nastavování míst a intenzity nahřívání ovlivňuje výsledné vlastnosti lahve (tloušťka stěn, kvalita vyfouknutí) a je důležitým krokem v procesu. Při nahřívání se teplota preformy zvýší na přibližně 90–150 °C. V druhé části vstupuje nahřátá preforma do vyfukovací formy, jež má tvar požadovaného návrhu lahve. Po uzavření formy proběhne tzv. předfouknutí, kde vzduch částečně roztáhne preformu a následně výfuk, který proces dokončí. Vyfukovací tlaky se u tohoto procesu pohybují okolo 30 barů. Nakonec se forma otevírá a je chlazená obvykle vzduchem, případně vodou, na konstantní teplotu zajišťující plynulou a stejnou kvalitu chodu. [49; 57]



Obr. 28 Proces vyfukování PET lahve [52]

Vyfukování preforem s obsahem rPET je obecně více problematické oproti vyfukování preforem z vPET. Problém spočívá hlavně v rozdílnosti vlastností jednotlivých dávek kvůli proměnnému složení PET balíků vstupující do recyklační linky. Tyto odlišnosti mohou znamenat určitou nekompatibilitu s předchozím nastavením nahřívání a vyfukování, a tím pádem horší kvalitu a vyšší zmetkovitost [57]. Přenastavení lze provést na základě informací o vlastnostech dané šarže rPET, ale například u vPET se různé dávky i od jiných dodavatelů chovají velmi podobně a není nutné nijak výrazně upravovat nastavení zařízení, což je logisticky výhodné [57]. To, že rPET bude pocházet z více zdrojů a bude tak nehomogenní, by se dalo zlepšit například sjednocením barev na trhu, kvalitnější recyklací či vyšší čistotou třídění.

Správné nastavení procesu vyfukování je klíčové pro mechanické vlastnosti lahve. Lahve jsou testovány v laboratoři, kde jsou měřeny vlastnosti jako tloušťka stěn, hmotnost a pevnost. Dále je testováno, jaký tlak láhev vydrží, kde a kdy praskne. Lahev je plněna vodou a po naplnění zatěžována přetlakem až k prasknutí. Vhodné je, aby lahev praskala po stranách, nikoliv na dně. Další zkouškou je naplnění lahve teplou vodou a sledování změn na lahvi po 24 hodinách. Zajímavé bylo pozorovat test dvou PET lahví stejného designu, avšak s jiným nastavením vyfukovacího procesu. První lahev zdaleka nestihla dokončit proceduru zvyšování tlaku, a navíc praskla na dně. Druhá lahev s upravenými nastaveními už vydržela celý proces a na konci procesu praskla na stěně. Pro orientaci měly lahve vydržet tlak 9,3 barů po dobu 13 sekund. [57]

Vyfouknutá lahev je následně dopravována vzduchovým dopravníkem do části etiketování a plnění. Ještě před plněním jsou lahve otočeny a vystříknuty sterilní vodou k zajištění čistoty a sterility [57]. Naplněné lahve s etiketou jsou dále obaleny smršťující se folií k zajištění soudržnosti. Balíky lahví jsou poté roboticky skládány na paletu a obalovány folií k přepravě.

Popsaný proces uvažuje výrobu z preformy která je vyrobena jiným strojem než použitým pro vyfukování a je často dodávána jiným výrobcem. Této metodě se říká dvoustupňová a je běžnější ve velkovýrobách na PET lahve hlavně díky větší spolehlivosti a rychlosti. Existuje však proces jednostupňového vyfukování, který preformu a vyfouknutí provádí v jednom stroji. Proces je však náročnější a dražší a tím pádem při velkovýrobě nevhodný. Výhodou je větší kvalita, respektive čistota výrobku, jelikož na rozdíl od dvoustupňového vyfoukávání

nepřichází preforma ke kontaktu s okolím a zachovává si lesklý a nepoškozený vzhled. Aplikaci tedy nachází například ve výrobcích kosmetických produktů. [58; 57]

Na obr. 29 lze vidět vyfouknuté a naplněné lahve s různým obsahem rPET, oproti preformám je po vyfouknutí rozdíl v barvě méně znatelný.



Obr. 29 Vyfouknuté lahve s různým obsahem rPET

Kritické místo: Proces podobně jako u preforem probíhá za vysokých rychlostí, a proto je nejdůležitější plynulý chod výroby. Kritické místo je správné nastavení nahřátí preforem pomocí halogenových či infračervených lamp.

3.9 Doprovodné procesy výroby PET lahve

V této části jsou popsány procesy, jež dotvářejí výslednou podobu PET lahve. Popsána je zde také chemická recyklace jako alternativa k mechanické recyklaci, která je v dnešní době využívána.

3.9.1 Ekodesign

Ekodesign je přístup k designu výrobků, který klade důraz na zmírnění negativních dopadů výrobku na životní prostředí. Cílem ekodesignu je vytvořit výrobky, které jsou dobře recyklovatelné a šetrné k životnímu prostředí. Jelikož se jedná o krok na samotném vstupu PET lahve na trh, znamenalo by správné provedení ekodesignu snížení celkové ztrátovosti a ulehčení procesu recyklace. V rámci PET lahve je vhodné například používat vodou rozpustitelná lepidla pro uchycení etiket a obecně snížit počet rozdílných materiálů tvořící PET lahev. Nevhodné je také používání aditiv a barviv. Součástí PET lahve jsou také víčka a etikety, které jsou alespoň v současné době, z jiného materiálu a znamenají tak překážky při recyklaci. V tomto ohledu je důraz kladen na využití frikčních prací a flotačních nádrží.

3.9.2 Víčka

Víčka k lahvím se vyrábějí zejména injekčním vstřikováním či lisováním. Injekční vstřikování je popsáno u výroby PET lahví a pro víčka je proces principově shodný. Lisování probíhá vtlačení nataveného materiálu do dutiny tvaru víčka, tavenina v dutině ztuhne a je odejmuta z dutiny. Výhody injekčního vstřikování jsou hlavně v možnosti přímého vytvoření víčka

s kroužkem na oddělení. U lisování je toto nutné provést v dalším kroku. Lisování však poskytuje obecně nižší energetickou spotřebu a náklady na pořízení. [59]

Obvykle jsou víčka od lahví vyráběna z materiálu HDPE anebo PP. Ke zvýšení efektivity a kvality recyklace je zkoumána možnost užití víček z PET materiálu. V rozhovoru se specialistou z „Husky Technologies“ byla řešena možnost produkce PET víček a z technického hlediska je to v budoucnu velmi pravděpodobné. Také uvedl, že v současné chvíli je problém zejména s oddělováním PET víčka od kroužku dokazující předchozí neotevřenost lahve.

V současné době je však infrastruktura připravena na nutnost oddělování jiných materiálů od PET. Těžko tedy říct, o kolik by se zlepšila kvalita následného PET recyklátu. Na obr. 30 lze vidět, jak by mohla vypadat víčka vyrobená z PET materiálu. Na první pohled lze vidět rozdíl oproti dosavadním víčkům, jelikož je PET transparentní na rozdíl od PP a HDPE, které se vyznačují zakaleností.



A – Víčka z PET materiálu

B – PP/HDPE materiálu

Obr. 30 Víčka z PET materiálu (A, [56]), PP/HDPE materiálu (B, [60])

3.9.3 Etikety

Etikety jsou na lahvích obvykle z těchto materiálů: PETG, PVC, PE a PP. Materiál PETG a PVC jsou z hlediska procesů recyklace méně vhodné, jelikož mají podobnou hustotu jako PET, a proto jsou hůře oddělitelné ve flotační nádrži. PE a PP materiál má hustotu nižší než PET a ve flotační nádrži tak dojde k lepšímu oddělení. [61]

V rámci zvýšení recyklovatelnosti a omezení odpadu zajímavou možností představují bezetiketové lahve. Etikety poskytují zákazníkovi informace o produktu, např. složení a výrobce, dále také EAN kód k zakoupení produktu či jeho vrácení právě přes DRS. V první řadě jsou však marketingovým předmětem výrobců nápojů. Jednou z možností, jak nahradit funkci etiket může být tištění QR kódu na víčko lahve, který by mohl obsahovat informace o produktu. Další způsob je laserové tištění přímo na lahev, to ovšem představuje další krok do procesu výroby a drahé zdržení pro výrobce. Případně je varianta upravení vyfukovací formy tak, aby po vyfouknutí reliéf lahve zobrazoval informace o produktu. [62]

Pro velkovýrobu a prodej v obchodech se zdá být absence etikety na lahvi nevhodná. Pravděpodobně by bylo vhodnější stanovení jednotných podmínek pro výrobce nápojových

lahví z hlediska materiálu etikety. Omezilo by se tak míchání více druhů materiálů na recyklačních linkách. Z hlediska recyklovatelnosti by bylo tedy vhodné jednotně zvolit buď PP nebo PE materiál. Možnou aplikaci by lahve bez etiket mohly v budoucnu najít v síti hotelů, restaurací a kaváren, zkráceně v praxi označované jako HORECA. Tam totiž nutnost etikety není tak velká. Lahve bez etiket testují i velké nápojové značky jako Coca-Cola či Evian a jejich výrobky jsou vidět na obr. 31.



A – Lahve Evian

B – Lahve Coca-Cola

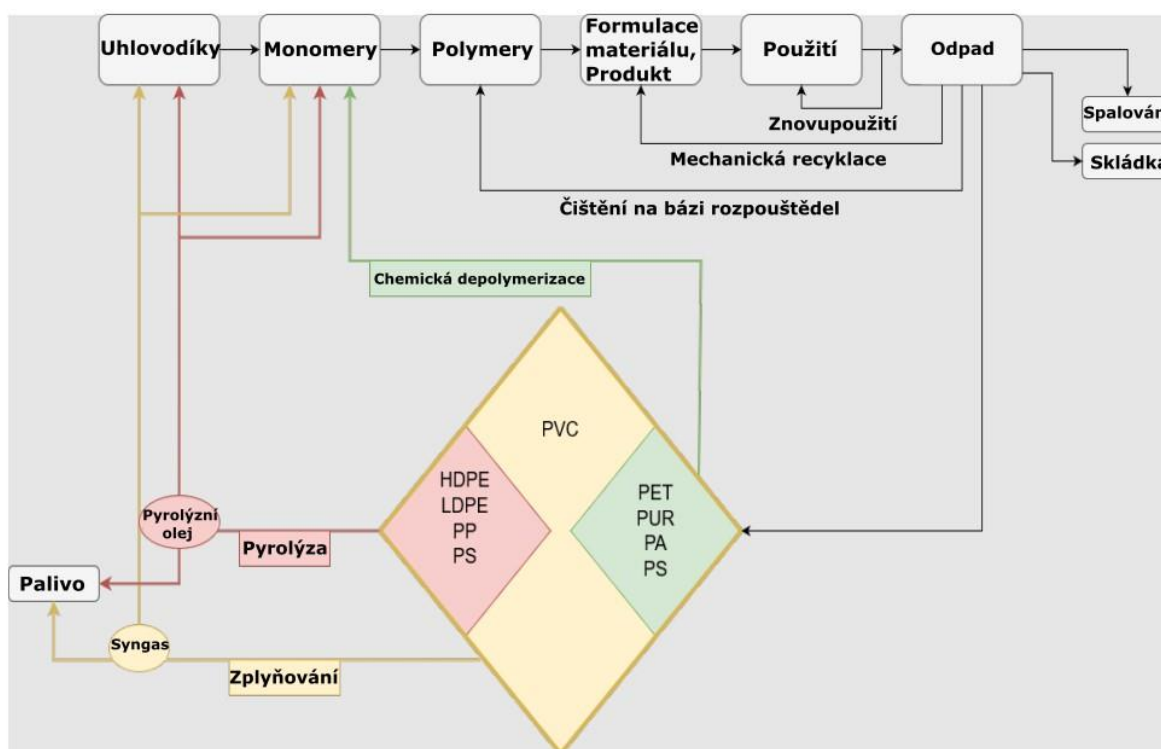
Obr. 31 Lahve bez etikety Evian (A, [63]) a Coca-Cola (B, [64])

3.9.4 Chemická recyklace

Chemická recyklace představuje alternativní způsob k systému mechanické recyklace, která je popsána v 3.5. Princip chemické recyklace spočívá v rozložení polymerních řetězců plastů na původní monomery, z kterých pak lze opět vyrobit původní materiál stejné kvality. Zasahování do chemické struktury je hlavním principiálním rozdílem oproti mechanické recyklaci, která materiál upravuje pouze fyzikálně. Jelikož mechanicky dochází k postupné degradaci materiálu, nabízí chemická recyklace v tomto ohledu teoreticky efektivnější řešení. Blokové schéma procesů chemické recyklace je zobrazeno na obr. 32. Existuje několik způsobů chemické recyklace, přičemž existují dva hlavní principy jejího provedení:

- **Teplotní depolymerizace** – využívá vysoké teploty k přeměně polymerů na jednodušší molekuly. Mezi doposud nejvyužívanější a nejdiskutovanější metody teplotní depolymerizace patří [65]:
 - **Pyrolýza** – probíhá obvykle v prostředí s nízkým obsahem kyslíku a teplotami v rozmezí 300–650 °C a v dnešní době se používá s PP, PE materiálem.
 - **Zplynování** – probíhá za vyšší teploty než pyrolýza v rozmezí 500–1 300 °C také za sníženého kyslíku. Díky vyšším teplotám je možno zpracovat všechny druhy plastů. Prozatím však byl tento proces využíván hlavně jako produkce paliva.

