



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

ÚPRAVA KOVOVÝCH ODPADŮ Z PRŮMYSLU

INDUSTRIAL METAL WASTE TREATMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Ujčík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Kropáč, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav procesního inženýrství
Student: **Jan Ujčík**
Studijní program: Základy strojního inženýrství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Kropáč, Ph.D.**
Akademický rok: 2024/25

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:

Úprava kovových odpadů z průmyslu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Kovové odpady z průmyslu představují materiálový tok, který je vhodný pro recyklaci. Možné jsou různé recyklační postupy dle charakteru a složení kovových odpadů. Pro vstup do recyklačního procesu anebo přeměnu odpadu na druhotnou surovinu bývá nutná úprava, např. zhutňování, zdrobňování nebo rozdrůžování.

Cíle bakalářské práce:

Představení možností nakládání s kovovými odpady z průmyslu.
Popis stávajících postupů pro nakládání s kovovými odpady z konkrétních provozů.
Návrh systému pro úpravu kovových odpadů z více provozů umístěných ve stejné lokalitě.

Seznam doporučené literatury:

Beňo, Zdeněk. Recyklace: efektivní způsoby zpracování odpadů. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního a ekologického inženýrství, 2011. ISBN 978-80-214-4240-5.

Zákon č. 541/2020 Sb. o odpadech.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2024/25

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá možnostmi zpracování kovového odpadu, konkrétně ocelových třísek, vznikajících při obrábění v průmyslovém podniku ve Zlíně. Práce reflektuje rostoucí význam recyklace kovového odpadu pro udržitelné fungování průmyslové výroby a snižování ekologické zátěže. Cílem práce je analyzovat vlastnosti těchto kovových odpadů a navrhnout technologii jejich úpravy, která bude technicky a ekonomicky efektivní. V rámci experimentální části byly u ocelových třísek stanoveny základní charakteristiky jako vlhkost, obsah rezných kapalin, sypná hmotnost a chemické složení. Na základě získaných dat byl navržen technologický postup zahrnující separaci, drcení a briketování třísek, přičemž byl brán zřetel na čistotu a homogenitu vstupního materiálu. Závěr práce tvoří zjednodušené ekonomické zhodnocení, které potvrzuje potenciál navrženého řešení z hlediska úspory surovin, zvýšení výkupní ceny zpracovaných třísek a snížení nákladů na likvidaci odpadu.

KLÍČOVÁ SLOVA

kovový odpad, ocelové třísky, recyklace, briketování, odpadové hospodářství

ABSTRACT

This bachelor's thesis focuses on the possibilities of processing metallic waste, specifically steel chips generated during machining operations in an industrial company located in Zlín. The thesis reflects the growing importance of metal waste recycling for sustainable industrial production and the reduction of environmental impact. The objective of the work is to analyze the properties of such metallic waste and propose a treatment technology that is both technically and economically efficient. In the experimental part, key characteristics of steel chips were determined, including moisture content, presence of cutting fluids, bulk density, and chemical composition. Based on the collected data, a technological process was proposed involving sorting, crushing, and briquetting of the chips, with emphasis on the purity and homogeneity of the input material. The thesis concludes with a simplified economic evaluation confirming the potential of the proposed solution in terms of material savings, increased purchase price of processed chips, and reduced disposal costs.

KEY WORDS

metal waste, steel chips, recycling, briquetting, waste management

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

UJČÍK, Jan. *Úprava kovových odpadů z průmyslu*. Online, bakalářská práce. Jiří KROPÁČ (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2025. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/165602>. [cit. 2024-12-29].

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Úprava kovových odpadů z průmyslu vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jiřího Kropáče, Ph.D. s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 23. května 2025

Jan Ujčík

Autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Jiřímu Kropáčovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky, které mi poskytl při vypracování této závěrečné práce. Dále bych rád poděkoval doc. Ing. Antonínovi Záděrovi, Ph.D., za jeho vstřícný přístup, cenné rady a výraznou pomoc při řešení experimentální části práce. Především bych chtěl poděkovat mé rodině a všem blízkým za veškerou podporu a trpělivost po celou dobu mého studia.

