



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

OPTIMALIZACE VYUŽITÍ PODSÍTNÉ FRAKCE Z AUTOMATICKÉ LINKY SEPARACE TŘÍDĚNÝCH PLASTOVÝCH OBALŮ

OPTIMIZING THE USE OF THE SUB-MESH FRACTION FROM THE AUTOMATIC LINE FOR SEPARATING
SORTED PLASTIC PACKAGING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Helena Juříčková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Chorazy, Ph.D.

BRNO 2025

Zadání bakalářské práce

Číslo práce: FCH-BAK2029/2024 Akademický rok: 2024/25
Ústav: Ústav chemie a technologie ochrany
životního prostředí
Student: **Helena Juříčková**
Studijní program: Environmentální chemie, bezpečnost
a management
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **Ing. Tomáš Chorazy, Ph.D.**

Název bakalářské práce:

Optimalizace využití podsítné frakce z automatické linky separace tříděných plastových obalů

Zadání bakalářské práce:

1. Zpracovat literární rešerši aktuálních relevantních právních předpisů na úrovni ČR (Státní politika životního prostředí pro roky 2030 – 2050, Zákon o odpadech, Zákon o obalech a související dokumenty na úrovni Evropských společenství, tj. Akční plán pro cirkulární ekonomiku, ZELENOU DOHODU pro Evropu, tzv. GREEN DEAL; role autorizované obalové společnosti).
2. Přehled aktuálního způsobu využití vytríděných plastových obalů, využití podsítné frakce.
3. Návrh optimálního „oběhového hospodářství“ pro podsítnou frakci; vzorkování podsítné frakce pro stanovení množství a druhů „odpadů“; návrh technologií jejich dalšího využití (optimalizace třídící linky a materiálové využití, výroba alternativního paliva, energetické využití).
4. Kritické zhodnocení navržené optimalizace.

Termín odevzdání bakalářské práce: 26.5.2025:

Bakalářská práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu.
Toto zadání je součástí bakalářské práce.

Helena Juříčková
student

Ing. Tomáš Chorazy, Ph.D.
vedoucí práce

prof. Ing. Jozef Krajčovič, Ph.D.
vedoucí ústavu

V Brně dne 3.2.2025

prof. Ing. Michal Veselý, CSc.
děkan

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá optimalizací využití podsítné frakce vznikající na automatické třídící lince při separaci plastových obalů. Podsítná frakce představuje heterogenní proud odpadu, který je v současné praxi často energeticky využíván nebo skládkován, přestože obsahuje značný podíl recyklovatelných složek. Cílem práce bylo provést analýzu složení této frakce v podmínkách reálného provozu, zhodnotit potenciál jednotlivých složek pro další využití a navrhnout opatření ke zvýšení míry jejich materiálového zhodnocení. Teoretická část práce zahrnuje rešerši legislativních požadavků a technologických možností zpracování, přičemž zohledňuje i evropské trendy v oblasti cirkulární ekonomiky. Praktická část vychází z odborné praxe na zařízení ADL společnosti SAKO Brno, kde byla provedena systematická analýza 24 vzorků podsítné frakce. Výsledky ukazují, že až 27 % této frakce tvoří recyklovatelné plasty a další využitelné materiály. Na základě zahraničních příkladů byly navrženy směry optimalizace včetně využití technologií MBÚ, optického dotříd'ování, chemické recyklace a aplikace ve stavebnictví. Práce zároveň upozorňuje na potřebu legislativních a ekonomických nástrojů, které by efektivnější využití podsítné frakce podpořily. Závěrem bylo konstatováno, že její zhodnocení je technologicky realizovatelné a environmentálně i ekonomicky žádoucí.

ABSTRACT

This bachelor's thesis focuses on optimizing the use of the sub-mesh fraction generated by automatic sorting lines during the separation of plastic packaging. The sub-mesh fraction represents a heterogeneous waste stream that is often subjected to energy recovery or landfilling, despite containing a significant proportion of recyclable materials. The aim of this work was to analyse the composition of this fraction under real operating conditions, evaluate the potential for further utilization of individual components, and propose measures to increase their material recovery rate. The theoretical part includes a review of relevant legislation and available processing technologies, with emphasis on European trends in circular economy. The practical part is based on a professional internship at the ADL facility operated by SAKO Brno, where 24 sub-mesh samples were systematically analysed. The results show that up to 27 % of this fraction consists of recyclable plastics and other recoverable materials. Based on foreign best practices, several optimization approaches are proposed, including mechanical-biological treatment (MBT), optical re-sorting, chemical recycling, and use in construction applications. The thesis also highlights the need for legislative and economic instruments to support more efficient utilization of the sub-mesh fraction. It concludes that the valorisation of this fraction is both technically feasible and desirable from environmental and economic perspectives.

KLÍČOVÁ SLOVA

Podsítná frakce, automatická dotříd'ovací linka, recyklace plastů, oběhové hospodářství

KEYWORDS

Sub-mesh fraction, automatic sorting line, plastic recycling, circular economy

JUŘÍČKOVÁ, Helena. *Optimalizace využití podsítné frakce z automatické linky separace tříděných plastových obalů*. Online, bakalářská práce. Tomáš CHORAZY (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2025. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/162153>. [cit. 2025-05-26].

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Bakalářská práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího bakalářské práce a děkana FCH VUT.

.....
podpis studenta

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu své bakalářské práce Ing. Tomáši Chorazymu, Ph.D., za trpělivost a podporu během zpracování této práce. Velké díky patří také společnosti SAKO Brno, a.s., za umožnění odborné praxe a poskytnutí důležitých informací a dat, bez nichž by praktická část této práce nebyla realizovatelná. Jmenovitě bych chtěla také poděkovat Ing. Ivetě Jurenové a Ing. Martinu Doležalovi za cenné rady a zkušenosti při praxi a sběru dat v SAKO Brno, a.s.

OBSAH

1	ÚVOD	7
2	Teoretická část.....	9
2.1	Literární rešerše aktuálních právních předpisů a strategických dokumentů	9
2.1.1	Státní politika životního prostředí České republiky 2030–2050.....	9
2.1.2	Zákon o odpadech č. 541/2020 Sb. a jeho aplikace v oblasti plastového odpadu 9	
2.1.3	Zákon o obalech č. 477/2001 Sb. a jeho vliv na recyklaci plastových obalů... 10	
2.1.4	Zelená dohoda pro Evropu a Akční plán EU pro oběhové hospodářství.....	10
2.1.5	Role autorizované obalové společnosti v systému nakládání s obalovými odpady	11
2.2	Přehled aktuálního využití vytríděných plastových obalů	11
2.3	Základní informace o automatické dotřídňovací lince	14
2.4	Popis základních principů fungování ADL.....	15
2.4.1	Stručný popis fungování linky	16
2.4.2	Popis technologií ADL.....	17
2.4.3	Popis ostatních technologií ADL	22
2.5	Provoz ADL	25
2.5.1	Pravidelné čištění hlavních technologických uzlů	25
2.5.2	Běžná údržba	26
2.5.3	Optimalizace nastavení technologie.....	26
2.5.4	Distribuce odpadu na dopravnících a separátorech.....	26
2.6	Tříděné druhotné suroviny	27
2.7	Řízení a ovládání ADL.....	28
2.7.1	Princip fungování optických separátorů.....	29
3	PRAKTICKÁ ČÁST.....	32
3.1	Metodika sběru dat	32
3.2	Analýza rozborů a dat z podsítné frakce	35
3.3	Způsoby využití podsítné frakce v zahraničí.....	36
3.4	Možnosti aplikace zahraničních přístupů v českém prostředí.....	38
4	ZÁVĚR.....	40
5	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	41
6	SEZNAM ZKRATEK.....	43

1 ÚVOD

Plasty patří mezi materiály, které zásadním způsobem ovlivnily současnou společnost díky své univerzálnosti, nízkým výrobním nákladům, širokým možnostem využití a snadnému procesu výroby. Jejich rostoucí produkce však přinesla řadu environmentálních problémů, zejména pokud jde o likvidaci plastového odpadu nebo jeho opětovné využití v rámci recyklace a cirkulární ekonomiky. Téma je aktuální jak z environmentálního, tak ekonomického hlediska, protože účinná recyklace plastů může výrazně přispět ke snížení závislosti na fosilních zdrojích a k rozvoji cirkulární ekonomiky.

Plasty se v přírodě svévolně rozkládají velmi pomalu, což vede k jejich hromadění v životním prostředí, nesprávné nakládání s plastovým odpadem má kritické dopady na přírodní i umělé ekosystémy. Jedním z možných nástrojů, jak tyto problémy zmírnit, je recyklace, která představuje řešení pro snížení negativních dopadů plastového odpadu na životní prostředí. Avšak recyklační procesy narážejí na řadu problémů, jako je složité třídění plastů dle jejich vlastností, jejich míra znečištění, nízká kvalita vstupního materiálu a jejich omezené možnosti využití v průmyslu. Tyto problémy vyžadují nejen mnoho technologických inovací v oblasti, ale i změnu přístupu k nakládání s plastovým odpadem, která by více odpovídala stylu udržitelnosti a směru oběhového hospodářství.

Primárním aspektem recyklačního procesu jsou třídící linky, na kterých dochází k separaci plastů na základě jejich materiálového složení, velikosti, hustoty a dalších fyzikálních vlastností pro které je linka na míru sestavena a přizpůsobena. Během procesu třídění a oddělování jednotlivých frakcí na lince vzniká vedlejší odpad nazývaný výměť který je tvořený ostatním odpadem, který není použitelný nebo určený pro další zpracování a recyklaci.

Právě zde jsem se setkala s problematikou tzv. podsítné frakce, která zahrnuje drobné plastové částice a jiné nečistoty, jež procházejí sítí během třídění. Tato frakce je velmi obtížně zpracovatelná, protože obsahuje směs různých materiálů, které jsou navíc silně znečištěny jinými druhy odpadu. To z podsítné frakce činí nejen technologickou, ale i environmentální výzvu, neboť se stává nerecyklovatelným odpadem, jenž končí na skládkách nebo ve spalovnách. Rozbory vzorků z třídící linky jsou zásadní pro definici složení jednotlivých frakcí výmětu a pro návrh účinnějších metod k jeho dalšímu zpracování, které by mohly přispět ke zvýšení efektivity recyklačních procesů a k minimalizaci dopadu plastového odpadu na životní prostředí. Podsítná frakce je často obtížně zpracovatelná a vyžaduje specifické přístupy při testování a analýze.

Další důležitou součástí recyklace plastů je jejich následné využití v průmyslu. Přestože se recyklované plasty stávají stále atraktivnější alternativou k primárním surovinám, jejich využití je omezeno řadou faktorů. Jedním ze zásadních problémů u recyklace plastů je kvalita již recyklovaného materiálu, která často nesplňuje požadavky na čistotu nebo mechanické vlastnosti. Přestože recyklace nabízí možnost snížit spotřebu primárních surovin, recyklované plasty zůstávají v průmyslu méně využívané kvůli jejich kvalitě, degradaci materiálu během recyklačního procesu, přítomnosti kontaminantů nebo nedostatečným třídícím technologiím. Tyto faktory nejen omezují možnosti jejich průmyslového použití, ale zároveň zvyšují náklady

na jejich zpracování. Pro zlepšení těchto procesů je důležité provádět podrobné analýzy plastového odpadu a testovat jeho vlastnosti, jako jsou mechanické, chemické a fyzikální charakteristiky a hledat způsoby, jak optimalizovat recyklační technologie.