- **Chemická depolymerizace** – Depolymerizace probíhá působením chemikálií a rozlišuje se právě podle použité chemikálie/čínidla na [43]:
 - **Methanolýza** – činidlem je methanol, který s PET reaguje obvykle za teplot 180–280 °C a tlaku 20–40 atm.
 - **Hydrolýza** – činidlem je voda, její nevýhodou je delší doba reakce.
 - **Glykolýza** – činidlem je glykol a jedná se o nejstarší, avšak používanou metodu, opět vyžaduje vysokou teplotu v rozmezí 180–250 °C.



Obr. 32 Schéma procesů chemické recyklace ([65], upraveno)

V oblasti chemického zpracování je poměrně velké množství různých přístupů. Důležité je zmínit, že chemická recyklace je oblast, která je v neustálém vývoji a v budoucnu může představovat stěžejní změnu v recyklaci. Na větší využití chemické recyklace poukazují kapacity chemických recyklačních linek v EU, které byly v roce 2022 pouze 12 000 tun, ale v roce 2027 je dle plánovaných projektů kapacita odhadována na 480 000 tun [10]. U PET lahví bude však nejspíše nadále používána mechanická recyklace [65].

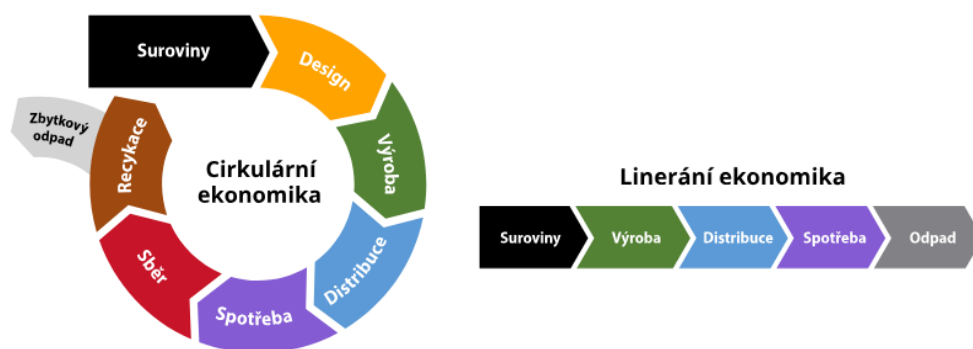
Kritické místo: Obecně je u chemické recyklace velkou komplikací právě energetická náročnost procesů, která je finančně nákladná a ne zcela šetrná z hlediska ekologie. Většina studií zabývajících se problematikou recyklace radí mechanickou recyklaci z hlediska nejmenšího dopadu na životní prostředí na první místo, následuje chemická recyklace, energetické využití a skládkování [65].

4 Deposit Refund System

DRS je jedním z možných způsobů, jak řešit odpadovou problematiku jednorázových nápojových lahví ze skla, hliníku a plastu (zejména materiálu PET). V této kapitole jsou popsány principy DRS a aplikace systému v Evropě a zbytku světa. Dále je také uvedena problematika litteringu, která je velmi často zmiňovaná v souvislosti s PET obaly a zavedením systému DRS.

4.1 Role DRS v cirkulární ekonomice

Nejprve je důležité pochopit roli DRS v rámci cirkulární ekonomiky a stanovit tak reálné předpoklady, čeho má systém dosáhnout. Na obr. 33 je zobrazeno schéma jak cirkulární, tak lineární ekonomiky pro porovnání. DRS tedy v rámci tohoto schématu plní roli sběru vyznačenou červeně a při správném nastavení systému zajišťuje větší využití recyklovaného materiálu a podporuje roli suroviny. V části sběru je cílem vysbírat co největší množství materiálu (nápojových obalů) a DRS je v tomto ohledu v dnešní době efektivním řešením. Navíc je materiál oddělen od ostatních materiálových toků a je proto čistý a více homogenní, což je výhoda pro následné zpracování popsané dále v práci. Rozdíl mezi přístupy cirkulární a lineární ekonomiky je v zacházení s produktem po jeho spotřebě/využití. Zatímco lineární ekonomika uvažuje jako krok po spotřebě odstranění odpadu, cirkulární ekonomika uvažuje po spotřebě zpracování s cílem získání zdroje pro opětovnou výrobu prvotního výrobku. Jak lze vidět na obr. 33, cirkulární přístup vyžaduje více procesů, avšak v uzavřené smyčce za sebou zanechává pouze zbytkový odpad, tedy určité materiálové ztráty během procesů získávání prvotní suroviny. Odměnou za větší množství procesů je však získání vstupní suroviny.



Obr. 33 Schéma cirkulární a lineární ekonomiky [66]

4.2 Princip DRS

DRS je jedním ze způsobů, jak řešit odpadovou problematiku jednorázových nápojových lahví ze skla, hliníku a plastu (zejména materiálu PET). Hlavní princip fungování spočívá v navýšení ceny lahve o výši zálohy, která je při úspěšném vrácení lahve zpětně vyplacena spotřebiteli. Výše této zálohy je různá podle zemí a lze pozorovat větší návratnost lahví u zemí s vyšší zálohou.

Přístup ke sběru materiálu s využitím DRS systému se dá rozdělit na tři základní systémy:

- **Return to retail** – V tomto systému jsou obecně maloobchodníci prodávající jednorázové nápojové lahve zodpovědní za zpětný odběr a vyplácení záloh zákazníkovi. Tento systém je využíván hlavně v Evropě a vykazuje vysokou míru sběru [67].

- **Return to depot** – Vracení lahví a záloh probíhá na místech vytvořených čistě k odběru, tento systém je méně pohodlný pro zákazníky, jelikož je těchto míst méně a nejsou situovány hned na místě nákupu zboží. Tento systém fungování je běžný mimo Evropu a vykazuje horší výsledky míry sběru oproti return to retail [67].
- **Hybrid** – Je kombinací předešlých systémů a funguje například v Dánsku, kde mimo vracení u obchodníků lze vracet i na místech nazývaných jako „Pantstation“, vytvořených čistě pro zpětný odběr nápojových lahví. Tato místa se v Dánsku vyskytují přibližně v 12 městech [68].

Ukázka odběrných míst je zobrazena na obr. 34, mají charakter buďto **manuální** nebo **automatický** skrze RVM. Hustota a rozmístění odběrných míst je opět individuální v dané zemi. Sběrné automaty jsou typicky využívány ve větších obchodech, manuální odběr pak v obchodech menších např. venkovských. Například na Slovensku operují automaty od dodavatelů: TOMRA Collection Slovakia, RVM Systems, Diebold Nixdorf, IMS Service a Envipco Slovakia. Ruční skenery pro manuální sběr dodává např. společnost Sensoneo [69].



A – Manuální sběr

B – Automatický sběr skrze RVM

Obr. 34 Manuální sběr (A) a automatický sběr (B) [70]

4.3 DRS v Evropě

Zde je popsán přístup k DRS v Evropě u vybraných států, které se od sebe v určitých ohledech odlišují. Státy byly vybrány z následujících důvodů:

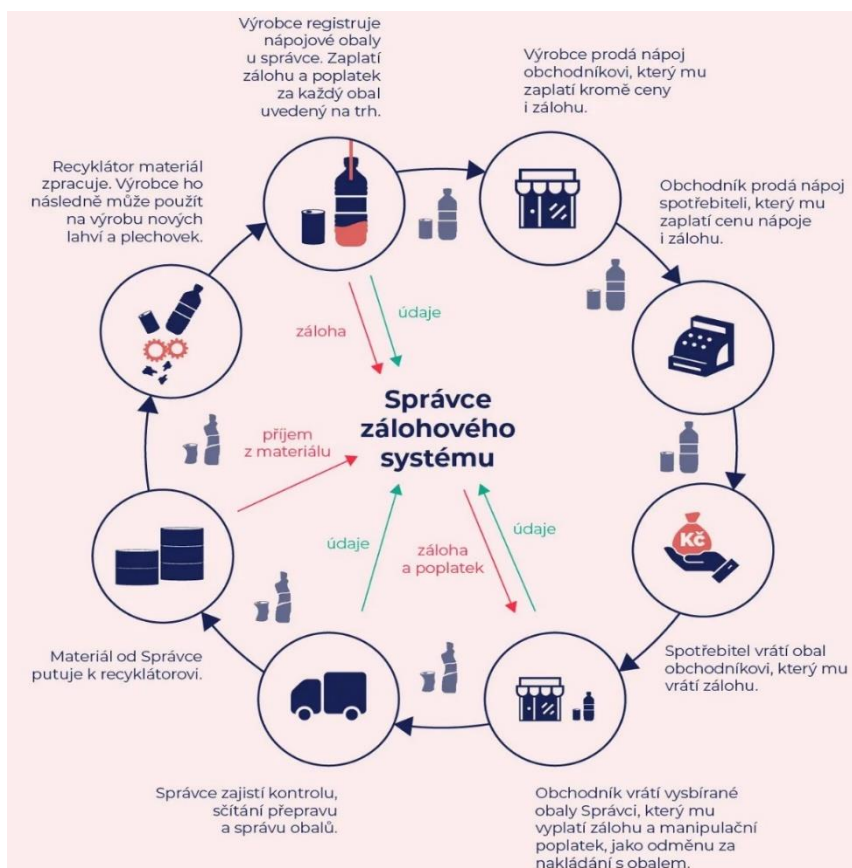
- **Slovenská republika** – Nově zavedený systém, jehož fungování je obdobné jako plánovaný systém v ČR.
- **Německá spolková republika** – Nejvyšší evidovaná míra sběru nápojových PET lahví na světě a decentralizovaný chodu systému.
- **Norské království** – Přístup k zálohování a cirkularitě je pravděpodobně nejvýraznější co se týče legislativních nařízení.

Pro možnost porovnání byly v rámci těchto zemí vždy sledovány tyto faktory:

- Základní informace o systému DRS
- Typ zálohovaných obalů a výše zálohy
- Charakteristika odběrných míst
- Výsledky systému

4.3.1 Slovenská republika

O systému: Systém začal na Slovensku fungovat od 1. 1. 2022 a byl spuštěn přibližně po 10 měsících, standardní zavedení často bývá 1 až 2 roky. Kvůli rychlému zavedení měl však tzv. přechodové období, které znamenalo možnost pro výrobce uvést na trh lahve bez účasti v systému do 31. 1. 2022 a distribuovat lahve až do 30. 6. 2022. K zajištění správného fungování systému byla vytvořena nezisková organizace s názvem „*Správca zálohového systému*“ (dále jen „*Správca*“). Tato organizace zastupuje výrobce nealkoholických nápojů a minerálních vod, výrobce piva a dále zástupce velkoobchodů a maloobchodů [71]. Schéma fungování systému na Slovensku je velmi dobře zobrazeno na obr. 35. Pro doplnění schématu je třeba uvést, že předkupní právo na materiál vysbíraný a zpracovaný přes DRS systém mají vždy výrobci, kteří danou lahev uvedli na trh. Materiál je jim prodáván za předpokladu, že z materiálu opět vyrobí další lahev a uzavrou tak cirkulární smyčku. Pokud odmítnou, *Správca* materiál prodá za tržní cenu, a jelikož se jedná o neziskovou organizaci, výdělek jde zpátky do systému například v podobě nákladů na provoz a prvotní zařízení sítě odběrných míst.



Obr. 35 Schéma fungování DRS systému na Slovensku [14]

Zálohované obaly a výše zálohy: Zálohované jsou nápojové PET lahve a plechovky s objemem 0,1 - 3 l. Za nápoje se na Slovensku považují „*kapalné potraviny obsahující více než 80 % vody, schopné uspokojovat fyziologickou potřebu vody, mezi nápoje nepatří mléko.*“ [71] Výše zálohy je 0,15 € a je jednotná pro plechovky a PET [71].