Obsah

1	ÚVOD	1
1.1	MOTIVACE A CÍLE PRÁCE.....	1
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	2
2.1	ÚVOD DO ODPADOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ SE ZAMĚŘENÍM NA KO	2
2.1.1	<i>Legislativa odpadového hospodářství v ČR</i>	<i>2</i>
2.1.2	<i>Plán odpadového hospodářství železných kovů v ČR</i>	<i>3</i>
2.1.3	<i>Cirkulární ekonomika</i>	<i>4</i>
2.1.4	<i>KO v rámci odpadového hospodářství</i>	<i>7</i>
2.1.5	<i>Vybrané statistické údaje související s produkcí KO</i>	<i>8</i>
2.2	KO PODLE KATALOGU ODPADŮ	9
2.2.1	<i>Ocelové třísky</i>	<i>9</i>
2.2.2	<i>Okuje</i>	<i>10</i>
2.2.3	<i>Řezné kapaliny</i>	<i>10</i>
2.3	SOUČASNÝ STAV NAKLÁDÁNÍ S KO	11
2.4	TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ KO	13
2.4.1	<i>Způsoby třídění a separace KO</i>	<i>13</i>
2.4.2	<i>Metody dělení a úprava velikosti KO</i>	<i>18</i>
2.4.3	<i>Technologie zhutňování KO</i>	<i>20</i>
2.4.4	<i>Pece pro tavbu ocelového šrotu</i>	<i>21</i>
2.4.5	<i>Pokročilé technologie zpracování KO</i>	<i>26</i>
2.4.6	<i>Perspektivní technologie v rané fázi průmyslového využití</i>	<i>27</i>
3	NÁVRH SYSTÉMU PRO ÚPRAVU OCELOVÝCH TŘÍSEK	28
3.1	SOUČASNÝ STAV NAKLÁDÁNÍ S TŘÍSKAMI A OKUJEMI	28
3.1.1	<i>Nakládání s třískami</i>	<i>29</i>
3.1.2	<i>Nakládání s okuji</i>	<i>30</i>
3.2	ANALÝZA KO - TŘÍSKY A OKUJE	31
3.2.1	<i>Charakteristika a bilance třísek a okují</i>	<i>31</i>
3.2.2	<i>Chemické složení třísek</i>	<i>36</i>
3.2.3	<i>Stanovení vlhkosti třísek</i>	<i>46</i>
3.2.4	<i>Stanovení zbytků olejů u třísek</i>	<i>49</i>
3.2.5	<i>Stanovení sypné hmotnosti třísek</i>	<i>52</i>
3.3	NÁVRH TECHNOLOGIE PRO ZPRACOVÁNÍ TŘÍSEK	54
3.3.1	<i>Vstupní předpoklady pro návrh briketovací linky</i>	<i>55</i>
3.3.2	<i>Technologické uspořádání a rozmístění</i>	<i>61</i>
3.3.3	<i>Zjednodušené ekonomické zhodnocení</i>	<i>67</i>
3.3.4	<i>Shrnutí přínosů návrhu</i>	<i>71</i>
4	ZÁVĚR	73
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	75
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	85
	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	86
	SEZNAM TABULEK	90
	SEZNAM PŘÍLOH	92
	PŘÍLOHA A: METODIKA VYHODNOCENÍ CHEMICKÉHO SLOŽENÍ TŘÍSEK	93

ÚVOD

Recyklace kovového odpadu (KO) je klíčovým prvkem pro zajištění udržitelného a efektivního fungování průmyslové výroby. Vzhledem k rostoucím nárokům na snižování ekologické zátěže a šetrné využívání surovin se stále více pozornosti věnuje možnostem opětovného využití druhotných surovin [1]. Ačkoli KO zahrnuje širokou škálu materiálů, tato práce se zaměřuje především na problematiku zpracování ocelových třísek z obrábění, přičemž okrajově se věnuje také okujům, které vznikají jako vedlejší produkt vysokoteplotním zpracováním oceli.

Ocel je jedním z nejrozšířenějších a nejlépe recyklovatelných kovových materiálů díky své pevnosti, odolnosti a opakované zpracovatelnosti [2]. Recyklace ocelového odpadu přináší významné výhody nejen v oblasti úspory primárních surovin, ale také v redukci energetické náročnosti výroby. Přestože metody recyklace oceli jsou obecně dobře zvládnuté, určité formy odpadů, jako jsou právě třísky nebo okuje, představují větší technické i procesní výzvy [1].