Tato práce je zaměřena na problematiku třídění plastového odpadu, zejména na analýzu vzorků získaných z podsítné frakce na třídící lince a testování účinnosti nových výrobků určených k budoucí recyklaci. Recyklace plastů není jen technologickou otázkou, ale i společenskou výzvou, která vyžaduje spolupráci odborníků, průmyslu a veřejnosti. Doufám, že tato práce přispěje k hlubšímu pochopení problematiky a možná i k hledání cest, jak lépe využívat odpady jako zdroj v souladu s principy oběhové ekonomiky.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Literární rešerše aktuálních právních předpisů a strategických dokumentů

2.1.1 Státní politika životního prostředí České republiky 2030–2050

Státní politika životního prostředí České republiky na období 2030 s výhledem do roku 2050 (dále jen SPŽP ČR) představuje hlavní strategický dokument určující směřování environmentální politiky státu [1]. Tento dokument vychází ze závazků České republiky vůči Evropské unii, zejména v oblasti snižování emisí skleníkových plynů, podpory cirkulární ekonomiky a efektivního nakládání s odpady. V oblasti nakládání s plasty klade důraz na minimalizaci environmentálních dopadů plastového odpadu, na jeho separaci, zvýšenou míru recyklace a vyšší materiálové využití, čímž přímo ovlivňuje požadavky na provoz třídících technologií a na zpracování podsítných frakcí. SPŽP ČR podporuje zavádění inovativních technologií separace plastů, včetně technologií určených pro obtížně recyklovatelné materiály, jako je právě podsítná frakce z automatických dotřídňovacích linek. Dokument rovněž zdůrazňuje nutnost integrace zásad ekodesignu do výroby obalů a produktů, kdy by plastové výrobky měly být již při návrhu optimalizovány pro snadnější recyklaci a zpracování. Dalším z významných bodů SPŽP ČR je podpora výzkumu a vývoje udržitelných materiálů a inovativních recyklačních metod, které by umožnily lepší zpracování i kontaminovaných nebo vícevrstvých plastových odpadů, které momentálně využití nemají. Kromě technických opatření je důraz kladen na environmentální osvětu a vzdělávání veřejnosti s cílem zvýšit povědomí o třídění, recyklaci a minimalizaci vzniku plastového odpadu [1].

2.1.2 Zákon o odpadech č. 541/2020 Sb. a jeho aplikace v oblasti plastového odpadu

Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech, je hlavní legislativní normou upravující nakládání s odpady v České republice, která reflektuje požadavky evropských směrnic, zejména směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/851 [2; 3]. Zákon stanovuje hierarchii nakládání s odpady, kde prioritou je prevence vzniku odpadu, následované opětovným použitím, recyklací, jinými způsoby využití a až poté jako poslední volbou odstraněním skládkováním. Důraz je kladen na oddělený sběr minimálně pro komodity: plasty, papír, sklo, kovy a biologicky rozložitelné odpady, což má přímý dopad na skladbu vstupního odpadu, provoz jednotlivých třídících linek a kvalitu výstupních druhotných surovin [3].

V souvislosti s plastovými odpady, a konkrétně s podsítnou frakcí vznikající na třídících linkách, je důležité ustanovení, že odpad musí být využit přednostně materiálově nebo energeticky. Plastové složky v podsítné frakci, pokud jsou recyklovatelné, mají být separovány a materiálově využity. V případě kontaminace nebo nevhodného složení je přípustné jejich využití jako alternativního paliva (např. RDF – Refuse Derived Fuel) nebo jejich energetické zhodnocení v zařízeních na spalování odpadů [2].

Nový zákon klade také vyšší nároky na obce a regiony, které mají povinnost zajistit oddělený sběr specifických odpadových toků, jako jsou biologicky rozložitelné odpady, textilie či elektrozařízení. Současně stanovuje kvóty pro recyklaci komunálního odpadu – do roku 2025 má být recyklováno 55 % komunálního odpadu a do roku 2030 minimálně 60 % [1]. Tyto cíle

vytvářejí tlak na optimalizaci třídících procesů, včetně efektivnějšího nakládání s podsítnou frakcí, která často obsahuje směs plastových materiálů o menších velikostech. Zákon podporuje přechod od skládkování k oběhovému hospodářství a motivuje provozovatele zařízení k hledání technologických řešení pro maximální využití odpadních materiálů [2].

2.1.3 Zákon o obalech č. 477/2001 Sb. a jeho vliv na recyklaci plastových obalů

Zákon č. 477/2001 Sb., o obalech, představuje podstatnou legislativní normu upravující nakládání s obalovými materiály na území České republiky. Jeho hlavním cílem je minimalizace dopadu obalů na životní prostředí prostřednictvím systému rozšířené odpovědnosti výrobce (EPR), kdy výrobci, dovozci a distributoři musí zajistit sběr, třídění a následné využití svých obalových odpadů [4]. Praktickou realizaci těchto povinností zabezpečují autorizované obalové společnosti, z nichž nejvýznamnější je v České republice společnost EKO-KOM [5]. Tato společnost hraje zásadní roli při financování infrastruktury nezbytné pro sběr, separaci a recyklaci obalových odpadů a přispívá k plnění zákonem stanovených recyklačních cílů.

Zákon zároveň stanoví minimální požadavky na procento recyklace jednotlivých materiálů. V případě plastových obalů je cílem recyklovat minimálně 50 % jejich hmotnosti do roku 2025 a až 55 % do roku 2030 [1]. Tyto ambiciózní cíle výrazně ovlivňují tlak na efektivitu třídících linek, které musí optimalizovat procesy tak, aby bylo možné vytěžit maximum recyklovatelných plastů, včetně těch obsažených v podsítné frakci.

Specifickou výzvou pro efektivní separaci a recyklaci je přítomnost obalů vyrobených z kombinovaných nebo obtížně recyklovatelných materiálů. Takové obaly často končí právě v podsítné frakci, kde komplikují další materiálové využití. Zákon proto také podporuje využívání ekodesignu v návrhu obalů, aby byly snadněji recyklovatelné, a zavádí ekonomické nástroje, jako jsou poplatky a sankce, které mají motivovat výrobce k odpovědnějšímu přístupu při výrobě obalových materiálů [4].

2.1.4 Zelená dohoda pro Evropu a Akční plán EU pro oběhové hospodářství

Zelená dohoda pro Evropu (European Green Deal) je strategickým plánem Evropské komise zaměřeným na dosažení klimatické neutrality Evropy do roku 2050 [6]. V oblasti odpadového hospodářství klade Green Deal důraz na přechod od lineárního k oběhovému hospodářství, které minimalizuje produkci odpadů a maximalizuje jejich recyklaci [6]. Stěžejním prvkem je poměrně radikální snižování environmentální zátěže Evropy spojené s plastovými odpady, jejich lepší třídění a opětovné využití.

Na Green Deal navazuje Akční plán pro oběhové hospodářství (Circular Economy Action Plan), který specifikuje konkrétní opatření zaměřená na předcházení vzniku odpadu, podporu sekundárních surovin a posílení trhu s recykláty [7]. V oblasti plastů stanovuje povinnost zvyšování podílu recyklovaného materiálu v nových výrobcích, omezení výroby jednorázových plastových výrobků a podporu ekodesignu, který zohledňuje lepší recyklovatelnost produktů již ve fázi jejich návrhu.

Akční plán identifikuje plasty jako klíčový sektor s vysokým potenciálem pro rozvoj oběhového hospodářství. Zvláštní pozornost je věnována problematice obtížně recyklovatelných plastů, vícevrstvých materiálů a plastů obsažených v podsítných frakcích z třídících linek. Evropská unie podporuje investice do pokročilých technologií, jako je chemická recyklace a výroba alternativních paliv z plastového odpadu, které umožňují využít i znečištěné nebo technologicky náročné plastové toky [7]. Tyto iniciativy jsou zásadní pro budoucí optimalizaci využívání podsítných plastových frakcí i v České republice.

Významnou součástí strategie je také zavádění povinného podílu recyklovaného obsahu v nových plastových výrobcích a snaha o standardizaci třídění, což by mělo přispět k vyšší kvalitě recyklovaných materiálů a jejich širšímu uplatnění na trhu [7].

2.1.5 Role autorizované obalové společnosti v systému nakládání s obalovými odpady

Autorizované obalové společnosti, zejména EKO-KOM, hrají roli při naplňování zákonných povinností výrobců a distributorů obalů v České republice [5]. EKO-KOM funguje jako prostředník mezi výrobcí a obcemi, koordinuje sběr a třídění obalových odpadů a financuje provoz infrastruktury nezbytné pro efektivní separaci a recyklaci plastových obalů. Součástí činnosti společnosti je rovněž vedení systému evidence obalů a nastavování standardů pro kvalitu vytríděných komodit [5].

Spolupráce společnosti EKO-KOM s provozovateli třídících linek je zásadní zejména v oblasti zvyšování efektivity třídění. Financování ze strany EKO-KOM umožňuje zavádění moderních technologií, jako jsou optické separátory plastů nebo zařízení pro výrobu alternativních paliv z nerecyklovatelných plastů. Tímto způsobem společnost přispívá k optimalizaci nakládání nejen s hlavními proudy vytríděného odpadu, ale také s podsítnou frakcí, která často obsahuje směsi drobných plastových částic obtížně recyklovatelného charakteru [5].

Významným prvkem systému je rovněž nastavení motivačního modelu financování, kdy jsou příspěvky rozdělovány na základě plnění stanovených recyklačních cílů. Tento přístup podporuje vyšší míru materiálového využití všech složek odpadu včetně podsítných frakcí, čímž přispívá k dosažení cílů oběhového hospodářství v České republice [5].

Provoz automatizovaných dotřídňovacích linek, jako je například ADL společnosti SAKO Brno, je přímo ovlivňován ekonomickou a logistickou podporou ze strany EKO-KOM. Bez této podpory by nebylo možné dosáhnout vysoké úrovně efektivity třídění a následné recyklace plastového odpadu [5].

2.2 Přehled aktuálního využití vytríděných plastových obalů

V České republice bylo v roce 2022 z obcí vytríděno přibližně 123 tisíc tun plastového odpadu, z čehož největší část tvořily plastové obaly [5]. Tento údaj ilustruje rostoucí trend v třídění komunálních plastů, který je podporován legislativními nástroji a dotačními programy. V souladu s hierarchií nakládání s odpady, jak ji definuje zákon č. 541/2020 Sb., je prioritou materiálové využití, tedy recyklace plastových odpadů na nové výrobky [2]. Pokud materiálové

využití není technicky nebo ekonomicky možné, přistupuje se k energetickému využití, případně k odstranění skládkováním.

Největší část recyklovaných plastových obalů tvoří polyethyltereftalát (PET), který je recyklován na nové PET lahve, textilní vlákna, například pro výrobu fleecové bund, fólií atp. Vytríděné PET lahve představují přibližně 30 až 35 % všech plastů vhodných k materiálové recyklaci [5]. Transparentní PET lahve mají vyšší recyklační hodnotu než barevné varianty, které hůře splňují kvalitativní standardy recyklátů. Přesto některé nové technologie, například chemická recyklace PET, umožňují zpracování i barevného PET na monomery vhodné pro výrobu nových výrobků. Další významné materiály pro recyklaci představuje vysokohustotní polyethylen (HDPE), využívaný především na výrobu technických výrobků, například trubek, kontejnerů a lahví na čisticí prostředky. Nízkohustotní polyethylen (LDPE) je recyklován zejména na nové fólie, pytle na odpad a ochranné fólie pro stavebnictví. Polypropylen (PP) se používá pro výrobu kelímků, víček a uzávěrů. Jeho recyklace je technologicky náročnější kvůli různorodosti vstupních materiálů a často vyžaduje speciální separační procesy. Polystyren (PS), využívaný zejména v potravinářství, je recyklován obtížně a často končí spíše energetickým využitím. Ačkoli existují projekty zaměřené na chemickou depolymerizaci PS, není jich mnoho.

Podle údajů společnosti EKO-KOM se v České republice materiálově využívá přibližně 53 % všech vytríděných plastových obalů [5]. Materiálová recyklace je preferována zejména u čistých a homogenních proudů plastů, které splňují kvalitativní požadavky recyklátorů na vstupní surovinu. Výstupní suroviny se dále zpracovávají v recyklačních závodech v České republice, jako je např. rPET závod Retal v Mostě, nebo jsou exportovány do zemí Evropské unie, kde jsou dostupné pokročilejší recyklační technologie [5].

Plasty, které nejsou vhodné pro materiálovou recyklaci kvůli kontaminaci potravinami, mastnotou, nebo vícevrstevným složením (např. kombinace plast-hliník v tetrapakových obalech), jsou využívány energeticky. Nejčastější formou energetického využití je výroba alternativního paliva RDF (Refuse Derived Fuel), které je spalováno především v cementárnách, například v provozech společnosti Českomoravský cement v Prachovicích a Radotíně, nebo ve spalovnách komunálních odpadů, jako je SAKO Brno. Energetickému využití podléhá přibližně 30 až 35 % vytríděných plastových odpadů [5].