Odběrná místa: Povinnost odběrného místa je stanovena pro obchody s prodejní plochou nad 300 m². Na konci roku 2023 byl celkový počet odběrných míst 3 269. Z těchto míst bylo pouze

35,5 % povinných, jelikož podmínku nad 300 m² splňovalo pouze 1 161 míst. Automatická odběrná místa, tedy RVM, tvořila 72 % všech odběrných míst. [69]

Výsledky: Za první rok fungování, tedy za rok 2022, zaznamenal systém míru sběru 71 % [32]. Rok 2023 fungoval již v plném provozu mnohem lépe a dle údajů od Správce zaznamenal dokonce míru sběru 92 %, tedy výrazně převyšující cíl stanovený nad 80 % [69]. Dále například 90 % transparentního, modrého, zeleného PET materiálu a 58 % plechovek bylo prodáno zpět výrobcům nápojových obalů a tento materiál byl tedy znovu využit k další výrobě [69].

4.3.2 Německá spolková republika

O systému: Německo zavedlo systém už v roce 2003 a na rozdíl od většiny ostatních států nemá centralizovaný systém fungování DRS. „Deutsche Pfandsystem GmbH“ (dále jen „DPG“) je název neziskové organizace spravující systém a je vlastněn z 50 % obchodníky a z 50 % výrobci nápojových lahví. DPG kontroluje a určuje rámec chodu systému a například nevybrané zálohy a samotný materiál vysbíraný systémem není ve vlastnictví DPG. Výrobce zálohovaných produktů si cenu produktů navyšuje o výši zálohy a prodává obchodníkovi. Ten lahve prodává v obchodech a vysbírává nazpět, poté zažádá výrobce, aby mu vrátil zálohu za vysbírané lahve. Zálohy za nevysbírané lahve jsou tak ve vlastnictví výrobce a materiál ve vlastnictví obchodníka, který ho může prodat recyklačním linkám. [68; 72]

Zálohované obaly a výše zálohy: Jednorázové nápojové lahve o objemu 0,1–3 l ze skla, PET a plechu. Výška zálohy je 0,25 € a patří k těm nejvyšším ve světě. [72]

Odběrná místa: Obchody musí přijímat zpět vždy daný typ jednorázových nápojových obalů, které prodávají. Tedy například obchod prodávající pouze nápoje ve skle nemusí přijímat výrobky z PET [68]. Je na daném obchodníkovi, jestli odběr bude probíhat opět manuálně nebo přes RVM.

Výsledky: Tím, že systém není centralizovaný jako například na Slovensku, je obtížné získat ucelená data o míře vysbíraných lahví. V roce 2021 byla míra sběru PET lahví vysokých 98 % [67]. Forum PET, společnost zabývající se PET průmyslem v Německu, uvádí míru sběru v roce 2023 opět na hodnotě 98 %, neudávají však u tohoto čísla zdroj [73]. Výsledky míry sběru v Německu patří konzistentně k těm nejvyšším ve světě, a to hlavně kvůli vysoké záloze a husté síti vratných míst. Vysoké míry sběru však nejsou jediným parametrem funkčnosti systému a bottle-to-bottle princip není správcem aktivně podporován například ve smyslu nastavení předkupního práva na materiál pro výrobce nápojových lahví.

4.3.3 Norské království

O systému: DRS systém na jednorázové obaly zde funguje už od roku 1999 a řadí se mezi ty nejúspěšnější na světě. Revoluční je na něm zejména přístup legislativy, která určuje tzv. enviromentální daň, která platí pro výrobce jednorázových obalů ze skla, kovu a plastu. Zajímavé na této dani je její proměnlivost v závislosti na míře sběru. Její hodnota začíná na 3,62 NOK, tedy přibližně 0,31 €, za plastovou lahev a 5,99 NOK, tedy přibližně 0,51 €, za kovový obal a je lineárně snižována od míry sběru 25 % do 95 %, kdy už je její hodnota rovna nule [74]. Hodnota daně je však často upravována. Důležité je poznamenat, že výrobce své produkty nemusí zapojovat do DRS systému, v ten moment by však ztratil možnost snížení daně, a tudíž naprostá většina výrobců se systému účastní. Správce systému je společnost „Infinitum“, která je složena z výrobců nápojů a maloobchodních prodejců obdobně jako

na Slovensku. Rozdíl oproti většině zemí je také v tom, že Infinitum vlastní tři dotříd'ovací linky, kam jsou všechny obaly po vysbírání sváženy.[72; 68]

Zálohované obaly a výše zálohy: Zálohované jsou jednorázové nápojové lahve z plastu a kovu o objemu 125 ml – 4,9 l. Tedy zjednodušeně nápojové PET lahve a plechovky. Výše zálohy je rozlišována dle objemu lahví [75]:

- <0,5 l záloha ve výši 2 NOK (0,2 €)
- ≥0,5 l záloha ve výši 3 NOK (0,3 €)

Odběrná místa: Prodejci zálohovaných produktů jsou povinni zajistit sběr a je na prodejci, jestli sběr zařídí přes RVM či manuálně. V Norsku je okolo 3 500 RVM a 11 500 manuálních míst odběru [67].

Výsledky: Za rok 2022 zaznamenal DRS systém míru sběru 92,8 % u PET lahví a 90,6 % u plechovek [76]. Více než 90 % zrecyklovaných lahví bylo použito na výrobu PET potravinářských obalů (krabičky, lahve) a 33 % PET lahví uvedených na trh bylo využito na výrobu nových PET lahví [76]. Snaha o cirkularitu PET lahví a jednorázových obalů je v Norsku vysoká.

4.3.4 Celkové shrnutí fungujících DRS v Evropě

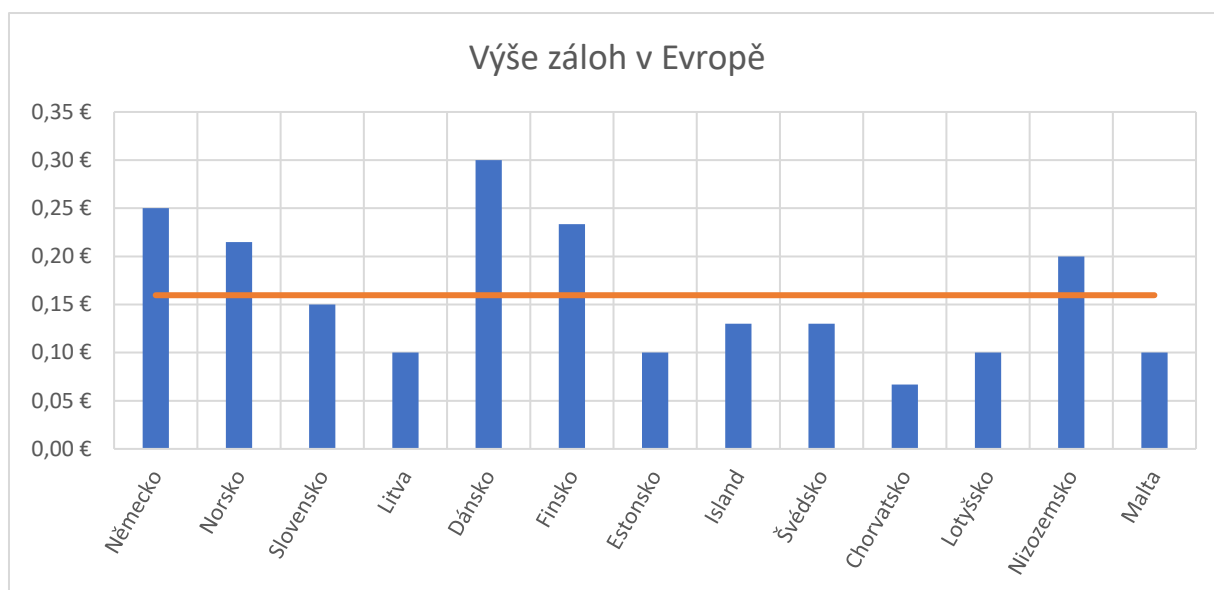
Základní shrnutí fungování DRS v evropských státech je zobrazeno v tab. 4, kde je vždy uvedena míra sběru PET lahví, aktuální vratný poplatek a rok, pro který platí míra sběru. Výše zálohy je také uvedena ve měně dané země, jelikož to je hodnota stanovená systémem. Nicméně pro možnost jednoduchého porovnání byly uvedeny hodnoty i v Eurech, tato hodnota je však proměnná v závislosti na kurzu. V některých zemích mají vratný poplatek proměnný v závislosti na objemu lahve. Země s jednotnou výší zálohy byly ve sloupci „objem lahve“ označeny „-“.

Tab. 4 Přehled výsledků a výše záloh DRS v Evropě (vlastní zpracování)

Země	Míra sběru	Data z roku	Objem lahve	Výše zálohy
Německo	98,0 %	2021	-	0,25 €
Norsko	92,8 %	2022	<0,5 l	0,17 € (2 NOK)
			>0,5 l	0,26 € (3 NOK)
Slovensko	92,0 %	2023	-	0,15 €
Litva	91,2 %	2023	-	0,10 €
Dánsko	91,0 %	2023	<1 l	0,2 € (1,5 DKK)
			≥1 l	0,4€ (3 DKK)
Finsko	90,0 %	2022	<0,35 l	0,10 €
			0,35-0,99 l	0,20 €
			≥ 1 l	0,40 €
Estonsko	88,0 %	2023	-	0,10 €
Island	87,8 %	2023	-	0,13 € (20 ISK)
Švédsko	86,7 %	2022	<1 l	0,09 € (1 SEK)
			>1 l	0,17 € (2 SEK)
Chorvatsko	83,0 %	2021	-	0,067 € (0,5 HRK)
Lotyšsko	75,0 %	2023	-	0,10 €
Nizozemsko	75,0 %	2022	<1 l	0,15 €
			≥1 l	0,25 €
Malta	75,0 %	2023	-	0,10 €
Průměr				
	86,6 %			0,160 €
Medián				
	88,0 %			0,130 €

Poznámka k datům: Většina dat pochází přímo z dostupných výkazů fungování systému v dané zemi. Celkový průměr byl počítán z průměrných hodnot záloh v zemích, tedy například u Dánska bylo počítáno s hodnotou 0,3 €. Dalšími státy s DRS jsou Rumunsko, které systém implementovalo v prosinci 2023, a Maďarsko, které systém zavedlo na začátku roku 2024 s přechodným obdobím. Tyto státy byly z porovnání vynechány, jelikož ještě neposkytují relevantní data. Výše záloh v Rumunsku je 0,5 RON (0,1 €) a v Maďarsku 50 HUF (0,13 €) [77]. V Nizozemsku byl v červenci 2021 rozšířen zálohový systém na lahve o objemu menším než 1 litr [72]. V roce 2022 se tato změna promítla na snížené míře sběru 75 % s tím, že lahvích o objemu ≥ 1 l se vybíralo 88 % zatímco lahví menších než 1 l pouze 58 % [78]. Lze tedy očekávat, že po lepší informovanosti občanů se tento rozdíl vyrovná. U Malty a Lotyšska jsou data za první půlrok roku 2023 a vykazují menší míru sběru, jelikož byl systém zaveden v rámci roku 2022.

Pro názorný přehled výše záloh byl z tab. 4 vytvořen souhrnný a srovnávací obr. 36, ze kterého lze například vidět, že země s větší mírou sběru mají vyšší hodnotu zálohy. Země jsou seřazeny stejně jako v tabulce tedy sestupně dle hodnot míry sběru. Oranžová vodorovná čára představuje průměrnou výši záloh.