Především třísky, které vznikají při obrábění, jsou z pohledu dalšího využití problematické kvůli svému objemu, zbytkům olejů a nízké sypné hmotnosti. Přestože okuje obsahují značné množství vázaného železa (Fe), jejich využití je komplikované kvůli kontaminaci oleji, prachovosti a obecně nižší čistoty materiálu. Pro efektivní využití těchto odpadních materiálů jsou klíčové nejen technologické postupy zpracování, ale také vhodné třídění a prevence proti znečišťování.

Samostatnou pozornost si zaslouží otázka chemické čistoty ocelového odpadu. Udržení nízké míry kontaminace, zejména prvky jako je měď (Cu), je zásadní, protože tyto nečistoty nelze z oceli během recyklace metalurgicky odstranit [1].

1.1 Motivace a cíle práce

Tato bakalářská práce vznikla ve spolupráci s firmami působícími v průmyslové zóně areálu Svit ve Zlíně, přičemž cenné informace poskytla zejména společnost CV Machining. V daném provozu vzniká v rámci obrábění a dalších výrobních procesů významné množství kovového odpadu, především ocelového kusového šrotu (výronky, zmetky), ocelových třísek a okujů, které jsou dosud, s výjimkou výronků a zmetků, zpracovávány neefektivně nebo zůstávají nevyužity. Motivací této práce je navrhnout konkrétní technické řešení, které bude aplikovatelné v praxi a může přispět ke zlepšení nakládání s třískovým odpadem ve zmíněném průmyslovém prostředí.

Stanovené cíle práce

- Představení současných možností nakládání s KO z průmyslu.
- Popis stávajících postupů pro nakládání s KO z konkrétních provozů.
- Návrh systému pro úpravu KO z více provozů umístěných ve stejné lokalitě.

Cílem teoretické části práce je poskytnout ucelený přehled o současném stavu nakládání s KO včetně příslušného legislativního rámce, plánů a strategií odpadového hospodářství ČR. Dále je v práci objasněna terminologie včetně pojmů, jako je cirkulární ekonomika a hierarchie nakládání s odpady, a provedeno rozdělení a definice jednotlivých typů KO podle odpadového hospodářství. Součástí rešerše jsou i základní statistické údaje o produkci KO a rozbor Katalogu odpadů včetně zařazení ocelových třísek, okujů a řezných kapalin používaných při obrábění.

Závěrem teoretické části je popsán systém nakládání s kovovými odpady v kontextu cirkulární ekonomiky a detailní přehled tradičních i perspektivních technologií pro jejich zpracování, se zaměřením především na železné kovy.

Praktická část se zaměřuje na návrh systému pro zpracování ocelových třísek do formy briket, které by mohly být dále využity jako druhotná surovina. Nad rámec stanovených cílů práce byla provedena experimentální validace kvalitativních vlastností vstupních surovin. Na základě provedených experimentálních měření zahrnujících vlhkost, chemické složení, obsah olejové složky a sypanou hmotnost, jsou navrženy vstupní parametry a požadavky pro volbu vhodné technologie. Výsledkem je návrh základní technologické linky a její technicko-ekonomické zhodnocení, které zohledňuje produkované množství a využitelnost navrhovaného řešení v průmyslové praxi.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

V této kapitole bude uveden přehled aktuálního stavu poznání v oblasti nakládání s KO. Jednotlivé podkapitoly se zaměří na související legislativu, současné trendy a principy odpadového hospodářství, jako je cirkulární ekonomika a hierarchie nakládání s odpady. Dále budou vymezeny základní pojmy, včetně definice „KO“, jeho druhů a skupin. Kapitola také představí technologie zpracování KO a poskytne základní statistické údaje o jejich produkci a nakládání.