Energetické využití přináší řadu výhod, včetně omezení množství odpadu ukládaného na skládky, produkce energie z odpadu a snížení emisí skleníkových plynů v porovnání se skládkováním. Nevýhodou je však ztráta materiálové hodnoty plastu a vznik emisí oxidu uhličitého při spalování. Energetické využití je proto považováno za řešení nižší úrovně v hierarchii nakládání s odpady oproti materiálové recyklaci.

Skládkování plastového odpadu je v České republice až krajní možností a podléhá postupnému omezení. V návaznosti na cíle směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/851 má Česká republika povinnost výrazně snížit množství skládkovaného komunálního odpadu do roku 2035 na maximálně 10 % celkového množství [3]. V roce 2022 bylo skládkováno méně

než 5 % vytríděných plastových odpadů [5]. Na skládky jsou odkládány především plastové odpady kontaminované jinými materiály, které není možné recyklovat ani energeticky využít.

Specifickou skupinou plastového odpadu je podsítná frakce, která vzniká na automatických třídících linkách při separaci materiálu o velikosti pod 40 až 60 mm. Tato frakce obsahuje drobné fragmenty plastů, fólie, zbytky obalů, papír, organickou hmotu a jemné inertní částice. Podle údajů Institutu cirkulární ekonomiky tvoří plasty přibližně 15 až 30 % hmotnosti podsítné frakce [8].

Podsítná frakce je charakteristická vysokou kontaminací a heterogenním složením, což významně snižuje možnosti její efektivní recyklace. Složení podsítné frakce se navíc liší v závislosti na regionu, sezóně a typu sběrného systému, což komplikuje její následné zpracování. V důsledku těchto vlastností je většina podsítné frakce energeticky využívána, a to zejména ve formě výroby alternativního paliva RDF. V České republice probíhají pilotní projekty zaměřené na lepší separaci plastových složek z podsítné frakce, například zavedením pokročilých optických separátorů a technologických linek na předsušení podsítného materiálu.

Shrnutí podílů využití plastových obalů v České republice za rok 2022 je uvedeno v následující tabulce:

Způsob využití	Podíl (%)
Materiálová recyklace	53 %
Energetické využití (RDF, spalování)	30–35 %
Skládkování	<5 %
Export recyklovatelných plastů	cca 10–12 %

Tabulka 1: Shrnutí podílů využití plastových obalů v České republice za rok 2022 [5]

Česká republika se díky zavedenému systému třídění a podpoře autorizovaných obalových společností pohybuje nad průměrem Evropské unie v míře třídění plastových obalů. Přesto zůstává prostor pro zlepšení, zejména v oblasti kvality tříděného materiálu a rozšíření recyklačních kapacit pro složitější plastové frakce. Cílem do budoucna je nejen zvyšovat objem vytríděných plastových obalů, ale především kvalitu výstupních surovin, což je nezbytné pro dosažení recyklačních cílů stanovených evropskou legislativou, například 50 % recyklace plastových obalů do roku 2025 a 55 % do roku 2030 [1].

2.3 Základní informace o automatické dotříd'ovací lince

Automatická dotříd'ovací linka (ADL) společnosti SAKO Brno představuje moderní zařízení zaměřené na efektivní materiálové třídění plastového odpadu. Tato technologie zpracovává odpady nejen z města Brna, ale také z okolních obcí a měst. Vstupním materiálem jsou zejména komunální plasty vytríděné do žlutých kontejnerů a pytlů. Díky pokročilým technologiím dokáže linka třídít také směsný odpad obsahující plasty, kovy a nápojové kartony.

Výstavba linky probíhala v letech 2021–2023 v blízkosti zařízení na energetické využití odpadu (ZEVO) SAKO Brno. Areál se skládá ze dvou hal – jedna slouží k umístění samotné třídící technologie a druhá je určena ke skladování plastového odpadu a vytríděných druhotných surovin. Linka byla uvedena do provozu v březnu 2023 [9].

Kapacita linky je navržena na 7 tisíc tun plastového odpadu ročně při jednosměnném provozu, což odpovídá zpracování 4,5 tun plastů za hodinu. Pro srovnání, na starší ruční třídící lince bylo v roce 2022 zpracováno 5 592 tun plastového odpadu, z čehož 4 102 tun pocházelo od obyvatel Brna. Zavedení nové technologie výrazně zvýšilo efektivitu třídění a kvalitu výstupních druhotných surovin.

V první polovině roku 2023 probíhalo testování a optimalizace provozu. Od druhé poloviny roku 2023 linka pracuje nepřetržitě, přičemž narůstající zájem o její služby vedl k přechodu na dvousměnný provoz od února 2024, což zvýšilo roční kapacitu na 14 tisíc tun [9].



Obrázek 1: Letecký pohled na ADL [10]

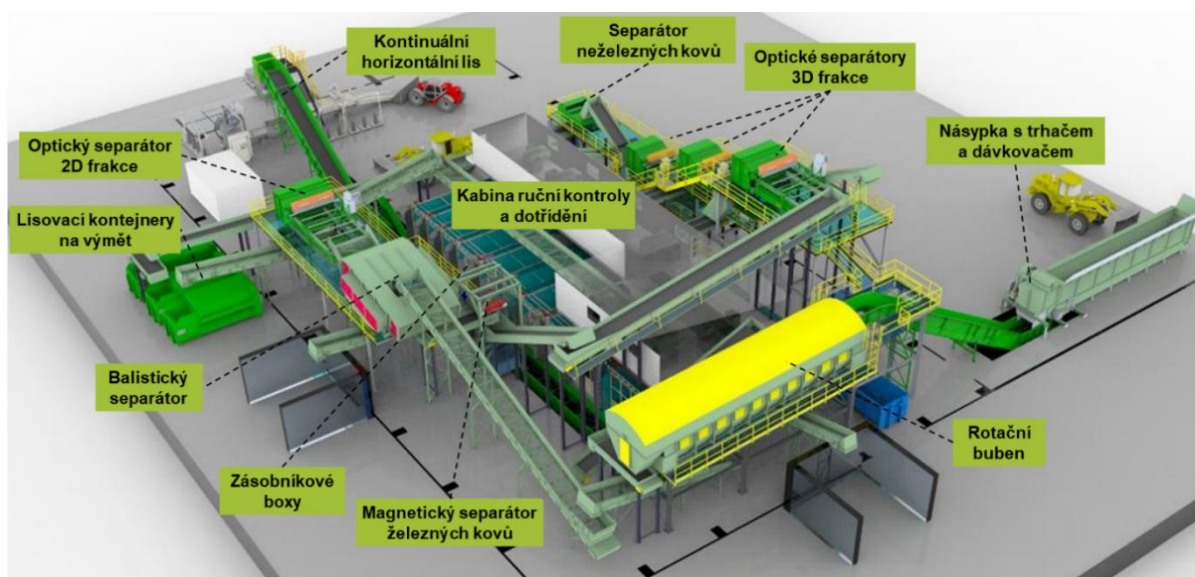
Tato technologická inovace je významným krokem ke zlepšení nakládání s plastovým odpadem v souladu s principy oběhového hospodářství. Efektivní třídění přispívá k výrobě kvalitních druhotných surovin vhodných k dalšímu zpracování, což snižuje množství odpadu ukládaného na skládky nebo spalovaného v ZEVO. Automatická dotřídovací linka je tak prvkem udržitelného odpadového hospodářství v regionu.

2.4 Popis základních principů fungování ADL

Dotřídovací linka je komplexní zařízení, které kombinuje různé technologické prvky s cílem dosáhnout maximální efektivity při separaci plastových odpadů, kovů a nápojových kartonů. Tyto technologie spolupracují v několika navazujících krocích, aby byla zajištěna vysoká kvalita vytríděných druhotných surovin. Linka může pracovat v plně automatickém režimu, kdy celý proces separace zajišťují stroje, nebo v poloautomatickém režimu, ve kterém pracovníci provádějí dodatečnou kontrolu kvality a odstraňují nežádoucí příměsi.

Vzhledem k neustálým změnám na trhu s odpady, které ovlivňují jak složení vstupního plastového odpadu, tak požadavky na kvalitu a typ výstupních druhotných surovin, byla při návrhu ADL kladena zvláštní pozornost na zajištění vysoké flexibility celého systému. Tato flexibilita umožňuje přizpůsobit provoz linky různorodým vstupním materiálům a zároveň reagovat na aktuální požadavky trhu.

Pro dosažení maximální čistoty výstupních druhotných surovin je klíčová důkladná příprava odpadu před samotným tříděním. Proces začíná protržením pytlů s odpadem, čímž se materiál uvolní a připraví na další zpracování. Následuje dvojité sítování, které slouží k odstranění jemné frakce. Tento krok je zásadní, protože přítomnost drobných nečistot by mohla kontaminovat tříděné komodity a negativně ovlivnit kvalitu výsledných surovin. Tímto postupem se zajišťuje vysoká čistota vytríděných materiálů, které jsou připraveny pro další využití.



Obrázek 2: Vizualizace ADL s popisem hlavních technologických uzlů [10]

2.4.2 Popis technologií ADL

2.4.2.1 Násypka s trhačem a dávkovačem odpadu

Násypka je první částí třídící linky, do které je plastový odpad přivážen pomocí kolového nakladače. Tento odpad je sypan přímo do násypky, která je navržena pro příjem 40 m³ odpadu. Součástí násypky je trhač, který zajišťuje roztrhání odpadu na menší kusy. Tento proces je důležitý pro zajištění správného dávkování odpadu na následné části linky. Trhač se stará o to, aby materiál měl správnou velikost pro efektivní třídění. Dávkovač, umístěný za trhačem, dávkuje odpad na posuvnou podlahu, která jej následně posouvá na další zařízení. Celý proces je automatizovaný a kontrolovaný, přičemž výkon dávkovače je řízen na základě rychlosti posuvné podlahy, což zajišťuje optimální tok odpadu pro následující technologické kroky.

2.4.2.2 Bubnová separace

Bubnový separátor je zařízení, které využívá rotující buben k separaci odpadu na základě velikosti částic. Tento separátor umožňuje rozdělení odpadu na tři hlavní frakce:

- **Jemná frakce** (do 5 cm), která obsahuje převážně zbytky jídla a inertní materiály, které jsou považovány za nevyužitelné pro recyklaci a jsou určeny pro energetické využití v zařízení pro spalování odpadu (ZEVO).
- **Střední frakce** (5 až 35 cm), která je větší a obsahuje materiály, které mohou být dále tříděny a recyklovány. Tato frakce je také největší a tvoří většinu odpadu.
- **Hrubá frakce** (nad 35 cm), která obsahuje větší plasty, folie a další materiály, které jsou ideální pro ruční třídění. Tato frakce je obvykle složena z větších plastových obalů nebo kusů odpadu, které nejsou vhodné pro další automatické zpracování.

Bubnový separátor je dlouhý 12,5 m a má průměr 2,5 m. Díky rotaci je materiál efektivně rozdělován na jednotlivé frakce, které jsou následně směřovány na další procesy třídění. Bubnový separátor je navržen tak, aby minimalizoval problém namotávání materiálů na rotující části, což je častý problém u plastových folií a podobných materiálů [10].