Obr. 36 Výše záloh v Evropě (vlastní zpracování)

4.4 DRS mimo Evropu

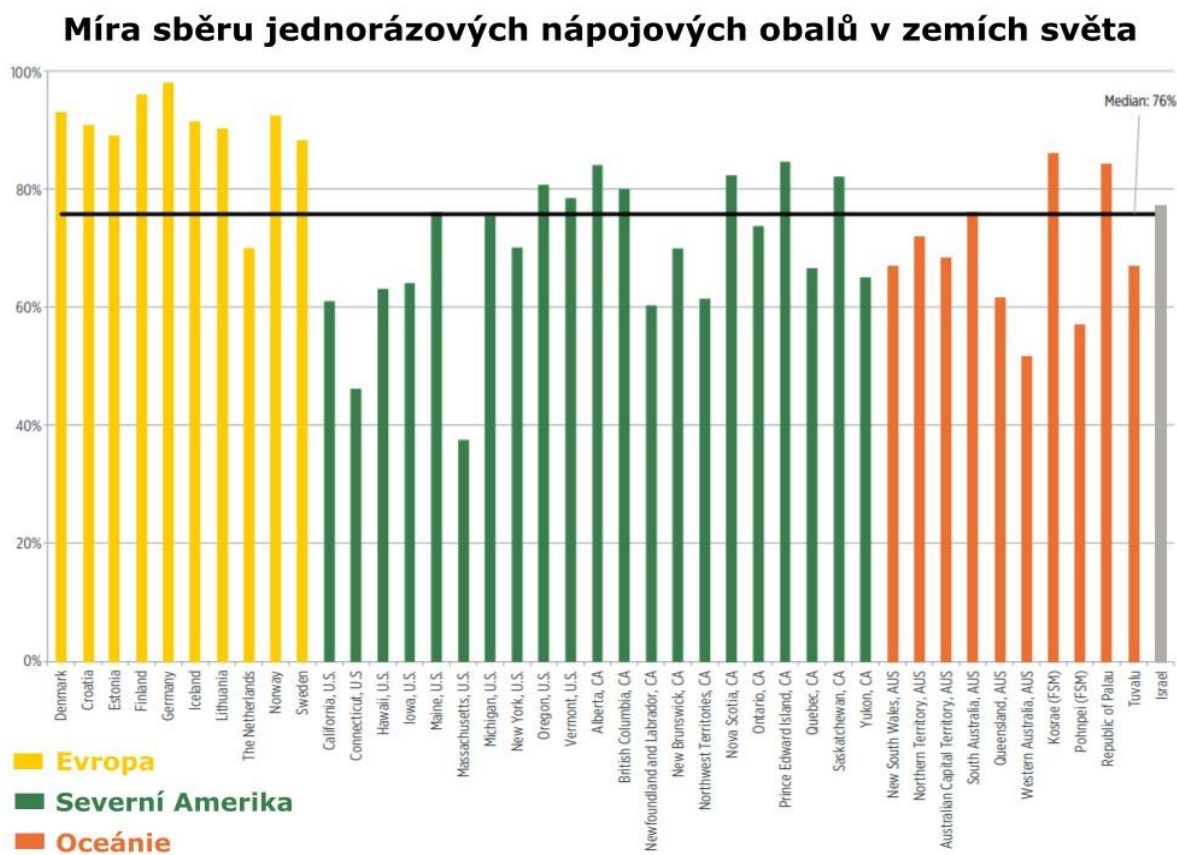
DRS systém není záležitostí pouze evropských států a je funkční například v USA, Kanadě či Austrálii. Hodnoty sběru jednorázových nápojových obalů však nedosahují takových hodnot jako v Evropě, kde je průměrná míra sběru okolo 87 %. Průměrná míra sběru v USA je přibližně 65 %, v Austrálii 66 % a v Kanadě 74 % [67]. Jako hlavní důvody menší míry sběru se dají považovat:

1. **Nižší vratný poplatek** – Korelace mezi mírou sběru a výší vratného poplatku je dokázána například v Albertě či Oregonu, kde po zvýšení poplatku vzrostla i míra sběru v následujících letech. Ve většině amerických států a kanadských provincií je však vratný poplatek nižší než 0,07 \$. Například nejlépe fungující americký stát Oregon s mírou sběru 81 % má vratný poplatek vyšší na hodnotě 0,1 \$. Oregon však nepatřil mezi nejlépe fungující americké státy s mírou sběru 64 % v roce 2016, do té doby výše zálohy činila 0,05 \$. Změna hodnoty vratného poplatku přišla v Oregonu v roce 2017. Stejně tak lépe fungující provincie v Kanadě mají společný prvek v mírně větším vratném poplatku kolem hodnot 0,07 – 0,09 \$ [75].
2. **Menší legislativní kroky** – EU a evropské státy kladou větší důraz na tuto problematiku a vydávají zákony/směrnice ohledně plnění cílů. Ve zbytku světa však takový přístup není obvyklý.
3. **Fungování systému** – Ve světě je používán hlavně *Return to depot* systém popsany v 4.2 vykazující horší výsledky. V Norsku připadá na jedno odběrné místo přibližně 360 obyvatel, zatímco v Kalifornii skoro 11 000 obyvatel.

Na obr. 37 lze vidět míru sběru jednotlivých zemí/států barevně rozlišených dle geografické příslušnosti. Jak bylo již řečeno a jak je z obr. 37 patrné, evropské státy se vyznačují nejlepšími výsledky. Tento obrázek pochází ze zprávy „Global Deposit Book 2022⁸“ vydávané společností Reloop, která vždy po dvou letech vydává shrnutí výsledků a fungování DRS systémů ve světě. Důležité je si uvědomit, že data pocházejí především z výkazů států z let 2020 a 2021 a některá

⁸ Dostupné z: <https://www.reloopplatform.org/resources/global-deposit-book-2022/>

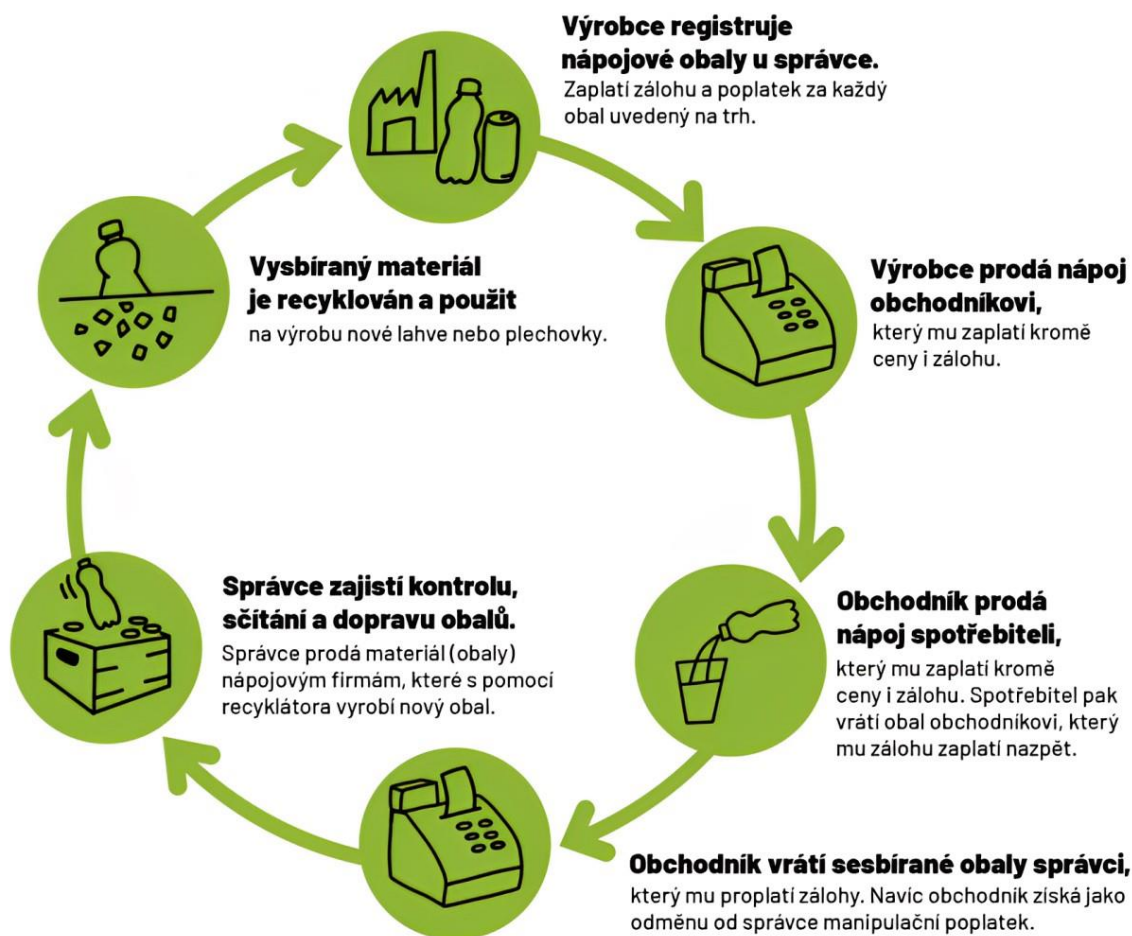
data jsou proto ovlivněna pandemií COVID-19. Pro představu fungování DRS systému ve světě je však obrázek dostačující. Méně ovlivněná data poskytne následující zpráva, která by měla vyjít na konci roku 2024.



Obr. 37 Míra sběru jednorázových nápojových obalů v zemích světa ([67], upraveno)

4.5 Plán zavedení DRS v České republice

O systému: První zprávy Ministerstva životního prostředí zmiňovaly termín zavedení DRS v ČR v červenci roku 2025, avšak právě po úspěšném uvedení systému na Slovensku se očekává spuštění systému až na začátku roku 2026 [79]. Platnost DRS systému bude dána Novelou z. č. 477/2001 Sb., o obalech. Správcem depozitního systému budou zástupci výrobců nápojových PET obalů a plechovek. Ti budou akcionáři v neziskové společnosti, jež bude nazývána jako „Operátor“. K fungování Operátora se pak MŽP vyjadřuje následovně: „*Ministerstvo životního prostředí operátorovi uděluje autorizaci a kontroluje jeho činnost jako u jiných kolektivních systémů. Operátor bude financován z poplatků výrobců, výnosů z prodeje druhotných surovin a nevyplacených záloh. Mimo jiné bude mít na starosti osvětu a zajištění informací pro spotřebitele.*“ [80] V ČR je plánovaný princip fungování zobrazen na obr. 38 a je prakticky shodný s principem fungování na Slovensku (obr. 35).



Obr. 38 Schéma plánovaného fungování DRS systému v ČR [81]

Zálohované obaly a výše zálohy: Je předpoklad, že se budou zálohovat plastové lahve a plechovky o objemu 0,1 - 3 l od nealkoholických nápojů a nápojů s obsahem alkoholu do 15 %. Výše zálohy je aktuálně uvažována ve výši 4 Kč, což odpovídá přibližně 0,17 € při uvažování průměrného kurzu za rok 2023: 1 EUR = 24,008 Kč [80; 82].

Odběrná místa: Povinnost odběrného místa je zatím stanovena pro prodejny a čerpací stanice s prodejní plochou větší jak 50 m², kam by spadalo přibližně 11 tisíc povinných míst [80]. Prodejen potravin do 50 m² je v ČR dle dat MŽP více než 5 tisíc. Se započtením dobrovolných odběrových míst lze uvažovat s celkovým počtem přibližně 15 tisíc míst v ČR. Toto číslo odpovídá více než 4x většímu množství odběrných míst než v sousedním Slovensku, přičemž ČR má bez mála 2x více obyvatel a rozlohu pouze přibližně 1,6x větší [83]. Porovnání rozlohy, počtu obyvatel a počtu odběrných míst lze vidět v tab. 5. Takto hustá síť by sice byla pohodlnější pro občany, ale náročnější a nákladnější na realizaci. Proto se uvažuje o změně podmínky na rozlohu 200 m² [14].

Tab. 5 Porovnání hustoty odběrných míst: Norsko, Slovensko, ČR (vlastní zpracování)

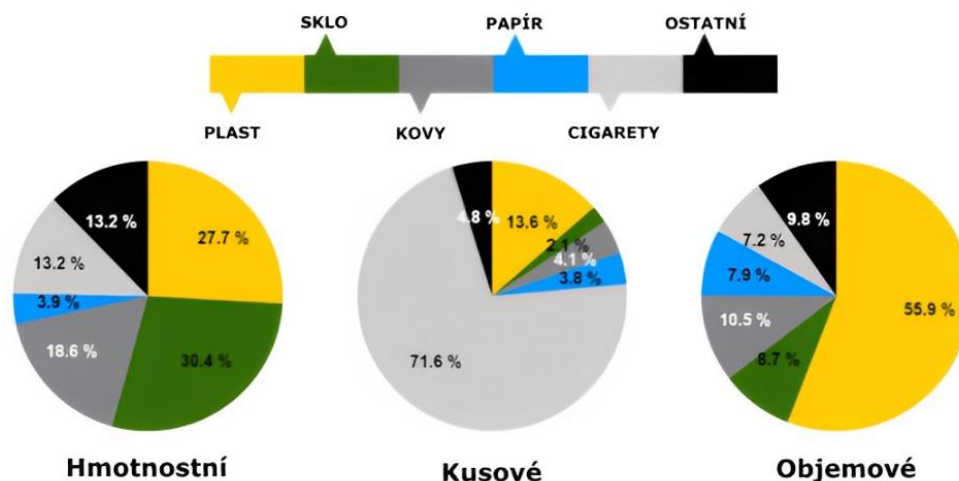
Země	Rozloha [km ²]	Počet obyvatel	Počet odběrných míst	Km ² /odběrné místo	Ob./odběrné místo
Norsko	385 203	5 457 127	15 000	25,7	364
Slovensko	48 702	5 428 792	3269	14,9	1661
ČR	77 212	10 827 529	15 000	5,1	722

4.6 Littering

Jako „littering“ je obecně označován volně pohozený odpad, který má dopad nejen na životní prostředí, ale i na finanční hospodaření obcí či kvalitu života [84]. Littering vzniká jako důsledek nedbalého zacházení s odpadem a jeho řešením by z malé části mohl být DRS systém. Jeho dopad na snížení litteringu byl pozorován v několika zemích průměrným snížením volně pohozených nápojových obalů v rozmezí 70–84 % [85].