Obrázek 4: Princip bubnové separace [10]



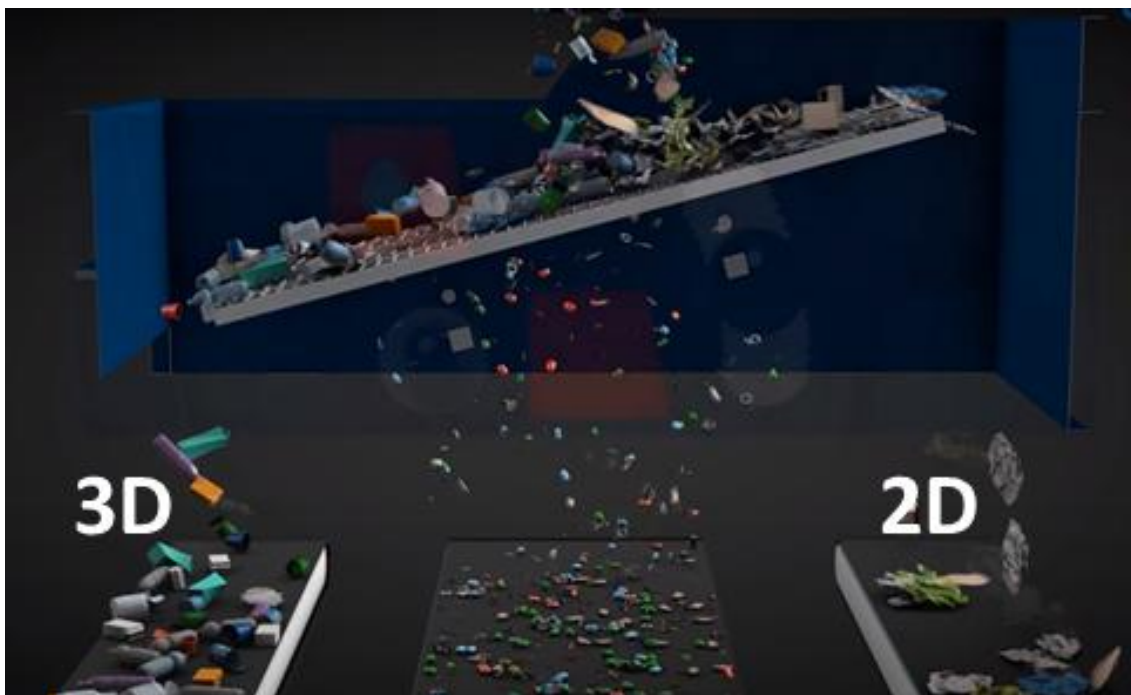
Obrázek 5: Pohled do bubnového separátoru [10]

2.4.2.3 Balistická separace

Balistická separace je technologie, která slouží k oddělení odpadu na základě jeho tvaru. Pomocí zařízení, které vytváří pohyb v horizontálním směru, dochází k oddělení materiálů na tři frakce:

- **Ploché materiál (2D)**, jako jsou sáčky, fólie a další ploché objekty, které jsou posunovány nahoru.
- **Dutý materiál (3D)**, který zahrnuje lahve, kelímky a jiné duté objekty, je vrhán dolů a směřuje do další fáze třídění.
- **Podsítná frakce**, která obsahuje materiály menší než 5 cm a není vhodná pro recyklaci. Tento materiál obvykle obsahuje malé plastové částice, které jsou považovány za zbytečné.

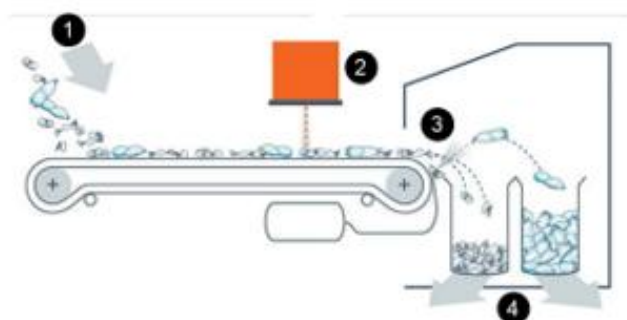
Tato technologie je podstatná pro efektivní oddělení materiálů různých tvarů, které by jinak byly složité k třídění.



Obrázek 6: Princip balistické separace [10]

2.4.2.4 Optická separace

Optická separace využívá pokročilé technologie rozpoznávání materiálů, která je založena na analýze světelných spekter odpadu. Zařízení pracující na bázi infračerveného záření (NIR) a viditelného spektra (VIS) umožňuje identifikaci různých polymerů a materiálů na základě jejich chemických a optických vlastností. Jakmile je materiál detekován, je pomocí vzduchového tryskového systému odfouknut do příslušného boxu pro další třídění. Na ADL SAKO Brno jsou umístěny čtyři optické separátory. Dva z nich jsou zaměřeny na třídění mixu LDPE fólií, zatímco další se zaměřují na 3D materiály, jako jsou PET lahve, hliníkové plechovky a jiné obaly, které se efektivně oddělují od zbytku odpadu. Tento proces umožňuje vysokou míru automatizace a přesnosti při třídění materiálů podle typu [10].



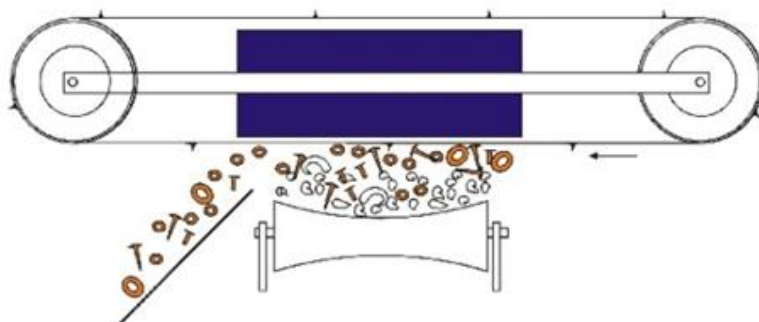
- 1 ... vstup materiálu
- 2 ... snímací zařízení
- 3 ... vzduchová tryska
- 4 ... rozdělené komodity

Obrázek 7: Princip optické separace [13]

2.4.2.5 Magnetické separátory železných kovů

Po optické separaci následuje magnetický separátor, který slouží k odstranění železných kovů z odpadu. Tento separátor je vybaven silnými magnety, které přitahují kovové materiály, jako jsou plechovky, víčka a jiné feromagnetické objekty. Tyto materiály jsou následně posunuty na

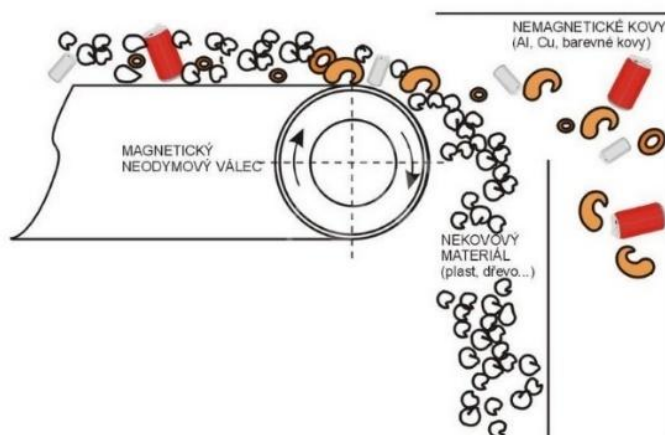
stranou a odděleny od zbytku odpadu, což zajišťuje, že tříděné materiály budou čistší a vhodné pro další recyklaci.



Obrázek 8: Princip magnetické separace [10]

2.4.2.6 Magnetický separátor neželezných kovů

Dalším krokem je separace neželezných kovů, které jsou detekovány pomocí indukčního separátoru, který využívá vířivé proudy k oddělení materiálů, jako jsou hliníkové plechovky, zbytky hliníku nebo mědi. Tento proces je podobný magnetické separaci, ale zaměřuje se na kovy, které nejsou magnetické. Indukční separátor generuje vysokofrekvenční magnetická pole, která odpuzují neželezné kovy z hlavního toku odpadu.



Obrázek 9: Princip separace neželezných kovů [10]

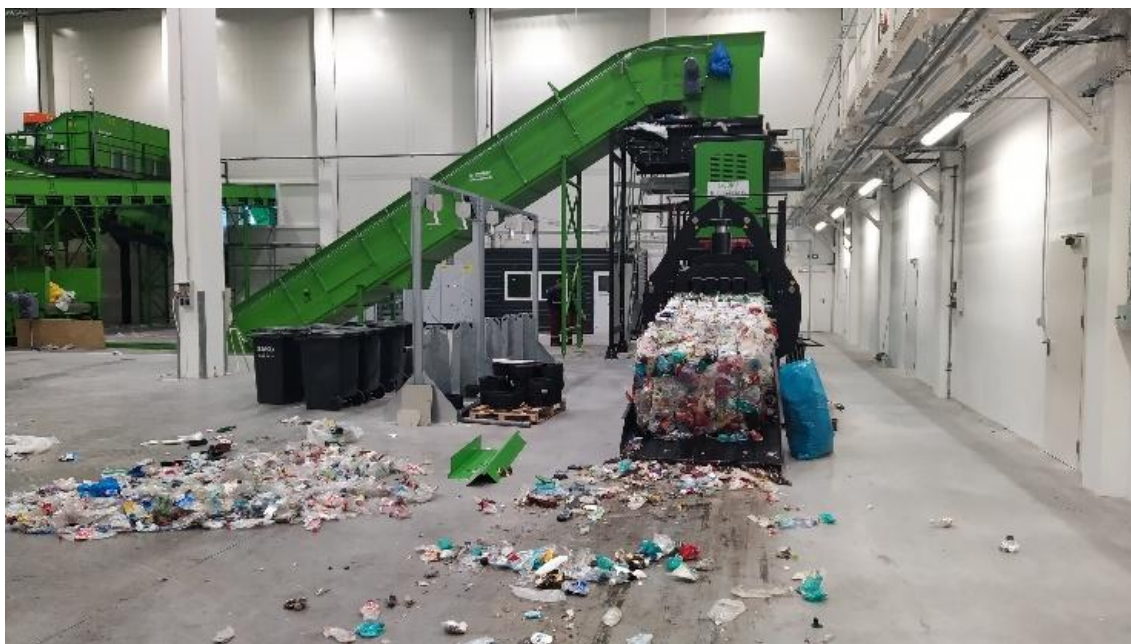
2.4.2.7 Dotříd'ovací kabina

Dotříd'ovací kabina je pracovní prostor, kde operátoři ručně třídí materiály, které nemohly být správně seřazeny automatickými procesy. Zde jsou materiály opětovně kontrolovány, aby bylo zajištěno, že vše, co je možno recyklovat, je správně odděleno. Tento krok umožňuje opravit případné chyby v předchozích separačních fázích a zajistit vysokou kvalitu finálních komodit.

2.4.2.8 Kontinuální lis

Lisování materiálů na konci třídící linky zajišťuje, že vytríděné plastové komodity jsou komprimovány do balíků, které jsou snadno skladovatelné a transportovatelné. Tento kontinuální horizontální lis má nastavitelný tlak pro kompresi a délku balíku. Když je komora

lisu plná, materiál je automaticky stlačen, což zajišťuje vysokou efektivitu tohoto procesu. V případě PET lahví je na násypce přidán perforátor, který zabraňuje praskání lahví a usnadňuje jejich stlačení.



Obrázek 10: Lis – foto autor

2.4.2.9 Stacionární zásobníkové boxy

Po lisování jsou vytríděné materiály uskladněny ve stacionárních zásobníkových boxech, které jsou navrženy pro efektivní skladování různých komodit. Boxy mají posuvné podklady a jsou vybaveny kamerovým systémem pro monitorování jejich naplnění. Operátor může dálkově ovládat naplnění boxů a podle potřeby je přemístit nebo vyprázdnit. Celkem je na linkách k



Obrázek 11: Stacionární zásobníkové boxy – foto autor

dispozici 11 boxů různých velikostí, přičemž větší boxy jsou určeny pro fólie a menší boxy pro 3D komodity [10].

2.4.2.10 Mobilní zásobníkové boxy pro kovy

Pro shromažďování kovového odpadu jsou k dispozici mobilní boxy o objemu 2 m³. Tyto boxy slouží pro ukládání železných a neželezných kovů, které byly odděleny v předchozích fázích třídění. Mobilní boxy mohou být snadno přemístěny pomocí vysokozdvizného vozíku nebo jiných manipulátorů, což zajišťuje flexibilitu v provozu [10].

2.4.2.11 Lisovací kontejnery pro výmět

Kontejnery pro výmět slouží pro shromažďování odpadu, který byl vytríděn v ADL a který není vhodný pro další zpracování. Tyto kontejnery mají objem 20 m³ a jsou umístěny venku, aby byly připraveny pro odvoz a likvidaci. Celý systém je uzavřen, aby se zabránilo úletu materiálu z linky. Dopravníky jsou zakryté a každý kontejner je vybaven senzory pro sledování zaplnění [10].



Obrázek 12: Lisovací kontejnery na výmět – foto autor

2.4.2.12 Ovládací kabina – velín

Ovládací kabina (velín) je centrem celého procesu. Zde operátoři monitorují všechny fáze třídění, kontrolují stav strojů, nastavují parametry a reagují na případné problémy v procesu. Velín je vybaven kamerovým systémem pro vizuální kontrolu linky, což umožňuje rychlou reakci na jakékoliv změny nebo technické problémy. Celý systém je řízen automaticky, ale operátoři mohou kdykoliv zasáhnout a optimalizovat nastavení zařízení.

2.4.3 Popis ostatních technologií ADL

2.4.3.1 Podsítná frakce

Podsítná frakce vzniká během procesu síťování odpadu v rotačním bubnu a na balistickém separátoru. Tento materiál propadá síty s průměrem oka 5 cm a je následně shromažďován do odvalovacích kontejnerů, které jsou umístěny vedle hlavní haly technologie ADL. Podsítná

frakce obvykle obsahuje různé kontaminanty, jako jsou zbytky jídla, neplastové odpady a inertní složky, které nelze dále recyklovat. Tato jemná část odpadu je považována za nevhodnou pro další zpracování a je určena k energetickému využití nebo k jinému způsobu likvidace. Aby se minimalizovalo riziko úletu materiálu, jsou skluzavky, kterými frakce padá do kontejneru, opatřeny gumovými rukávy [10].



Obrázek 13: Kontejner u bubnové separace – foto autor



Obrázek 14: Kontejnery u balistické separace – foto autor

2.4.3.2 Kolový nakladač

Pro nakládání plastového odpadu na technologii ADL je použit teleskopický kolový nakladač s lžicí o objemu 4,5 m³. Tento nakladač je klíčový pro efektivní manipulaci s odpadem při jeho přívodu do zařízení. Průměrná hmotnost vstupního plastového odpadu je dlouhodobě sledována

a činí přibližně 50 kg na m³, což znamená, že každá lžice nakladače naloží přibližně 225 kg odpadu. Při zpracovatelském výkonu linky 4,5 t/h je nutné provést 20 nakládek za hodinu, aby byla zajištěna plynulost provozu a optimální kapacita zpracování odpadu [10].



Obrázek 15: Kolový nakladač – foto autor

2.4.3.3 Hala pro návoz odpadu a skladování balíků druhotných surovin

Samostatná hala vedle hlavní haly technologie ADL je určena pro návoz plastového odpadu, který bude zpracován, a pro uskladnění vytríděných balíků druhotných surovin. Rozměry této haly jsou 60 x 27 metrů, což poskytuje dostatečný prostor pro manipulaci s odpadem a skladování hotových produktů. Hala je rozdělena betonovou příčkou, která plní nejen funkci organizační, ale také důležitou úlohu v oblasti protipožární bezpečnosti. Každá část haly tak



Obrázek 16: Hala s navezeným odpadem ke zpracování – foto autor

nabízí plochu až 800 m², což zajišťuje dostatek místa pro efektivní operace a uskladnění materiálů před jejich dalším zpracováním nebo odvozem [10].

2.5 Provoz ADL

Technologie ADL je složité technologické zařízení, jehož efektivní a ekonomický provoz závisí na koordinované činnosti všech jednotlivých technologických uzlů. Každý uzel je součástí propojeného systému, což znamená, že jakýkoliv problém nebo nedostatek na jednom z těchto uzlů se může negativně projevit na celkové efektivitě a výsledcích provozu. V rámci tohoto celkového systému je kladeno důraz na hladký průběh všech procesů, aby byla zajištěna optimální produkce a minimalizovány možné ztráty.

V této kapitole se zaměříme na faktory, které přímo souvisejí s technologickým procesem a každodenním provozem ADL. Nejzásadnějším faktorem pro efektivitu třídění odpadu je kvalita a složení vstupního materiálu. Tento faktor je však mimo přímou kontrolu provozovatele, protože nelze ovlivnit, jaký typ odpadu bude do zařízení přijat. Z tohoto důvodu se detailně nebudeme zabývat vlivem vstupního odpadu na výkon technologie, i když jeho složení může mít významný dopad na účinnost a výsledky třídění.

2.5.1 Pravidelné čištění hlavních technologických uzlů

Efektivní třídění plastových komodit podle typu polymeru či barvy je zajišťováno optickými separátory, které však vyžadují kvalitní vstupní odpad. Ten musí být volně ložený, dobře rozdělený na 2D a 3D frakce a zbavený kontaminace. Předchozí úprava na třídící lince zajistí dosažení těchto parametrů. Otvírač pytlů zajistí volnost jednotlivých odpadů, síto je rozdělí podle velikosti a odstraní hlavní jemnou kontaminaci. Balistický separátor pak odstraní jemné zbytky a rozdělí odpad na ploché a duté frakce. Tento proces je klíčový pro vysokou účinnost optické separace.

Vzhledem k tomu, že vstupní odpad obsahuje různé materiály, včetně neplastových, dochází k postupnému zanášení technologie, což může omezit účinnost bubnového a balistického separátoru. Tento problém se obvykle projevuje v podobě dlouhých fólií a pásků. Proto je nutná pravidelná kontrola a čištění technologických uzlů. Rotační síto a balistický separátor jsou čištěny po třech směnách, trhač pytlů po pěti směnách, případně dle potřeby. Čištění odpadů, které ulpěly na technologii, je nezbytné pro zajištění správné funkčnosti.

Špatná funkčnost zařízení je často rozpoznatelná již během provozu, a obsluha ji může identifikovat včas. Například indikátorem nefunkčního otvírače pytlů jsou neroztrhané sáčky, které se objeví ve zpracovatelském procesu. Dalším indikátorem je zhoršený výkon rotačního síta, když se začnou objevit střední frakce odpadu, které by měly propadnout do následujících částí linky. V případě balistického separátoru špatné nastavení může způsobit záměnu 2D a 3D frakcí, což vede ke kontaminaci.

Dalším problémem jsou slepence, tedy odpadky, které se vklínily do sebe, čímž mohou ucpávat dopravní cesty a zhoršovat výkon technologie. Tento jev se obvykle vyskytuje v důsledku ucpaných sít.

2.5.2 Běžná údržba

ADL je složité technologické zařízení, které vyžaduje pravidelnou údržbu. Každý stroj má specifické požadavky na údržbu, ale obecně je třeba všechny stroje pravidelně promazávat. Nejvíce je kladeno důraz na údržbu řetězových dopravníků, které mají zásobník oleje. Pásové dopravníky mají maznice, které je nutné pravidelně kontrolovat a čistit.

Kromě promazávání je nezbytná pravidelná kontrola dopravníků. Je třeba zajistit, aby byly správně vycentrovány a napnuty, protože změny teplot mohou způsobit, že gumy se protáhnou nebo smrští. Také je nutné odstraňovat ulpívající odpad, což je častý problém během deštivých dní, kdy je odpad mokrá.

Další kontrolou je zajištění správného fungování stěračů, které zabraňují tomu, aby odpad propadl do vnitřní části dopravníku. Pokud dojde k poškození bočního stěrače, je nutné ho vyměnit, aby se předešlo dalším problémům [10].

2.5.3 Optimalizace nastavení technologie

Různorodost vstupního odpadu vyžaduje pravidelnou optimalizaci nastavení jednotlivých technologických uzlů. Technologie musí být navržena tak, aby dokázala pracovat při proměnlivých podmínkách a vyšším zatížení. V průběhu provozu mohou nastat situace, kdy dojde k většímu výskytu určitých druhů odpadu, jako jsou fólie nebo PET lahve, což si žádá úpravy v nastavení.

Optimalizace nastavení zahrnuje například správné nastavení rychlosti posuvné podlahy v dávkovači a rytmu trhače pytlů, aby bylo zajištěno, že na linku proudí dostatečné množství odpadu a pytle jsou řádně protrhávány. Další optimalizace se týkají rotačního síta, kde je třeba nastavit otáčky tak, aby byl odpad dostatečně vznášen a zdržován v bubnu.

Balistický separátor vyžaduje optimalizaci ve dvou parametrech: rychlosti pohybu a optimálního sklonu síta. Správné nastavení je klíčové pro oddělení 2D a 3D frakcí. Nesprávné nastavení může vést ke kontaminaci 3D komodit 2D materiály, což negativně ovlivňuje účinnost třídění.

2.5.4 Distribuce odpadu na dopravnících a separátorech

I když jsou technologické uzly ADL navrženy s dostatečnou kapacitou, špatná distribuce odpadu mezi jednotlivými částmi technologie může negativně ovlivnit účinnost systému. Ideálně by měl být odpad rovnoměrně rozložen po celé šířce dopravního pásu, což minimalizuje překrytí jednotlivých kusů odpadu a zvyšuje účinnost optických separátorů.

Distribuce odpadu lze kontrolovat vizuálně na dopravnících i prostřednictvím softwaru optického separátoru. Pokud dojde k narušení distribuce, je třeba provést úpravy. Jakékoliv změny ve složení odpadu mohou ovlivnit chování materiálu na přepadech a následně způsobit problémy v procesu třídění.

2.6 Tříděné druhotné suroviny

Výstavba a provozování ADL SAKO Brno je investičním záměrem, který se musí opírat o tržní realitu, a tedy musí vedle zajištění materiálové recyklace a vytváření podmínek pro plnění cílů odpadového hospodářství plnit také ekonomické parametry, tedy především návratnost vynaložených investičních prostředků.

Z tohoto důvodu byla již při tvorbě koncepce ADL zohledněna skladba odpadu a dlouhodobý vývoj cen druhotných surovin s vazbou na jejich prodej. Linka byla koncipována na standardní skladbu tedy včetně výskytu a složení PET lahví, výskytu hliníkových plechovek a také výskytu nápojových kartonů obsažených v multikomoditním sběru.

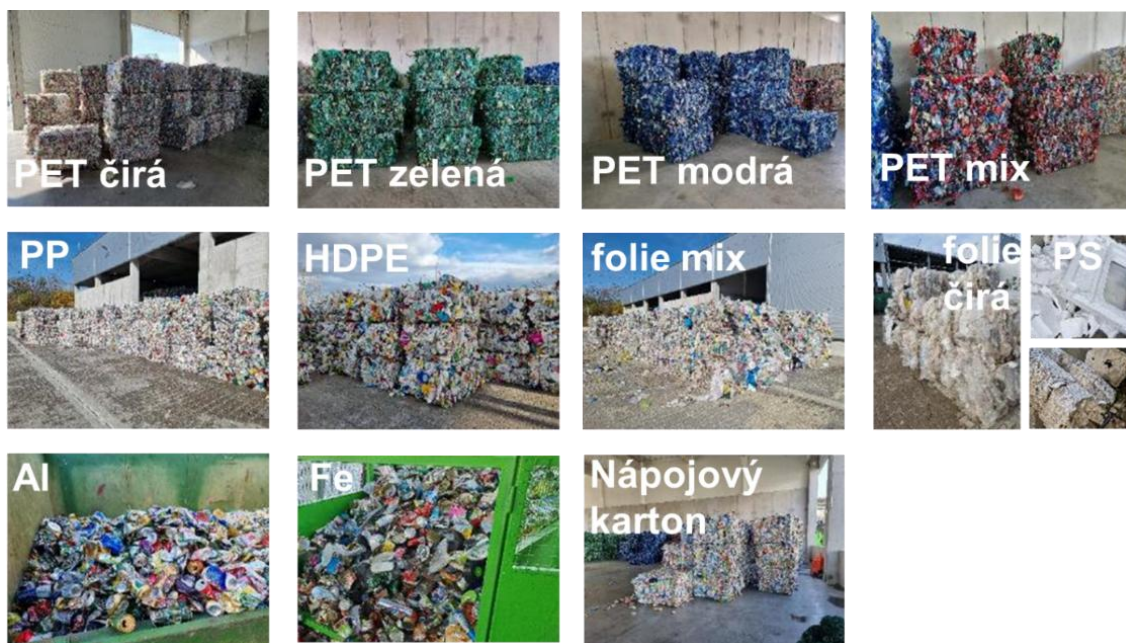
Při zohlednění všech uvedených aspektů byl vytvořen výše uvedený koncept ADL, kdy pro množstevně nejvýznamnější a komodity s pozitivní cenou na trhu byly vyčleněny samostatné odpadové toky s vazbou na optické separátory a separátory neželezných kovů. Pro minoritní komodity bylo v konceptu uvažováno s využitím sdružené separace.