Dle studie pro MŽP z roku 2007 tvořily PET lahve 13,2 % celkové hmotnosti litteringu v ČR [86]. V roce 2021 byla publikována navazující studie, která však nezahrnovala přímé údaje o PET lahvích. Zahrnovala ale údaje o plastu, který činil 27,7 % a jeho podíl tak na celkové hmotnosti poklesl z 41,4 % v roce 2007. Při zachování podílu PET lahví v plastovém litteringu by byl v roce 2021 hmotnostní podíl PET lahví 8,8 %. S ohledem na výsledky v zahraničí by se tedy po zavedení DRS systému by mohlo být množství PET lahví v litteringu do 3 %. Tyto studie jsou však prováděny terénními sběry odpadu a následným vážením a počítáním, lze tedy zpochybňovat například správné započtení těžkého stavebního materiálu a hmotnostní či objemové složení tak nemusí být zcela přesné. DRS systém každopádně neznamená vyřešení problematiky litteringu, určité zlepšení by ale představoval. Na obr. 39 lze vidět všechny materiálové činitele v litteringovém odpadu dle hmotnosti, kusů a objemu.

Složení litteringového odpadu ČR mezi lety 2020 a 2021



Obr. 39 Skladba litteringu v ČR ([84], upraveno)

5 SWOT analýza DRS

Analýza spočívá v porovnání silných stránek (Strengths), slabých stránek (Weaknesses), příležitostí (Opportunities) a hrozeb (Threats). SWOT analýzu je vhodné provést před zaváděním nějaké větší změny, a proto zde bude nastíněna pro zavedení DRS v rámci ČR. Silné a slabé stránky níže popsané lze považovat za obecně charakteristické pro systém DRS a příležitosti a hrozby jsou pak určeny pro charakteristickou situaci v ČR (teoretický přístup a předpoklady při zavedení).

5.1 Slabé stránky DRS

Systém zálohovaných nápojových obalů s sebou přináší i určité slabé stránky. Mezi ně patří:

- **Náklady a složitost implementace:** Zavedení a provozování DRS vyžaduje značné investice do infrastruktury, technologií a administrativy.
- **Možný nárůst cen:** Zavedení zálohovaného systému může vést ke zvýšení cen nápojů pro spotřebitele, jelikož zavedení systému znamená investici od výrobců balených nápojů. Tato investice se může promítnout na mírném zvýšení ceny produktů.
- **Provoz pro obchodníky:** Z pohledu obchodníků znamená DRS nutnost vytvoření místa pro automatický či manuální sběr a vytvoření skladovacích prostor pro vrácené lahve. Toto je zejména problém pro menší obchody, které nedisponují prostorem pro uskladnění či odběr. V některých zemích, například Slovensko či v budoucnu ČR, proto nemají malé obchody povinnou účast v systému. Tato neúčast však může znamenat odklonění zákazníků do větších obchodů, kde můžou zálohované produkty přímo vrátit.
- **Riziko zneužití a podvodů:** Jednou z nevýhod systému je možnost jeho zneužití. Zajímavostí a dobrým příkladem může být Estonsko, kde po zavedení systému měli u některých lahví míru sběru vyšší než 100 %. To bylo způsobeno lidmi dovážejícími lahve z jiných zemí a inkasováním záloh bez prvotního placení zálohy. Tomuto problému se dá zabránit přidáním identifikátoru země prodeje do EAN kódu produktu. Pro větší a mezinárodní firmy to však znamená nutnost rozlišování etiket pro jednotlivé trhy, což představuje logistický a nákladný problém. Proto se řešením zdá být zavedení specifických EAN kódů pouze na poměrově významné výrobky a smířením se s možným zneužitím u menších objemů. Problém tohoto zneužívání také nutně vymizí, pokud se DRS systém zavede všude po EU a pokud bude vratný poplatek stejný či velmi podobný. Dalším zneužitím je opakované načtení lahve, které může nastat u manuálního sběru, nicméně u RVM je to prakticky nemožné. Pravděpodobně nejlepším řešením je stanovení pravidel pro uskladňování pytlů s již registrovanými lahvemi a prosté akceptování mírných ztrát, oproti zavádění složitějších a nákladnějších opatření, jako je úprava EAN kódu k zamezení opakovaného načtení. [31; 14]

5.2 Silné stránky DRS

Systém zálohovaných nápojových obalů nabízí řadu výhod a silných stránek, které již byly naznačeny v textu a mohou být shrnuty následovně:

- **Zvýšení míry recyklace:** DRS dosahuje vysoké míry sběru a tím potenciálně zvyšuje celkovou míru recyklace.
- **Dopad na životní prostředí:** DRS přispívá k ochraně životního prostředí zejména tím, že snižuje spotřebu nových surovin a energie potřebnou k výrobě nových obalů. Zároveň také snižuje množství litteringu nápojových PET lahví.

- **Splnění cílů EU:** Zásadní výhodu představuje DRS systém ve splňování cílů EU, zejména cílů popsaných v části 1.1.1
- **Vyšší kvalita recyklátu:** Materiál získaný skrze DRS je nekontaminovaný jinými produkty.
- **Podpora cirkulární ekonomiky:** Systém DRS podporuje principy cirkulární ekonomiky tím, že zvyšuje množství materiálu, který lze potenciálně recyklovat a je znovu použit při výrobě nových lahví.

5.3 Příležitosti

Plnění plánu „Cirkulární Česko 2040“: Plán MŽP, který se zaměřuje na aplikaci cirkulární ekonomiky v různých odvětvích ekonomiky a zajištění větší soběstačnosti. Systém vygeneruje větší množství rPET materiálu než stávající systém díky zvýšené kvalitě PET lahví vstupujících do recyklační linky a díky vyšší míře sběru. Tento nově získaný materiál bude dostupný ideálně pro výrobu nových lahví v režimu Bottle to Bottle.

Dopad na životní prostředí: Kladný dopad DRS na životní prostředí v ČR uvádí studie VŠCHT v Praze z roku 2018: *Studie posuzování životního cyklu LCA nakládání s plastovými a hliníkovými obaly na nápoje*. Studie používá metodu posuzování životního cyklu, v angličtině označované jako Life-Cycle Assessment a zkratkou jako „LCA“. Vyjádření potenciálních dopadů na životní prostředí bylo provedeno metodou ReCiPe, která zjednodušeně zpracovává data o životním cyklu a přeměňuje je na menší počet ukazatelů. Tyto ukazatele pak byly porovnávány pro scénář dosavadního systému a pro plánovaný zálohový systém v ČR. Kategorie dopadů na životní prostředí použité ve studii jsou:

- Klimatické změny/globální oteplování
- Spotřeba fosilních surovin
- Radiace
- Spotřeba vody
- Spotřeba kovů
- Tvorba prachových částic
- Tvorba fotooxidantů
- Půdní acidifikace
- Půdní ekotoxicita
- Sladkovodní ekotoxicita
- Mořská eutrofizace
- Ozonová díra
- Humánní toxicita

Vyhodnocení těchto kategorií je pak hlavní závěr této práce: „Zálohový systém vykazuje o 28 % nižší hodnoty sumárních environmentálních dopadů než systém nezálohový.“ [87] Z procesů zpracování obalů má dle studie největší environmentální dopad výroba PET/hliníku/oceli. DRS systém v tomto snižuje materiálovou náročnost procesu zvýšenou dostupností recyklovaného materiálu. Dalším výstupem z této studie je odhadovaná míra snížení litteringu až o 80 % u plastových lahví [87].

Velký důraz je v dnešní době kladen na spotřebu energie a uhlíkovou stopu. Spotřeba energie při výrobě plechovky z recyklovaného materiálu je dle MŽP až o 95 % nižší a u PET až o 79 %

nižší než při výrobě z prvotního materiálu a uhlíková stopa u plechovek a PET lahví vyrobeného z recyklátu až o 80 % nižší [80].

Vytvoření nových pracovních míst: např. v rámci správy systému, servisu automatů či svozu zálohovaných produktů.

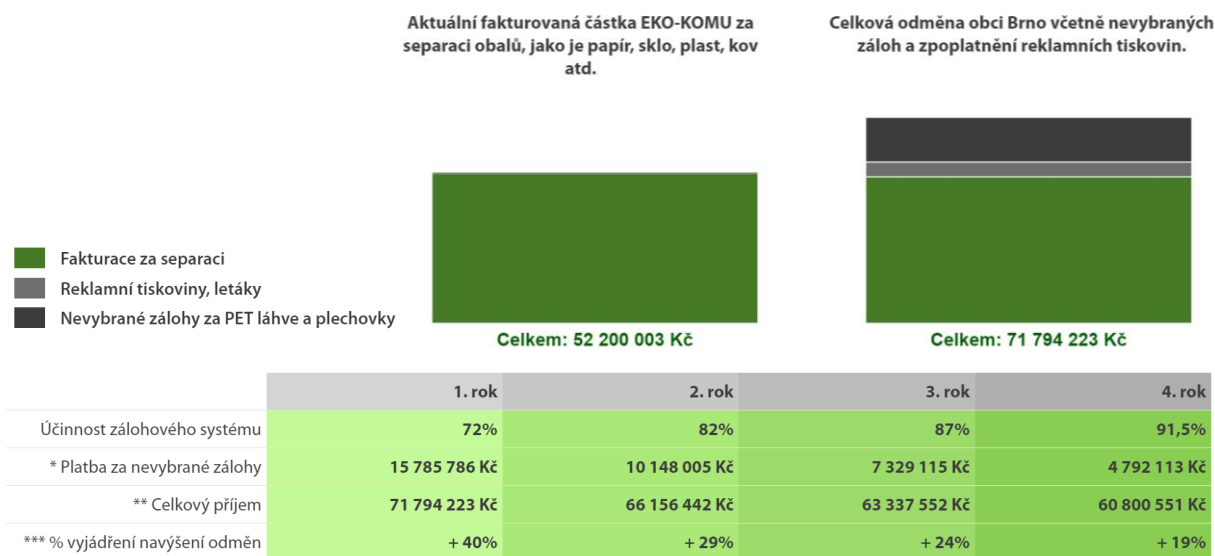
Zvýšení povědomí o třídění a možnostech využití recyklace: Myšlenka spočívá ve zviditelnění dopadu třídění občanům obdobně jako u zálohovaného skla, tedy že třídění má reálný hmatatelný výsledek.

5.4 Hrozby

Narušení financí obcí: Zavedení DRS ovlivní finance obcí, jelikož dojde ke snížení množství cenného PET materiálu ve žlutých kontejnerech na třídění, jejichž obsah je právě majetkem obcí. PET tvoří přibližně třetinu žlutého kontejneru a je současně jeho nejhodnotnější surovinou (cca 10 000 Kč/t, 4/2024). Pro představu je dle České asociace odpadového hospodářství negativní dopad DRS systému na obce odhadovaný na 58 Kč na občana za rok [88].

Proti zavádění DRS systému v ČR vystupuje například Svaz měst a obcí České republiky a Česká asociace odpadového hospodářství, tedy významné organizace v oblasti odpadového hospodářství. Jejich připomínky k zavádění systému souvisí především s finanční stránkou DRS. Zjednodušeně je podle těchto organizací současný systém nakládání s nápojovými obaly dostačující a nákladné zavedení DRS není dostatečně opodstatněno možným zvýšením míry recyklace a sběru. Argumentaci lze případně nalézt na stránkách těchto organizací, bližší rozebírání však není předmětem této práce.