Současně platí, že ADL SAKO Brno je dostatečně flexibilní na případné změny v tříděných komoditách, dokáže reagovat na změny požadavků od odběratelů a je zde i prostor pro testování a ověřování možnosti separace nových plastových komodit, které doposud nebyly tříděny v rámci českého trhu.

Tříděné druhotné komodity:

- | | |
|---------------------|-----------------------------------|
| 1) PET lahve číré | 7) Kelímkový PS |
| 2) PET lahve modré | 8) Nápojový karton |
| 3) PET lahve zelené | 9) LDPE fólie čirá |
| 4) PET lahve mix | 10) LDPE fólie mix |
| 5) Duté HDPE | 11) Železné kovy |
| 6) Duté PP | 12) Neželezné kovy (Al plechovky) |

V případě druhotných surovin PET lahví modré a PET zelené jsou tyto aktuálně sbírány společně s vazbou na požadavky odběratele a cenové hladiny jejich prodeje. Historicky byly tyto komodity tříděny odděleně. V případě budoucí potřeby samostatných barev je možno opět zavést samostatné třídění a toto přenastavení lze realizovat velmi rychle. Při každém přenastavení linky doporučujeme na základě praktických zkušeností s nastavováním linky, otestovat účinnost a kvalitu provedené změny.



Obrázek 17: Tříděné komodity [10]

Díky velmi preciznímu nastavení a pravidelnému testování je kvalita vystupujících druhotných surovin velmi vysoká. Ze strany odběratelů nejsou reklamace a v případě potřeby lze flexibilně upravovat a testovat nastavení linky s vazbou na konkrétní požadavky. Veškeré prodané druhotné suroviny jsou předávány zpracovatelům za účelem mechanické recyklace. Plastové odpady jsou dotřídovány dle jednotlivých polymerů, tedy žádná z výstupních druhotných surovin není prodávána jako směs plastů. Takto dotříděné plasty jsou vhodným vstupem pro recyklační technologie, které budou do budoucna zajišťovat dodávky recyklátů pro účely plnění povinného obsahu recyklátu v jednotlivých skupinách obalů. Již v současné době dosahuje kvalita dotřídovaných PET lahví požadavků odběratelů, kteří z vytríděných PET lahví vyrábí vločky (flakes) a následně rPET splňující parametry pro styk s potravinami dle podmínek bezpečnosti a nároků European Food Safety Authority (EFSA)[10].

2.7 Řízení a ovládání ADL

Správné a kvalitní fungování ADL je závislé na efektivní činnosti jednotlivých hlavních technologických uzlů. Pokud jsou dodrženy všechny podmínky pro kvalitní přípravu plastového odpadu, je možné efektivně provést jeho rozdělení na hlavní velikostní frakce, podle tvaru a správně distribuovat tříděný odpad na dopravníky směrem k optickým separátorům. Tyto separátory jsou schopny efektivně třídit materiál podle polymerů nebo barev.

Optická separace, která využívá kombinaci technologií NIR (Near Infrared) a VIS (Viditelné světlo), je klíčovým prvkem této automatizace. Technologie NIR umožňuje rozlišování různých druhů polymerů, zatímco VIS technologie se zaměřuje na rozpoznání barev materiálů. Tento systém výrazně zefektivňuje třídění, snižuje potřebu lidské práce a zvyšuje produktivitu, protože pracovníci se soustředí spíše na kontrolu než na samotné třídění.

2.7.1 Princip fungování optických separátorů

Optické separátory, které tvoří klíčový uzel v technologii ADL, se liší kvalitou a parametry podle výrobce. ADL SAKO Brno používá zařízení od firmy *TOMRA Sorting GmbH*, která dodává čtyři optické separátory. Technologie optické separace využívá blízkou infračervenou spektroskopii (NIR) a viditelné světlo (VIS), což umožňuje třídění materiálů podle jejich chemických vlastností (NIR) a barev (VIS) [10].

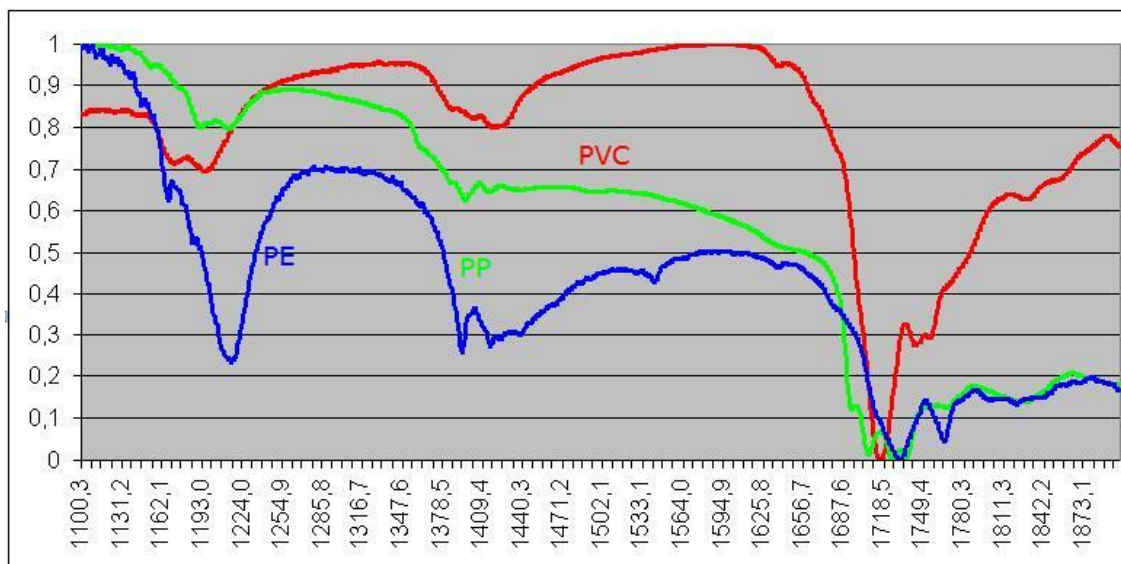
2.7.1.1 NIR technologie

Každý typ polymeru má charakteristickou vlnovou délku, což je základem pro identifikaci materiálu pomocí NIR technologie. Rozdílné plastové materiály jako PVC, PE nebo PP vykazují různé spektrální charakteristiky, které umožňují jejich separaci. Tento proces je velmi závislý na kvalitě jak hardwarového řešení, tak i softwaru, který vyhodnocuje data z optických senzorů.

NIR technologie využívá různé vlnové délky k detekci plastů. Každý polymer má svou specifickou vlnovou délku a zařízení dokáže tento rozdíl identifikovat a na jeho základě třídí materiály [10].

Význam spektrálních charakteristik:

- **PVC, PE, PP** mají odlišné spektrální vlnové délky, což je zohledněno při nastavení optického separátoru pro jejich třídění.
- **Kvalita separátoru** je závislá na přesnosti hardwarového řešení a sofistikovanosti softwaru pro vyhodnocování spektrálních informací.



Obrázek 18: Vlnové délky polymerů [10]

2.7.1.2 Vyhodnocování informací optickým separátorem

Na základě dat z NIR a VIS technologií jsou nastaveny parametry pro detekci a třídění materiálů. Pokud je detekován požadovaný materiál, vzduchová tryska ho odfoukne z proudu

odpadu. Například při třídění dutých PET lahví podle barvy se využívá kombinace NIR a VIS, zatímco při třídění HDPE je použita pouze NIR technologie [10].

Hlavní parametry pro vyhodnocování:

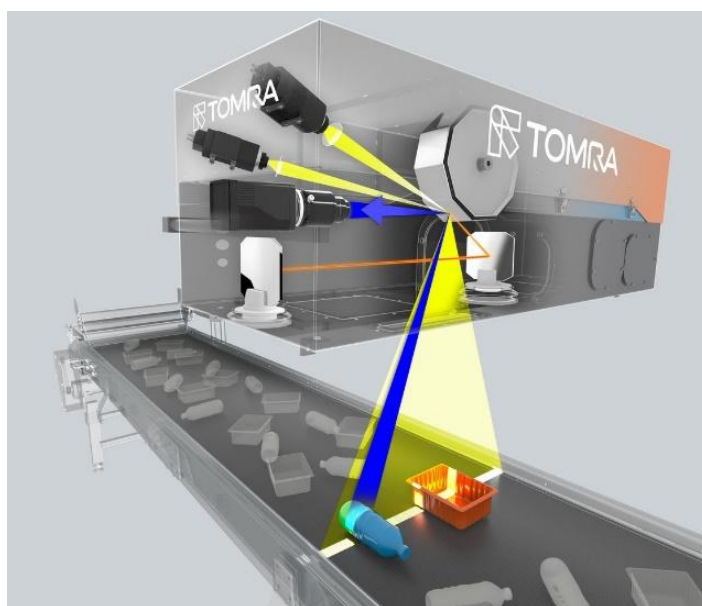
1. **Velikost detekované plochy:** Rozlišování mezi různými druhy materiálů podle velikosti detekované plochy v pixelech.
2. **Překrytí detekované plochy:** Jak velká část detekované plochy je pokryta požadovaným materiálem.
3. **Nastavení šířky trysky a její časování:** Tento parametr se liší podle materiálů, aby se zabránilo chybám při odfuku nežádoucích komodit.
4. **Prioritizace komodit:** U některých materiálů může být potřeba vyšší priorita pro správnou separaci vícevrstvých materiálů nebo jiných nejasností.

2.7.1.3 Údržba optických separátorů

Pro zajištění efektivního fungování optických separátorů je nezbytná pravidelná údržba. Mezi hlavní úkony patří kalibrace zařízení, kontrola výkonu lamp, čištění vzduchových trysek a kontrola kvality vzduchu [10].

Pravidelná kalibrace: Optické separátory používají různé signály, které se v průběhu času mohou od sebe rozcházet, což negativně ovlivňuje jejich výkon. Kalibrace by měla probíhat alespoň jednou týdně, aby se signály opět srovnaly. Kalibrace probíhá s použitím čistě bílé plochy pro nastavení všech signálů.

Kontrola lamp: Optické separátory jsou vybaveny halogenovými lampami, které mají životnost cca 2 500 hodin. Je důležité pravidelně kontrolovat jejich výkon, který by neměl klesnout pod 95 %. Tento proces je většinou automatizován a zařízení samo nahlásí potřebu výměny lampy[10].



Obrázek 19: Vizualizace optického separátoru [10]

Tato kombinace technologií, správné údržby a kalibrace zajišťuje vysokou efektivitu třídění a dlouhodobý bezproblémový provoz ADL.

3 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část této bakalářské práce vychází z odborné praxe absolvované ve společnosti SAKO Brno, a.s., která probíhala v období od 9. září do 29. listopadu 2024. Praxe se uskutečnila v nově vybudovaném areálu automatické třídící linky na plastové obaly, uvedené do provozu v dubnu 2023. Vzhledem k tomu, že linka se v daném období stále nacházela ve fázi ladění parametrů a provozních úprav, měla jsem možnost přímo sledovat proces jejího zavádění a aktivně se podílet na sběru dat a analýze provozních výstupů – konkrétně podsítné frakce vznikající během automatické separace.

Cílem praktické části bylo detailně analyzovat složení podsítné frakce, identifikovat v ní zastoupené využitelné složky a navrhnout možnosti pro zefektivnění jejího využití – ať už formou dodatečného dotřídění, materiálového nebo energetického využití.

3.1 Metodika sběru dat

V rámci odborné praxe bylo provedeno celkem 12 odběrů podsítné frakce, přičemž každý z nich zahrnoval dva oddělené vzorky. První vzorek byl odebrán z rotačního bubnového separátoru (po dobu 1 minuty) a druhý vzorek byl odebrán z balistického separátoru (po dobu 2 minut). Celkem tak vzniklo 24 vzorků podsítné frakce.