V reakci na připomínky obcí nařídí MŽP určitou finanční kompenzaci a 15 % výnosů z nevrácených lahví by mělo jít právě obcím. MŽP na svých stránkách odkazuje na její oficiální nástroj, tzv. *Kalkulačku pro obce*, kde lze vyčíslit dopad zavedení DRS systému na odměny za odpady pro obce. Dle MŽP po této kompenzaci obec získá v průměru o 39 Kč na obyvatele více, tato hodnota však závisí na míře sběru PET lahví a plechovek, jelikož čím větší je míra sběru, tím méně bude nevyplacených záloh. Pro obce by tedy z tohoto hlediska bylo výhodné, aby míra sběru byla nízká a tím pádem dostaly větší odměny. Hodnota 39 Kč byla navíc nejspíše počítána s uvažováním míry sběru 72 %, což je nevhodný scénář, pokud je cílem DRS systému zajistit míru sběru nad 90 %. Současně nemůžeme opomenout, že výše „odměny“ 39 Kč je odhadnuta v již zavedeném systému, tj. jedná se o přínos pro obce bez nákladů na provoz systému. Kromě části nevybraných záloh by měl obcím jít i poplatek za zpoplatnění reklamních tiskovin a letáků, který by měl být uveden spolu s DRS. Tento poplatek však nemá nic společného s fungováním DRS systému, proto je jeho započítání irelevantní. Na obr. 40 lze vidět použití zmiňované kalkulačky pro Brno, které by dosáhlo při míře sběru 91,5 % na odměnu ve výši 60,8 milionu Kč v porovnání s nynějším příjmem 52,2 milionu Kč [89].



* Platba za nevrácené zálohy, ukazuje, kolik vám bude operátor platit po zavedení zálohového systému. Platba je vypočítána tak, že celkový počet nevrácených záloh se dělí počtem obyvatel ČR a toto číslo se pak násobí počtem obyvatel ve vaší obci.

** Toto číslo je celková získaná částka oproti stávajícímu stavu

*** Toto číslo ukazuje, o kolik % váš rozpočet bude oproti stávajícímu stavu navýšen

Obr. 40 Příklad použití Kalkulačky pro obce na výpočet odměn Brna [89]

Narušení financí dotříd'ovacích linek: Snížení množství PET ve žlutých kontejnerech ovlivní také provoz a fungování dotříd'ovací linky. V současném systému se totiž materiál sváží na mnoho menších linek, pro které je PET významný zdroj příjmů v některých případech dokonce jediný. Při zavedení DRS je však plánován svoz do pouze 2-3 automatických třídících linek. Kompenzace pro dotříd'ovací linky nejsou aktuálně zmiňovány MŽP.

Nedosažení cílů a drahé zařízení systému: Ačkoliv výsledky DRS v Evropě ukazují (tab. 4, str. 48), že výsledky pravděpodobně budou dosaženy, případné nedosažení by mohlo být v souvislosti s vysokými náklady a narušení současného systému problematické. Vstupní náklady na zařízení systému jsou odhadovány okolo 5 miliard Kč a roční provozní náklady jsou odhadnuty na 1 miliardu Kč.

5.5 Shrnutí

Finanční stránka je důležitým aspektem systému a její řešení a optimalizace je klíčová. Hlavním důvodem zavádění DRS je však zejména splnění cílů EU a ČR a nastavení principů cirkulární ekonomiky. Těchto cílů není v ČR možné dosáhnout bez určité změny v odpadovém hospodaření s nápojovými obaly. Tato změna by mohla mít charakter rozšiřování a zlepšování stávajícího systému sběru v ČR, který by však také vyžadoval náležité investice. MŽP však, pravděpodobně po vzoru sousedních zemí, zvolilo systém DRS a správnost tohoto rozhodnutí bude nejlépe možné zhodnotit až s odstupem času na základě výsledků.

Závěr

Předkládaná bakalářská práce se zabývá problematikou zálohového systému, který se zkráceně nazývá „DRS“. V rámci práce je pozornost věnována odpadové problematice nápojových PET lahví v kontextu DRS a jejich zpracovatelskému řetězci.

Pro správné pochopení DRS je klíčové představit a popsat hlavní legislativní cíle EU a ČR a současný stav nakládání s nápojovými obaly. Porovnáním současné situace s nastavenými cíli a legislativou lze konstatovat, že je nutné provést určité změny v odpadovém hospodářství, které zaručí splnění těchto legislativních aspektů. Potenciál zefektivnit odpadové hospodářství má aplikace principů tzv. cirkulární ekonomiky, která odpad vnímá jako možný zdroj pro novou výrobu (materiál je uzavřen ve smyčce a je opětovně využíván). Jako efektivní nástroj cirkulární ekonomiky lze považovat právě DRS, který zajišťuje potenciálně vysokou míru sběru a čistotu odpadu nápojových obalů z PET, hliníku či skla. Vysoká míra sběru však sama o sobě neznamená správné fungování celého systému, ve kterém je klíčové zamezit materiálovým ztrátám ve zpracovatelském řetězci a docílit principů cirkularity.

Zpracovatelský proces PET lahve je popsán v celkovém zpracovatelském řetězci, tj. od vrácení lahve přes DRS až po výrobu nové lahve. PET lahev v rámci tohoto procesu nabývá podoby vloček, taveniny, regranulátu, preformy a po vyfouknutí preformy opět získá podobu lahve. Důležitou částí procesu výroby PET lahve je výroba PET vloček, jelikož v této části dochází jak k homogenizaci, tak k tvarové přeměně PET lahve na podobu jemných vloček o velikosti přibližně 1-12 mm. Přidanou hodnotu v této části představují informace získané z rozhovorů se specialisty v tomto oboru, kteří přidali k teoretickému přístupu cenné zkušenosti z praxe.

Přístup k fungování sběru přes DRS lze rozdělit do tří hlavních částí, které se liší způsobem sběru:

- Return to Retail – sběr přes maloobchodníka, který je zodpovědný za zpětný odběr
- Return to Depot – sběr ve specializovaných místech
- Hybrid – kombinace předchozích dvou variant

Nejlepší míru sběru vykazuje princip Return to Retail, ve kterém probíhá zpětný odběr zálohovaných nápojových obalů přes maloobchodníka. Tento princip je využíván hlavně v Evropě a ostatní principy, zejména Return to Depot, jsou využívány ve zbytku světa. Další významný faktor míry sběru je výše zálohy, jejíž korelaci s mírou sběru lze pozorovat například ve státech Oregon či Norsko, ve kterých došlo ke zvýšení míry sběru po navýšení výše zálohy. Z porovnání DRS v Evropě lze uvést závěr, že centrálně řízené fungování systému nabízí lepší možnosti pro cirkulární ekonomiku.

V návaznosti na zhodnocení systému v Evropě a ve světě je blíže představeno plánované zavedení DRS v ČR, které bude pravděpodobně uvedeno v platnost na začátku roku 2026 (k 1.1.). Zavedení zálohového systému na nápojové obaly z PET a hliníku v ČR je velmi diskutovaným a aktuálním tématem, a proto bylo zhodnoceno formou SWOT analýzy. Jako hlavní silnou stránku DRS lze považovat zvýšenou míru sběru, která je klíčová pro splnění stanovených legislativních cílů EU. Za slabou stránku lze považovat zvýšení nároků na provoz maloobchodů. Jako hlavní hrozba byla identifikována možnost narušení finančních toků pro obce a dotřídňovací linky. Největší příležitostí je pak nastavení cirkulární ekonomiky v souladu s plánem MŽP a jejich strategickým dokumentem Cirkulární Česko 2040.

Na základě provedené analýzy lze konstatovat, že zavedení zálohového systému DRS v ČR může být přínosným krokem, který má potenciál zajistit efektivní nakládání s nápojovými obaly a dosáhnout tak splnění stanovených cílů EU a ČR v oblasti odpadového hospodářství. Implementace DRS může přinést významné výhody, jako je zvýšená míra sběru PET lahví a dalších nápojových obalů či garance čistoty. Úspěch systému však závisí na správné implementaci a minimalizaci rizik, jako je narušení finančních toků pro obce. Zejména se jedná o ztrátu odměn za podíl obalové složky ze strany EKO-KOM, ztráta z prodeje druhotné suroviny z pohledu dotřídovacích linek (nápojové PET obaly přeměrovány do systému DRS) a zvýšené náklady obcí na zavedení a provoz systému DRS. Nicméně pro dosažení blížících se legislativních cílů je nutné určitým způsobem změnit, respektive investovat do struktury nakládání s nápojovými obaly v ČR. Alternativou k zavedení DRS mohlo být například rozšiřování a zlepšování stávajícího systému sběru v ČR, které by ovšem také vyžadovalo náležité investice. V případě zavedení systému DRS je nezbytné sledovat a optimalizovat procesy tak, aby byly přínosné pro celou společnost a aby systém pomohl naplnit principy cirkulární ekonomiky.

Seznam použitých zdrojů

- [1] *Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech ze dne 1. prosince 2020.*
- [2] EUROPEAN COMMUNITIES. *Definice a popis obalu* [online]. [cit. 2024-03-23]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/packaging/>
- [3] *Směrnice Evropského Parlamentu a Rady (EU) 2019/904 ze dne 5. června 2019 o omezení dopadu některých plastových výrobků na životní prostředí.*
- [4] NETSAL. *Obrázek neodnímatelného víčko od lahve (tethered cap)* [online]. [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://www.plas-pack.com/plastic-beverage-caps-overview-of-applications-neck-finish-evolution-and-tethered-caps/>
- [5] *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.*
- [6] EUROSTAT. *Waste targets* [online]. [cit. 2024-02-19]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/targets>
- [7] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/851 ze dne 30. května 2018: kterou se mění směrnice 2008/98/ES o odpadech.*
- [8] *Zákon č. 477/2001 Sb. o obalech a změně některých zákonů ze dne 4. prosince 2001.*
- [9] HRDLIČKA, František, Jan OPATŘIL a ČVUT v Praze, fakulta stojní, Ústav energetiky. *Odborné posouzení možnosti spalování odpadu o velmi nízké výhřevnosti* [online]. Květen 2016 [cit. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://dfs.caoh.cz/p/datahistorie/article/odborne-posouzeni-moznosti-spalovani-odpadu-o-velmi-nizke-.pdf>
- [10] ICIS. *PET market in Europe state of play: Production, collection & recycling data 2022* [online]. 2024 [cit. 2024-04-01]. Dostupné z: https://naturalmineralwaterseurope.org/wp-content/uploads/2024/03/PET_report_V5.pdf
- [11] EUNOMIA RESEARCH AND CONSULTING. *PET MARKET IN EUROPE STATE OF PLAY 2022: Production, collection and recycling. UNESDA* [online]. 2022, 31. 1. 2022 [cit. 2024-02-19]. Dostupné z: <https://eunomia.eco/reports/pet-market-in-europe-state-of-play-2022/>
- [12] EKO-KOM, A.S. *Výsledky zpětného odběru a využití obalových odpadů za rok 2020* [online]. 2021, 25. 5. 2021 [cit. 2024-03-24]. Dostupné z: <https://www.ekokom.cz/vysledky-zpetneho-odberu-a-vyuziti-obalovych-odpadu-za-rok-2020/>
- [13] EKO-KOM A.S. *EKOKOM Výroční shrnutí 2022* [online]. Červen 2023 [cit. 2024-02-19]. Dostupné z: https://www.ekokom.cz/wp-content/uploads/2023/06/VS_2022.pdf
- [14] *Z rozhovoru s Martin Veselý, CSR Project Manager, Mattoni 1873 a.s., ze dne 26.2.2024.*
- [15] BUSINESS ANALYTIQ. *PET (Polyethylene Terephthalate) price index* [online]. [cit. 2024-03-24]. Dostupné z: <https://businessanalytiq.com/procurementanalytics/index/pet-price-index/>