Odběry byly prováděny za běžného provozu linky, v různých dnech a odlišných časových úsecích, aby bylo dosaženo co nejvyšší reprezentativnosti vzorků. Odebraný vzorek byl přemístěn do samostatného pracovního prostoru zřízeného přímo v areálu linky, kde následně v tentýž den probíhalo jeho manuální třídění a zpracování. Každý vzorek byl ručně roztříděn podle základních materiálových kategorií (např. plast, papír, bioodpad, sklo, kovy, výmět, ...), jednotlivé frakce byly objemově změřeny, zváženy a podrobeny vizuálnímu hodnocení. Zaznamenávány byly jak recyklovatelné složky, tak kontaminované nebo neseparovatelné materiály, pozornost byla věnována i kusovým složkám plastového odpadu (např. odstřížky, obaly od bonbonů, nedopalky od cigaret, kávové kapsle, zubní kartáčky, ...).

Kompletní zpracování jednoho vzorku obsahovalo po jeho rozboru i následné vedení fotodokumentace, zápis hodnot váhy a objemu jednotlivých komodit. Zpracování jednoho takového vzorku trvalo v průměru 9 hodin čistého času.

Z důvodu ochrany citlivých provozních dat nejsou v práci uváděny absolutní hmotnosti, ale pouze procentuální zastoupení jednotlivých složek vztažené k průměrné hmotnosti vzorku.



Obrázek 21: příprava prostoru před odběrem
– foto autor



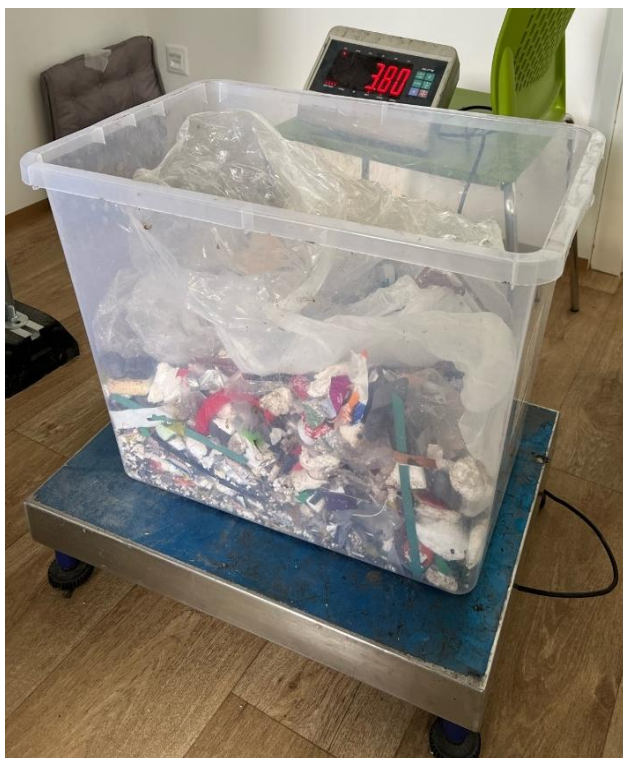
Obrázek 20: Průběh odběru vzorku – foto autor



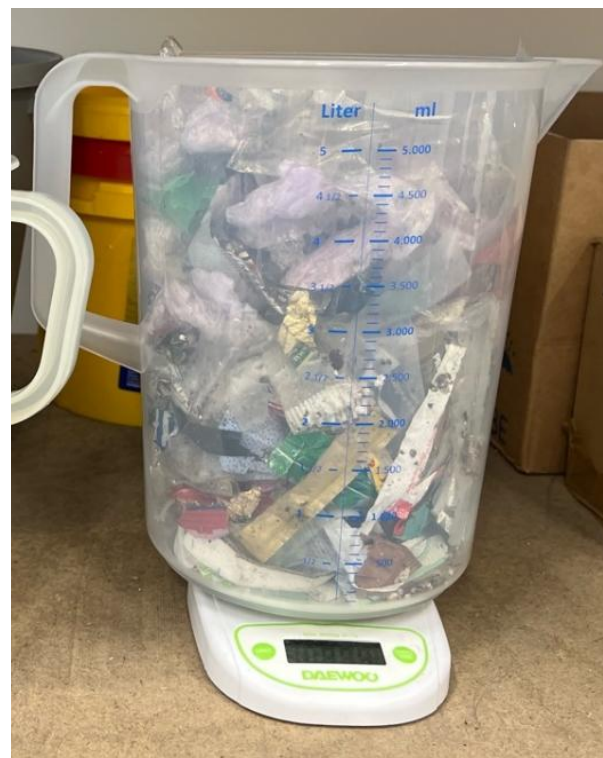
Obrázek 22: Rozbor vzorku – zdroj autor



Obrázek 23: Ukázka hotového rozboru vzorku – foto autor



Obrázek 25: Vážení vzorku – foto autor



Obrázek 24: Vážení a měření objemu jednotlivých komodit – foto autor

3.2 Analýza rozborů a dat z podsítné frakce

Výsledky kvantitativní analýzy ukázaly, že podsítná frakce z bubnového separátoru obsahuje široké spektrum složek s různou mírou využitelnosti. Průměrné hmotnostní zastoupení jednotlivých materiálových kategorií bylo následující:

Kategorie odpadu	Podíl (%)
Plasty	cca 22 %
Kovy	cca 2 %
Papír	cca 5 %
Sklo	cca 6 %
Biodpad	cca 4 %
Obtížně separovatelný odpad	cca 38 %

Tabulka 2: Přibližné složení podsítné frakce na rotačním bubnovém separátoru

Kategorie odpadu	Podíl (%)
Plasty	cca 27 %
Kovy	cca 4,5 %
Papír	cca 11,5 %
Sklo	cca 6,5 %
Biodpad	cca 9,5 %
Obtížně separovatelný odpad	cca 20 %

Tabulka 3: Přibližné složení podsítné frakce na balistickém separátoru

Největší podíl na bubnovém separátoru tvořil výmět – tedy odpad velmi malé frakce, který je znečištěný, smíšený a jinak nevhodný pro recyklaci. Tato frakce zpravidla končí v zařízeních pro energetické využití nebo je odstraněna ve spalovnách, jelikož její energetické využití je nejlepším způsobem likvidace.

Zhruba 22-27 % frakce však představovaly plastové složky, mezi nimiž dominovaly měkké fólie, fragmenty PE a PP obalů a drobné části vícevrstvých materiálů. Tyto složky jsou technologicky recyklovatelné, avšak jejich využití je často limitováno kontaminací organickými zbytky nebo mastnotou. Podobně papír, sklo a kov – ačkoliv tvoří menší podíly – reprezentují materiály s potenciálem druhotného využití, pokud by byly odpovídajícím způsobem odděleny a vyčištěny.

Vzorky z balistického separátoru měly v průměru nižší hmotnost, ale vykazovaly vyšší podíl jednoznačně identifikovatelných materiálů. Většina z nich obsahovala především plastové fólie, fragmenty obalů a méně směsných či organických složek. Jejich celková materiálová čistota byla výrazně vyšší než u bubnové frakce, což zvyšuje jejich potenciál k dalšímu využití.

Z celkového hodnocení vyplývá, že podsítná frakce představuje vysoce heterogenní tok odpadu, jehož složení se výrazně liší podle způsobu separace a zdroje sběru odpadu navážky. Zatímco jedna část složek je nerecyklovatelná a technologicky obtížně zpracovatelná, druhá část – zejména plasty, sklo a kovy vykazuje využitelný potenciál, který zůstává z velké části doposud nevyužitý.

3.3 Způsoby využití podsítné frakce v zahraničí

V evropském kontextu se nakládání s podsítnou frakcí, postupně posouvá od tradičního energetického využití směrem k technologicky pokročilejším a environmentálně udržitelnějším způsobům zpracování. Zatímco v České republice je tato frakce nadále převážně spalována ve spalovnách komunálního odpadu nebo využívána jako komponenta alternativních paliv (např. RDF), řada západoevropských států implementovala modely, které reflektují principy oběhového hospodářství a umožňují efektivní využití i obtížně recyklovatelných proudů.

Mezi nejčastější metody patří mechanicko-biologická úprava (MBÚ), jež je využívána například v Německu, Rakousku, Itálii a Nizozemsku. Tento systém spojuje mechanickou separaci s biologickou stabilizací organické složky, která probíhá buď aerobní kompostací, nebo anaerobní fermentací. Výsledkem je biologicky stabilizovaný zbytek s nižší vlhkostí a nižším obsahem organicky rozložitelného materiálu, který je následně vysušen a využíván jako základní složka pro výrobu alternativních paliv typu RDF (Refuse Derived Fuel) nebo SRF (Solid Recovered Fuel). Tato paliva pak nacházejí uplatnění zejména v cementárnách nebo energetických provozech [11].

Dále se výrazně prosazují technologie optické separace, především systémy využívající blízkou infračervenou spektroskopii (NIR). Tyto systémy, které jsou rozšířeny zejména ve Skandinávii, Nizozemsku, Belgii a Německu, umožňují identifikovat jednotlivé druhy plastů na základě jejich spektrálních vlastností. Systémy jako AUTOSORT nebo GAIN od společnosti TOMRA kombinují optickou detekci s algoritmy umělé inteligence a neuronových sítí. Díky tomu jsou schopny efektivně separovat i velmi malé plastové částice (PE, PP, PET, PS) z podsítných frakcí, které by jinak končily ve výmětové složce. Nasazení pokročilých technologií optické separace, jako jsou systémy AUTOSORT a GAIN, vedlo v některých evropských zemích k významnému snížení ztrát recyklovatelných plastů ve výmětové frakci během krátkého časového období [12; 13].

Z technologického hlediska se značná pozornost soustředí rovněž na chemickou recyklaci, především metodu pyrolýzy. Ta umožňuje zpracování smíšených a kontaminovaných plastových materiálů, které nejsou vhodné pro mechanickou recyklaci. Proces probíhá za nepřítomnosti kyslíku při teplotách 350–700 °C a vede ke vzniku pyrolýzního oleje, syntetického plynu (syngas) a tuhého zbytku s vysokým obsahem uhlíku. Například nizozemská společnost Plastic Energy provozuje zařízení s kapacitou 5 000 tun ročně, kde z kontaminovaných plastů vyrábí produkt TACOIL™, který je dále využíván jako surovina pro výrobu nových plastů [14]. V Německu a Norsku jsou testována zařízení firmy Quantafuel, která kombinují pyrolýzu s hydrogenací a umožňují zpracování i vícevrstvých či silně znečištěných plastových odpadů [15]. Chemická recyklace je Mezinárodní energetickou agenturou (IEA) označována za jednu z klíčových technologií pro dosažení recyklačních cílů Evropské unie, především v případě obtížně recyklovatelných plastových proudů [16].

Alternativní směr výzkumu a praxe představuje využití upravené podsítné frakce ve stavebnictví. Ve Francii, Indii, Brazílii a některých dalších zemích byly spuštěny pilotní projekty, které ověřují využití stabilizovaného odpadu jako plniva do asfaltových směsí, lehkých betonů, či pro výrobu kompozitních desek a panelů. Ačkoli tyto produkty často nedosahují takových mechanických vlastností jako konvenční materiály, ekologický přínos tohoto přístupu je nezanedbatelný především v oblasti snižování objemu odpadu určeného k odstranění a snížení uhlíkové stopy spojené se spalováním [17; 18].

Podpora výše zmíněných technologií by nebyla možná bez příznivého legislativního a ekonomického rámce. V Německu, Švédsku, Nizozemsku a dalších zemích je dlouhodobě uplatňován systém rozšířené odpovědnosti výrobce (Extended Producer Responsibility – EPR),

který motivuje výrobce obalů k jejich lepší recyklovatelnosti. Německý systém Der Grüne Punkt hodnotí obaly podle jejich materiálové využitelnosti a podle toho upravuje recyklační poplatky. Obaly klasifikované jako obtížně recyklovatelné (např. stupeň D) podléhají vyšším sazbám [18]. Tyto nástroje jsou podpořeny legislativou EU, především Akčním plánem pro oběhové hospodářství a směrnicí 94/62/ES o obalech a obalových odpadech, která stanovuje závazný cíl 55 % recyklace plastových obalů do roku 2030 [19].