- [16] BUSINESS ANALYTIQ. *RPET price index* [online]. [cit. 2024-03-24]. Dostupné z: <https://businessanalytiq.com/procurementanalytics/index/rpet-food-grade-price-index/>
- [17] EUROSTAT. *Packaging waste statistics* [online]. 2023, 4. 10. 2023 [cit. 2024-03-23]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Packaging_waste_statistics#Recycling_and_recovery_targets_and_rates
- [18] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Souhrnné údaje o obalech a obalových odpadech, jejich recyklaci a využití v ČR od roku 2003* [online]. [cit. 2024-04-26]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/informace_problematika_obalu/\\$FILE/OODP-Obaly_Recyklace_20240313.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/informace_problematika_obalu/$FILE/OODP-Obaly_Recyklace_20240313.pdf)
- [19] VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ, ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ a MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Výsledky průměrného složení směsného komunálního odpadu v ČR 2022* [online]. 2022 [cit. 2024-04-08]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/prumerne_slozeni_sko/\\$FILE/OODP-Prumerne_slozeni_SKO_MZP-20221114.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/prumerne_slozeni_sko/$FILE/OODP-Prumerne_slozeni_SKO_MZP-20221114.pdf)
- [20] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. *Produkce, využití a odstranění odpadů: Nakládání s komunálními odpady* [online]. Data z roku 2006-2022 [cit. 2024-02-25]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/produkce-vyuziti-a-odstraneni-odpadu-2022>
- [21] EUROSTAT STATISTICS EXPLAINED. *Municipal waste statistics* [online]. 2023, 26. 9. 2023 [cit. 2024-02-25]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal_waste_statistics#Municipal_waste_treatment
- [22] KOMUNÁLNÍ EKOLOGIE.CZ. *Loni se v Česku vyprodukovalo celkem 39 mil. tun odpadů* [online]. 2024, 4. 1. 2024 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://www.komunalniekologie.cz/info/loni-se-v-cesku-vyprodukovalo-celkem-39-mil-tun-odpadu#comments>
- [23] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. *Produkce, využití a odstranění odpadů - 2022: Nakládání s komunálními odpady* [online]. 2023, 15. 12. 2023 [cit. 2024-02-25]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/produkce-vyuziti-a-odstraneni-odpadu-2022>
- [24] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, ISOH. *Komunální odpady - produkce a nakládání, Data z let 2006-2021* [online]. [cit. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://isoh.mzp.cz/visoh>
- [25] WELLE, Frank. *The Facts about PET* [online]. 2018, 7. 9. 2018 [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Frank-Welle-2/publication/327498499_The_fats_about_PET_update_2018/links/5b9220aa92851c78c4f3ea91/The-fats-about-PET-update-2018.pdf
- [26] SOVA, Miloš a Verlag DASHÖFER. *Vlastnosti polyethylentereftalátu* [online]. 2015, 6. 2. 2015 [cit. 2024-03-06]. Dostupné z: <https://www.techportal.cz/33/vlastnosti-polyethylentereftalatu-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EqQUkSFod1GxoKeiJ44jClc/>
- [27] ENVIPCO. *Envipco - Flex, automat na zpětný odběr* [online]. [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://www.envipco.com/reverse-vending-machines/flex>

- [28] TOMRA S.R.O. *TOMRA T9 COM MULTIPAC* [online]. [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://languagesites.tomra.com/pt-br/collection/reverse-vending/reverse-vending-systems/flexible-line/t9-with-multipac>
- [29] TOMRA S.R.O. *TOMRA R1 and T9 with MultiPac Air* [online]. [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://www.tomra.com/en/reverse-vending/our-offering/reverse-vending-machines/tomra-r1-and-t9-with-multipac-air>
- [30] SENSONEO. *Průměrná cena RVM* [online]. [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://sensoneo.com/waste-library/reverse-vending-machine/>
- [31] *Z rozhovoru s Klára Hálová, Head of Water Category and Education Programme, Mattoni 1873 a.s., ze dne 26.2.2024.*
- [32] SPRÁVCA ZÁLOHOVÉHO SYSTÉMU N.O. *Správa o činnosti Správce zálohového systému za rok 2022* [online]. [cit. 2024-03-22]. Dostupné z: <https://slovenskozalohuje.sk/wp-content/uploads/2024/03/Sprava-o-cinnosti-Spravcu-2022.pdf>
- [33] JAKTRĪDIT.CZ. *Dotřídování odpadu, dotřídovací linky* [online]. [cit. 2024-04-07]. Dostupné z: <https://www.jaktridit.cz/cz/trideni/dotridovani/>
- [34] OBALY21. *Provoz první české automatické dotřídovací linky zahájen* [online]. 2023, 20. 3. 2023 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://www.obaly21.cz/provoz-prvni-ceske-automaticke-dotridovaci-linky-zahajen/>
- [35] SAMOSEBOU.CZ. *Encyklopedie plastů: sběr a dotřídění plastových obalů v česku* [online]. 2021, 27. 10. 2021 [cit. 2024-02-19]. Dostupné z: <https://www.samosebou.cz/2021/10/27/encyklopedie-plastu-sber-a-dotrideni-plastovych-obalu-v-cesku/>
- [36] INSTITUT CÍRKULÁRNÍ EKONOMIKY, Z. Ú. *Studie materiálových toků PET nápojových obalů v ČR za rok 2016* [online]. Prosinec 2018 [cit. 2024-02-19]. Dostupné z: https://www.zalohujme.cz/wp-content/uploads/2020/02/STUDIE-MATERI%C3%81LOV%C3%9DCH-TOK%C5%AE_EN.pdf
- [37] SAKO BRNO. *Pravidelný provoz automatické třídící linky má za sebou týden* [online]. In: . 2023, 27. 3. 2023 [cit. 2024-03-06]. Dostupné z: <https://www.sako.cz/novinka/cz/1666/pravidelny-provoz-automaticke-tridici-linky-ma-za-sebou-tyden/>
- [38] ZHENGZHOU SINOLION MACHINERY CO., LTD. *Princip funkce balistického separátoru* [online]. [cit. 2024-03-06]. Dostupné z: <https://cz.trommelscreenmachine.com/auxiliary-equipment/ballistic-separator.html>
- [39] REWA-TECH, S.R.O. *Obrázek balistického separátoru: na směsný a tříděný odpad* [online]. [cit. 2024-03-06]. Dostupné z: <https://www.rewa-tech.sk/produkty/brt-hartner/balisticky-separator/>
- [40] FRIEDRICH, Karl. *Sensor-based and Robot Sorting Processes and their Role in Achieving European Recycling Goals: A Review* [online]. 2022, 14. 2. 2022 [cit. 2024-02-25]. Dostupné z:

<https://opus.bibliothek.uni-augsburg.de/opus4/frontdoor/deliver/index/docId/97528/file/97528.pdf>

- [41] #PRIPRAVBRNO. *SAKO BRNO OTEVŘELO NOVOU DOTŘÍĐOVACÍ LINKU* [online]. 2023, 23. 3. 2023 [cit. 2024-03-06]. Dostupné z: <https://priprav.brno.cz/aktuality/sako-brno-otevrelo-novou-dotridovaci-linku/>
- [42] THE ASSOCIATION OF PLASTIC RECYCLERS. *PET Standard Laboratory Processing Practices* [online]. 2022, 1. 11. 2022 [cit. 2024-02-21]. Dostupné z: <https://plasticsrecycling.org/images/Design-Guidance-Tests/APR-PET-P-00-practices.pdf>
- [43] RAGAERT, Kim, Laurens DELVA a Kevin VAN GEEM. *Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste* [online]. 2017, 18. 8. 2017 [cit. 2024-03-06]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X17305354?via%3Dihub>
- [44] *Z rozhovoru s Pedro Oliveira, Business manager recycling solutions, Husky Technologies ze dne 23.2.2024.*
- [45] SOVA, Miloš a Verlag DASHÖFER. *Vlastnosti polypropylénu* [online]. 2015, 6. 2. 2015 [cit. 2024-03-06]. Dostupné z: https://www.techportal.cz/33/vlastnosti-polypropylenu-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EqQUkSFod1GxcQ0_D5itXeQ/?query=vlastnosti%20pp&serp=1
- [46] TOMRA S.R.O. *AUTOSORT™ FLAKE* [online]. [cit. 2024-03-06]. Dostupné z: <https://www.tomra.com/waste-metal-recycling/products/machines/autosort-flake>
- [47] BATTENFELD-CINCINNATI. *Obrázek stroje na výrobu trubky extruzí* [online]. [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://resources.sw.siemens.com/cs-CZ/case-study-battenfeld-cincinnati>
- [48] PASTIFICIO FRACARO S.R.L. *Obrázek extruze těstovin* [online]. [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://www.pastificiofracaro.com/production/?lang=en>
- [49] SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. publi.cz, ©2016^[1] [cit. 2024-02-21]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/01.html>
- [50] HAMMACK, Bill. *Obrázek prohřátí materiálu při extruzi* [online]. [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <https://www.plascene.com/how-do-pet-plastic-preform-molds-work>
- [51] RPET INWASTE S.R.O. *Princip výroby regranulátu rPET* [online]. [cit. 2024-02-21]. Dostupné z: <https://www.rpet-inwaste.com/regranulacni-linka/>
- [52] LENFELD, Petr. *Technologie 2: 2. část: zpracování plastů* [online]. [cit. 2024-03-09]. Dostupné z: https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/07.htm
- [53] MHT MOLD & HOTRUNNER TECHNOLOGY AG. *Obrázky výroby preforem* [online]. [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <https://www.mht-ag.de/startseite.html>
- [54] POWERJET. *72 Cavity PET Preforms Injection Molding Production Line* [online]. [cit. 2024-04-06]. Dostupné z: <https://powerjetmachine.cn/72-cavity-pet-preforms-injection-molding/>

- [55] EREMA a SIPA. *What is XTREME Renew?* [online]. [cit. 2024-02-21]. Dostupné z: <https://blog.erema.com/pet-industrial-plastic-recycling>
- [56] HUSKY TECHNOLOGIES a Pedro OLIVEIRA. *Dokument z komunikace s Pedro Oliveira, Business manager recycling solutions, Husky Technologies ze dne 23.2.2024.* 2024.
- [57] *Z rozhovoru s Tomáš Švihla, Packaging specialist, Pepsico CZ s.r.o. / Karlovarské minerální vody a.s.; a z prohlídky výrobní linky PEPSI v Praze ze dne 26.2.2024.*
- [58] KB DELTA. *Jednostupňové vs. dvoustupňové vyfukovací stroje: průvodce* [online]. 2019 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://kdelta.com/blog/single-vs-two-stage-blow-molding-machines/>
- [59] HUSKY TECHNOLOGIES. *Caps and closures production: selecting between injection and compression molding* [online]. 2023, 23. 8. 2023 [cit. 2024-04-07]. Dostupné z: <https://www.husky.co/en/resources/blog/injectionvscompression/>
- [60] ALPLA. *Obrázek plastové lahve s neodnímatelným víčkem* [online]. [cit. 2024-04-07]. Dostupné z: <https://www.alpla.com/en/products-innovation/case-studies/tethered-caps>
- [61] POLYPLASTICS. *Significantly Increasing Recycling Efficiency with PET Bottle Labels that Float on Water* [online]. 2019 [cit. 2024-04-07]. Dostupné z: https://www.polyplastics-global.com/en/csr/highlight/2019_01.html
- [62] CODICO DISTRIBUTORS LTD. *The Complete Guide To Labelless PET Bottles* [online]. 2023, 10.5.2023 [cit. 2024-04-07]. Dostupné z: <https://www.codico-distributors.com/latest-news/labelless-pet-bottles>
- [63] EVIAN. *Obrázek Evian lahve bez etikety* [online]. [cit. 2024-04-07]. Dostupné z: https://www.evian.com/en_int/products/label-free/label-free-bottle/
- [64] COCA-COLA. *Obrázek lahví bez etikety* [online]. 2021 [cit. 2024-04-07]. Dostupné z: <https://www.koreaherald.com/view.php?ud=20211025000808>
- [65] CEPS, Vasileios RIZOS, Patricia URBAN, Edoardo RIGHETTI a Amin KASSAB. *CHEMICAL RECYCLING OF PLASTICS* [online]. 2023 [cit. 2024-03-26]. Dostupné z: https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/2023-07/Chemical%20recycling%20of%20plastics_0.pdf
- [66] FAJNOVA. *Obrázek Cirkulární a lineární ekonomiky* [online]. 2022. [cit. 2024-04-08]. Dostupné z: <https://fajnova.cz/blog-cirkularni-ekonomika-co-se-pod-timto-pojmem-skryva-a-kde-ji-v-ostrove-najdeme/>
- [67] RELOOP. *Global Deposit Book 2022: An Overview of Deposit Return Systems for Single-Use Beverage Containers* [online]. 2022 [cit. 2024-04-03]. Dostupné z: https://www.reloopplatform.org/wp-content/uploads/2023/05/RELOOP_Global_Deposit_Book_111202.pdf
- [68] ASSOCIATION OF CITIES AND REGIONS FOR SUSTAINABLE RESOURCE MANAGEMENT a Bilyana SPASOVA. *Deposit Refund Systems in the EU* [online]. 2019 [cit. 2024-03-13]. Dostupné z:

https://www.acrplus.org/images/technical-reports/2019_ACR_Deposit-refund_systems_in_Europe_Report.pdf

- [69] SPRÁVCA ZÁLOHOVÉHO SYSTÉMU N.O. *Správa o činnosti Správce zálohového systému za druhý polrok 2023: Včetně celoročního přehledu* [online]. 2024 [cit. 2024-03-01]. Dostupné z: https://slovenskozalohuje.sk/wp-content/uploads/2024/03/Spravca-zalohoveho-systemu_Sprava-o-cinnosti-za-druhy-polrok-2023.pdf
- [70] SPRÁVCA ZÁLOHOVÉHO SYSTÉMU. *Fotky manuálního a automatického odběru PET lahví* [online]. 2023, 7. 4. 2023 [cit. 2024-03-01]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/ekonomika/zahranicni/zalohovani-pet-lahve-plechovky-slovensko.A230404_234318_eko-zahranicni_rie/foto/RIE9a8845_DSC_4121.JPG
- [71] SPRÁVCA ZÁLOHOVÉHO SYSTÉMU, N.O. *Hodnota výše zálohy* [online]. [cit. 2024-03-01]. Dostupné z: <https://www.spravcazaloh.sk/>
- [72] ASSOCIATION OF CITIES AND REGIONS FOR SUSTAINABLE RESOURCE MANAGEMENT a Tugce TUGRAN. *Deposit Refund Systems in the EU* [online]. Prosinec 2023 [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: https://www.acrplus.org/images/technical-reports/2023_ACR_Deposit_Refund_Systems_EU_Report.pdf
- [73] FORUM PET. *Recycling rate in 2023* [online]. [cit. 2024-03-25]. Dostupné z: <https://www.forum-pet.de/en/recycling-cycle/#europe>
- [74] INFINITUM. *The environmental tax system* [online]. [cit. 2024-04-08]. Dostupné z: <https://infinitem.no/articles-in-english/the-environmental-tax-system/>
- [75] RELOOP. *Deposit return systems: How they perform* [online]. Prosinec 2022 [cit. 2024-04-03]. Dostupné z: https://www.reloopplatform.org/wp-content/uploads/2023/05/RELOOP_Factsheet_Performance_1212022.pdf
- [76] INFINITUM. *Annual report 2022* [online]. [cit. 2024-03-26]. Dostupné z: https://infinitem.no/media/vanibhxu/infinitem_annualreport_2022_pages.pdf
- [77] EUROPEAN RECYCLING PLATFORM. *Deposit return schemes: launched in Romania and Hungary* [online]. 2024 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://erp-recycling.org/news-and-events/2024/03/deposit-return-schemes-launched-in-romania-and-hungary/>
- [78] VERPACT. *Výsledky zálohovacího systému Nizozemska za rok 2022* [online]. [cit. 2024-04-06]. Dostupné z: <https://www.verpact.nl/en/node/390>
- [79] BYZNYS PRO SPOLEČNOST, Z. S. *Systém zálohování PET lahví a plechovek může nastartovat cirkulární a inovativní rozvoj české ekonomiky* [online]. 2024, 29. 2. 2024 [cit. 2024-03-20]. Dostupné z: <https://diverzita.cz/cs/aktualita/system-zalohovani-pet-lahvi-a-plechovek-muze-nastartovat-cirkularni-a-inovativni-rozvoj-ceske-ekonomiky>
- [80] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Otázky a odpovědi k zálohování* [online]. [cit. 2024-02-29]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/otazky_odpovedi_zalohovani
- [81] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, Petr HLADÍK a David SURÝ. *Novela zákona o odpadech - prezentace* [online]. 2023 [cit. 2024-04-28]. Dostupné z:

[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_20231107_Novela-zakona-o-obalech-zavede-zalohovani-PET-a-plechovek/\\$FILE/obaly%20FINAL_20231107.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_20231107_Novela-zakona-o-obalech-zavede-zalohovani-PET-a-plechovek/$FILE/obaly%20FINAL_20231107.pdf)

- [82] ČESKÁ NÁRODNÍ BANKA. *Kurzy devizového trhu* [online]. [cit. 2024-03-02]. Dostupné z: https://www.cnb.cz/cs/financni-trhy/devizovy-trh/kurzy-devizoveho-trhu/kurzy-devizoveho-trhu/prumerne_mena.html?mena=EUR
- [83] EUROSTAT. *Fakta a čísla týkající se života v Evropské unii: Rozloha a obyvatelstvo* [online]. [cit. 2024-03-02]. Dostupné z: https://european-union.europa.eu/principles-countries-history/key-facts-and-figures/life-eu_cs
- [84] LITTERING.CZ. *O litteringu: skladba volně pohozeného odpadu na území ČR* [online]. [cit. 2024-02-19]. Dostupné z: <https://www.littering.cz/#o-litteringu>
- [85] RELOOP a CONTAINER RECYCLING INSTITUTE. *Fact Sheet: Deposit Return Systems Reduce Litter* [online]. Červen 2021 [cit. 2024-03-02]. Dostupné z: <https://www.reloopplatform.org/wp-content/uploads/2021/06/DRS-Litter-Fact-Sheet-Summary-14June2021.pdf>
- [86] PŘIBYLOVÁ, Monika Ing., Jan Ing. ŠTEJFA a SPF GROUP V.O.S. *Analýza volně pohozených odpadů v České republice: Zadavatel: Ministerstvo životního prostředí* [online]. Prosinec 2007 [cit. 2024-02-19]. Dostupné z: https://data.idnes.cz/soubory/vedatech/95A100219_TAJ_ANALYZAVOLNEPOHOZENYCH.PDF
- [87] KOČÍ, Vladimír a Fakulta technologie ochrany prostředí, VŠCHT Praha. *Studie posuzování životního cyklu LCA nakládání s plastovými a hliníkovými obaly na nápoje* [online]. 2018 [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://www.zalohujme.cz/wp-content/uploads/2019/01/Studie-posuzov%C3%A1n%C3%AD-%C5%BEivotn%C3%ADho-cyklu-LCA-nakl%C3%A1d%C3%A1n%C3%AD-s-plastov%C3%BDmi-a-hlin%C3%ADkov%C3%BDmi-obaly-na-n%C3%A1poje.pdf>
- [88] ČESKÁ ASOCIACE ODPADOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ. *Novela k zálohování PET lahví pod palbou kritiky klíčových aktérů a připomínkových míst* [online]. 2024, 8. ledna 2024 [cit. 2024-04-19]. Dostupné z: <https://www.caoh.cz/aktuality/novela-k-zalohovani-pet-lahvi-pod-palbou-kritiky-klicovych-akteru-a-pripominkovych-mist.html>
- [89] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Kalkulačka pro výpočet finančních dopadů novely zákona o obalech pro jednotlivé obce* [online]. [cit. 2024-03-02]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/kalkulacka_obce

Seznam použitých zkratek a symbolů

PET	Polyethylentereftalát
ZEVO	Zařízení na energetické využití odpadů
KO	Komunální odpad
SKO	Směsný komunální odpad
EU	Evropská unie
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
ČR	Česká republika
DRS	Deposit Refund/Return System
RVM	Reverse Vending Machine
ČSÚ	Český statistický úřad
rPET	recyklovaný PET
vPET	Virgin PET (panenský PET)
LCA	Life-Cycle Assessment (Posuzování životního cyklu)
SWOT	Strenghts Weaknesses Opportunities Threats
HORECA	Hotel/restaurant/café
EU27+3	Členské státy EU a Norsko, Velká Británie, Švýcarsko
NIR	Near-Infrared
EAN	European Article Number (Čárový kód)
PP	Polypropylen
LDPE	Low Density PolyEthylen
HDPE	High Density PolyEthylen
PETG	Glykolem modifikovaný PET
ABS	Akrylonitril-butadien-styren
PVC	Polyvinilchlorid
DPG	Deutsche Pfandsystem GmbH
NOK	Norwegian Krone (Norská koruna)
DKK	Danish Krone (Dánská koruna)
ISK	Icelandic Króna (Islandská koruna)
SEK	Swedish Krona (Švédská koruna)
HRK	Croatian Kuna (Chorvatská kuna)
RON	Romanian Leu (Rumunský leu)
HUF	Hungarian Forint (Maďarský forint)
USD	United States dollar (Americký dolar)
USA	United States of America
Kč	Koruna česká
3D	Three dimensional (trojrozměrný)

2D	Two dimensional (dvourozměrný)
CO ₂	Oxid uhličitý
kt	Kilotuna
km ²	Kilometr čtvereční
t	Tuna
ob./min	Obaly za minutu
ob./odběrné místo	Obyvatel na odběrné místo
kg	Kilogram
Ppm	Parts per million (částic z milionu)
MPa	Megapascal
μm	Mikrometr
mm	Milimetr
dl/g	Decilitr na gram
mg	Miligram
atm	Atmosféra

Seznam obrázků

Obr. 1 Neodnímatelná víčka (tethered caps) [4]	15
Obr. 2 DRS systém v EU27+3 ([10], upraveno)	18
Obr. 3 PET produkty na trhu EU27+3 v roce 2022 ([10], upraveno).....	19
Obr. 4 Míra recyklace obalového odpadu v EU 2021 ([17], upraveno).....	20
Obr. 5 Vývoj míry recyklace obalového odpadu v EU ([17], upraveno)	20
Obr. 6 Nakládání s KO v ČR v letech 2006-2022 ([20], vlastní zpracování)	21
Obr. 7 Nakládání s KO v EU v letech 2006-2022 ([21], vlastní zpracování)	22
Obr. 8 Nakládání s KO v ČR v roce 2022 ([23], vlastní zpracování)	22
Obr. 9 Materiálové využití KO v ČR ([24], vlastní zpracování).....	23
Obr. 10 Zpracovatelský řetězec PET lahve s využitím DRS.....	24
Obr. 11 Současný zpracovatelský řetězec PET lahve v ČR	24
Obr. 12 Chemická reakce PET ([25], upraveno)	25
Obr. 13 Příklady možných podob RVM automatů; (A [27], B [28], C [29])	26
Obr. 14 Princip a provedení balistického separátoru; vlevo ([38], upraveno), vpravo [39]) ...	28
Obr. 15 Využití NIR sensoru na třídící lince [40].....	29
Obr. 16 Čiré PET vložky	30
Obr. 17 Schéma procesu výroby PET vložek ([44], upraveno).....	30
Obr. 18 Automatické třídící zařízení na PET vložky ([46], upraveno)	31
Obr. 19 Čirý PET regranulát.....	32
Obr. 20 Použití extruze pro výrobu trubky [47] a těstovin [48].....	32
Obr. 21 Prohřátí materiálu při extruzi [50].....	33
Obr. 22 Schéma šnekového extrudéru [33]	33
Obr. 23 Preforma z vPET a 50 % rPET	35
Obr. 24 Schéma vstřikovacího zařízení na výrobu preformy [53]	35
Obr. 25 Detail dutiny na výrobu preformy [53]	36
Obr. 26 Použití stroje ve výrobě preforem	36
Obr. 27 Blokové schéma procesu vyfukování PET lahve a následného zpracování.....	37
Obr. 28 Proces vyfukování PET lahve [52].....	38
Obr. 29 Vyfouknuté lahve s různým obsahem rPET	39
Obr. 30 Víčka z PET materiálu (A, [56]), PP/HDPE materiálu (B, [60])	40
Obr. 31 Lahve bez etikety Evian (A, [63]) a Coca-Cola (B, [64])	41
Obr. 32 Schéma procesů chemické recyklace ([65], upraveno).....	42
Obr. 33 Schéma cirkulární a lineární ekonomiky [66]	43
Obr. 34 Manuální sběr (A) a automatický sběr (B) [70]	44
Obr. 35 Schéma fungování DRS systému na Slovensku [14]	45
Obr. 36 Výše záloh v Evropě (vlastní zpracování).....	49
Obr. 37 Míra sběru jednorázových nápojových obalů v zemích světa ([67], upraveno)	50
Obr. 38 Schéma plánovaného fungování DRS systému v ČR [81].....	51
Obr. 39 Skladba litteringu v ČR ([84], upraveno).....	52
Obr. 40 Příklad použití Kalkulačky pro obce na výpočet odměn Brna [89]	56

Seznam tabulek

Tab. 1 Recyklační cíle obalového odpadu ([5], vlastní zpracování)	15
Tab. 2 Cíle recyklace a celkového využití obalového odpadu v ČR ([8], vlastní zpracování)	16
Tab. 3 Využití obalového odpadu v ČR za rok 2022 ([18], vlastní zpracování)	21
Tab. 4 Přehled výsledků a výše záloh DRS v Evropě (vlastní zpracování)	48
Tab. 5 Porovnání hustoty odběrných míst: Norsko, Slovensko, ČR (vlastní zpracování)	52