3.4 Možnosti aplikace zahraničních přístupů v českém prostředí

Zahraníční přístupy k nakládání s podsítnou frakcí ukazují, že tato problematická složka komunálního odpadu nemusí být pouze odpadem určeným ke spalování či skládkování. Naopak, při vhodné kombinaci technologických nástrojů, legislativních pobídek a strategického plánování může být podsítná frakce zdrojem využitelných materiálů nebo surovin pro výrobu alternativních produktů a paliv. V České republice se však tyto přístupy zatím aplikují spíše okrajově. Hlavní důvody zahrnují kombinaci legislativních omezení, technické nepřipravenosti většiny třídících linek, chybějící ekonomické motivace a nedostatku mezioborové spolupráce.

Současná legislativa, definovaná především zákonem č. 541/2020 Sb., o odpadech, a vyhláškou č. 273/2021 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, sice vyžaduje úpravu odpadu před skládkováním, nicméně nepodporuje aktivně materiálové využití podsítné frakce. Z pohledu hierarchie nakládání s odpady by přitom právě recyklace či příprava k opětovnému použití měly být upřednostňovány před energetickým využitím nebo odstraněním [2]. V současné praxi je však většina podsítné frakce po základní biologické stabilizaci buď energeticky využita, nebo odvezena na skládku.

Technické vybavení většiny třídících zařízení v ČR neumožňuje efektivní zpracování podsítné frakce. Pouze několik zařízení disponuje technologií MBÚ, a ještě méně z nich je vybaveno pokročilými dotřídňovacími systémy. Optická separace drobných plastových fragmentů na úrovni podsítných toků, běžná např. v Německu, je u nás zatím výjimkou. Většina třídících linek v ČR je optimalizována na výstupní frakce o velikosti nad 50 mm, což znamená, že recyklovatelné částice propadávající přes síto jsou automaticky zařazeny do podsítného výmětového odpadu.

Ekonomické prostředí rovněž nevede provozovatele třídících zařízení k investicím do inovací. Zatímco v zemích s rozšířenou odpovědností výrobce (např. Německo, Nizozemsko) je podíl financování třídění a recyklace částečně přenesen na výrobce a distributory obalů, v ČR tato odpovědnost není uplatňována dostatečně důsledně. Výsledkem je tlak na minimalizaci nákladů a převaha jednodušších, ale méně účinných technologických řešení.

Přesto existuje prostor pro pozitivní změnu. Inspirací mohou být již fungující systémy v jiných evropských státech, které ukazují, že efektivní využití podsítné frakce je dosažitelné. Pro české prostředí lze navrhnout několik konkrétních opatření. Prvním krokem je zavedení pilotních projektů na vybraných třídících linkách, například v Brně nebo Kolíně, kde by byla implementována technologie optického dotřídňování podsítné frakce s využitím NIR spektroskopie. Takový krok by umožnil sběr reálných dat, testování účinnosti a návratnosti investic v provozním měřítku.

Dále by měla být podpořena aplikace stabilizované podsítné frakce ve stavebnictví, a to formou výzkumných a demonstračních projektů ve spolupráci s vysokými školami (např. VUT FAST). Získané výsledky by mohly přispět k vytvoření legislativního rámce pro používání těchto alternativních materiálů v infrastrukturních nebo pomocných stavebních aplikacích.

Jako další krok se nabízí zavedení systému hodnocení recyklovatelnosti obalů podle vzoru německého systému Der Grüne Punkt, včetně diferenciací poplatků podle míry recyklovatelnosti. Tato opatření by měla být doplněna o přímou podporu výstavby a provozu zařízení pro chemickou recyklaci, která je v zahraničí běžně využívána i pro frakce s vyšší mírou kontaminace.

Zásadní je rovněž vytvoření národní metodiky hodnocení recyklovatelnosti podsítné frakce, která by umožnila objektivní sledování jejího složení, míry znečištění a potenciálu pro využití. Metodika by měla vzniknout ve spolupráci Ministerstva životního prostředí, organizací jako CENIA, Institutem cirkulární ekonomiky (INCIEN) a zástupci provozovatelů zařízení. Z dlouhodobého hlediska by měla být podsítná frakce chápána nikoliv jako problémový zbytek, ale jako potenciální zdroj. Její efektivní využití není možné bez systémové změny, která bude zahrnovat jak technologická řešení, tak legislativní podporu, ekonomické nástroje a vzdělávání veřejnosti o důsledcích špatného třídění. Jen kombinací těchto přístupů lze přiblížit nakládání s podsítnou frakcí požadavkům moderního oběhového hospodářství.

4 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývala problematikou optimalizace využití podsítné frakce vznikající při třídění plastových obalových odpadů na automatizovaných separačních linkách. Podsítná frakce je specifický proud odpadu, který je často technologicky i materiálově přehlížen, přestože v sobě skrývá významný potenciál pro další zpracování. Cílem práce bylo provést analýzu složení této frakce v reálném provozu, zhodnotit její využitelnost a navrhnout konkrétní opatření, která by vedla k vyšší míře jejího materiálového zhodnocení.

Teoretická část práce se zaměřila na vymezení podsítné frakce v kontextu odpadového hospodářství, legislativní požadavky a technologické možnosti jejího zpracování. Byly popsány současné přístupy k jejímu využití a identifikovány hlavní limity, které brání efektivnímu nakládání s tímto proudem v České republice. Zvláštní pozornost byla věnována požadavkům evropské legislativy v rámci Akčního plánu pro oběhové hospodářství a recyklačním cílům pro plastové obaly.

V praktické části práce byly analyzovány vzorky podsítné frakce odebrané z třídící linky společnosti SAKO Brno, a.s. Výsledky ukázaly, že i přes vysoký podíl výmětových a kontaminovaných složek obsahuje podsítná frakce významné množství recyklovatelných plastů (až 22 %), papíru, skla a kovů. Tyto složky však při stávajícím technologickém nastavení často končí bez využití, především z důvodu chybějící dotřídovací technologie, kontaminace a nedostatečné motivace k jejich separaci.

Na základě rešerše zahraničních přístupů byly identifikovány čtyři klíčové směry optimalizace: mechanicko-biologická úprava, optické dotřídování pomocí NIR technologie, chemická recyklace (např. pyrolýza) a aplikace stabilizovaných složek ve stavebnictví. Tyto technologie, doplněné o legislativní nástroje (např. systém rozšířené odpovědnosti výrobce – EPR) a ekonomické pobídky, umožňují v jiných evropských zemích dosahovat vyššího využití i těch složek, které jsou jinak považovány za nerecyklovatelné.

V závěrečné části práce byly navrženy konkrétní kroky pro implementaci těchto opatření v podmínkách České republiky. Mezi ně patří zavedení pilotních provozů optického dotřídování podsítné frakce, rozšíření kapacit mechanicko-biologické úpravy, podpora výzkumu aplikace stabilizovaných složek v nestavebních strukturách, vytvoření metodiky hodnocení recyklovatelnosti podsítné frakce a důsledné zavedení systému EPR s diferenciováním poplatkovým režimem.

Na základě provedených analýz lze konstatovat, že optimalizace využití podsítné frakce je nejen technicky dosažitelná, ale i ekonomicky a environmentálně opodstatněná. Současný systém nakládání s touto frakcí vykazuje značné rezervy, které mohou být cílenými opatřeními výrazně sníženy. Efektivní využití podsítné frakce by nejen přispělo ke zvýšení materiálové recyklace a plnění evropských cílů, ale zároveň by vedlo k systémovému posunu českého odpadového hospodářství směrem k vyšší udržitelnosti a skutečně cirkulárnímu přístupu.

5 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Státní politika životního prostředí České republiky 2030 s výhledem do roku 2050. MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ČR [MŽP]. *Ministerstvo životního prostředí ČR* [online]. 2021 [cit. 2025-04-23]. Dostupné z: <https://mzp.gov.cz/cz/ministerstvo/politika-a-strategie-mzp/statni-politika-zivotniho-prostredi>
- [2] Zákon č. 541/2020 Sb., Zákon o odpadech. <https://www.zakonyprolidi.cz> [online]. 2020 [cit. 2025-04-20]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-541>
- [3] Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/851. *Eur-lex* [online]. 2018 [cit. 2025-04-20]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0851>
- [4] Zákon č. 477/2001 Sb. Zákon o obalech a o změně některých zákonů (zákon o obalech). [Zakonyprolidi.cz](https://www.zakonyprolidi.cz) [online]. 2001 [cit. 2025-04-20]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-477>
- [5] EKO-KOM, a.s. *EKO-KOM* [online]. 2024 [cit. 2025-04-29]. Dostupné z: <https://www.ekokom.cz/>
- [6] Zelená dohoda pro Evropu. *Consilium.europa.eu* [online]. 2019 [cit. 2025-04-29]. Dostupné z: <https://www.consilium.europa.eu/cs/policies/european-green-deal/>
- [7] Nový akční plán EU pro oběhové hospodářství: Za čistší a konkurenceschopnější Evropu. *Eur-lex* [online]. 2020 [cit. 2025-04-29]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0098>
- [8] Institut cirkulární ekonomiky. *Institut cirkulární ekonomiky* [online]. 2023 [cit. 2025-04-29]. Dostupné z: <https://incien.org/>
- [9] SAKO BRNO, A.S. Automatická třídící linka. SAKO BRNO, A.S. *Sako* [online]. 2024. Dostupné také z: <https://www.sako.cz/automaticka-tridici-linka>
- [10] , SAKO Brno, a.s. *Ověření účinnosti, efektivity, ekonomiky a specifík dotřídování využitelných odpadů s obsahem obalů na automatizovaných dotřídovacích linkách (ADL)*. Brno, 2023.
- [11] Prečo má úprava odpadu pred skládkovaním zmysel? *JRK* [online]. 2021 [cit. 2025-05-21]. Dostupné z: <https://www.menejodpadu.sk/preco-ma-uprava-odpadu-pred-skladkovanim-zmysel-mbu-linky/>
- [12] TOMRA. AUTOSORT™. *Tomra* [online]. 2023 [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://www.tomra.com/waste-metal-recycling/products/machines/autosort>

- [13] TOMRA. GAINnext™. *Tomra* [online]. 2025 [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://www.tomra.com/waste-metal-recycling/products/machines/gainnext>
- [14] TACOIL™. *Plastic energy* [online]. 2023 [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://plasticenergy.com/technology/>
- [15] QUANTAFUEL. Pyrolysis and Hydrogenation. *Quantafuel* [online]. 2023 [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://www.quantafuel.com/our-solution/technology>
- [16] IEA. Chemical Recycling of Plastics. *IEA* [online]. 2021 [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://www.iea.org/search?q=Chemical%20Recycling%20of%20Plastics>
- [17] PLASTIC ROADS IN INDIA. *R K Dewan & Co.* [online]. 2023 [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://www.rkdewan.com/articles/plastic-roads-in-india-innovation-and-waste-management/>
- [18] Packaging recyclability assessment. *DER GRÜNE PUNKT* [online]. 2023 [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://www.gruener-punkt.de/en/sustainable-packaging/>
- [19] EU. Circular economy action plan. EU. *European Commission* [online]. 2020 [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en

6 SEZNAM ZKRATEK

ADL	Automatická dotříd'ovací linka
ČR	Česká republika
EFSA	European Food Safety Authority
HDPE	High density polyethylene (vysokohustotní polyetylen)
IEA	Mezinárodní agentura pro energii (International Energy Agency)
INCIEN	Institut cirkulární ekonomiky
LDPE	Light density polyethylene (nízkohustotní polyetylen)
MBÚ	Mechanicko-biologická úprava
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NIR	Near infrared
PE	Polyetylen
PET	Polyethylentereftalát
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PVC	Polyvinilchlorid
RDF	Refuse Derived Fuel
rPET	Polyethylentereftalát s příměsí recyklátu
SAKO	Spalovna a komunální odpady
SPŽP	Státní politika životního prostředí
SRF	Solid recovered fuel
VIS	Visible spectrum
VUT	Vysoké učení technické v Brně
ZEVO	Zařízení pro energetické využití odpadů