2.1 Úvod do odpadového hospodářství se zaměřením na KO

Odpadové hospodářství zahrnuje činnosti zaměřené na předcházení vzniku odpadu, jeho nakládání, péči o místa trvalého uložení odpadu, zprostředkování těchto procesů a jejich kontrolu. Cílem je minimalizace nepříznivých účinků vzniku odpadu a nakládání s ním na lidské zdraví a životní prostředí, podpora udržitelného rozvoje společnosti a přechod k cirkulární ekonomice, včetně maximálního využívání odpadu jako náhrady primárních zdrojů. Odpady lze kategorizovat na ty, které pocházejí z procesů spotřeby, a na odpady vznikající při výrobních činnostech. Tyto činnosti zahrnují sběr, třídění, přepravu, skladování, recyklaci, využití i konečné odstranění odpadu, např. skládkováním nebo jeho energetickým využitím. Cílem těchto procesů je maximalizace opětovného využití surovin a minimalizace vzniku odpadu. Kromě environmentálních aspektů zahrnuje odpadové hospodářství také legislativní, technické a ekonomické otázky, jako je řízení toku odpadu, jeho sledování a implementace efektivních technologií na jeho zpracování [3].

2.1.1 Legislativa odpadového hospodářství v ČR

V ČR vznikl první Zákon o odpadech v roce 1991. V současnosti nakládání s odpady upravuje Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech [4], který je platný od 1.1.2021. Zákon stanovuje práva a povinnosti osobám v oblasti odpadového hospodářství a prosazuje základní principy oběhového hospodářství, ochrany životního prostředí a zdraví lidí při nakládání s odpady.

Podrobnosti o nakládání s odpady upřesňuje Vyhláška č. 273/2021 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady [5]. Tato vyhláška specifikuje pravidla pro evidenci odpadů, podmínky pro výkup KO a technické požadavky na zařízení, která zpracovávají odpady. Vyhláška rovněž stanovuje povinnost sledovat prostor zařízení kamerovým systémem a vést evidenci osob, které odpady odevzdávají.

Zákon č. 477/2001 Sb. o obalech [6], upravuje nakládání s obalovými odpady, včetně kovových odpadů. Tento zákon definuje povinnosti pro výrobce a zpracovatele obalů a stanovuje cíle pro recyklaci.

Důležitý je také evropský rámec, konkrétně směrnice 2008/98/EC o odpadech [7], která zavádí hierarchii nakládání s odpady a podporuje principy oběhového hospodářství na úrovni EU. Tato směrnice ovlivňuje české právní předpisy a strategie, např. Strategii oběhového hospodářství ČR 2040, která klade důraz na snížení produkce odpadu a zlepšení recyklace kovových materiálů [7]

2.1.2 Plán odpadového hospodářství železných kovů v ČR

V souvislosti s probíhající dekarbonizací evropského průmyslu dochází k zásadním strukturálním změnám, které významně ovlivňují také ocelářský sektor. ČR v reakci na tyto výzvy vytvořila implementační dokument Akční plán Cirkulární Česko 2022-2027, který je nedílnou součástí Strategického rámce cirkulární ekonomiky ČR 2040 [8]. Tento strategický rámec byl schválen usnesením vlády č. 1151 ze dne 13. prosince 2021 a jeho zpracování garantuje Ministerstvo životního prostředí.

Akční plán Cirkulární Česko 2022-2027 stanovuje klíčové cíle a opatření zaměřené na efektivní nakládání s železnými kovy, které představují jednu z nejlépe recyklovatelných materiálových skupin s vysokým potenciálem opětovného využití v rámci cirkulární ekonomiky. Recyklace železných kovů je přitom klíčová nejen z hlediska snížení environmentálních dopadů, ale také pro zvýšení udržitelnosti ocelářské výroby, která je nezbytná pro transformaci průmyslu směrem k nízkouhlíkovým technologiím. Tento plán vyzdvihuje tzv. kritické suroviny, což je celkem 27 komodit, na níž je evropský průmysl zcela závislý. Příkladem jsou vzácné a lehké kovy pro výrobu baterií [8].

Klíčové cíle strategie podle Akčního plánu Cirkulární Česko 2022-2027:

Maximalizace recyklace železných kovů

Jedním z hlavních cílů strategie je zvýšit míru recyklace železných kovů prostřednictvím podpory jejich třídění, zpracování a opětovného využití ve výrobních procesech. Zvláštní pozornost je věnována implementaci pokročilých technologií, které umožňují efektivní separaci a dekontaminaci KO [9].

Snížení energetické náročnosti

Recyklace železných kovů významně přispívá ke snižování energetické náročnosti výrobních procesů, zejména ve srovnání s primární těžbou surovin. KO, který již nelze recyklovat, je určen k energetickému využití v souladu s hierarchií nakládání s odpady [9].

Postupné omezování skládkování odpadu

Strategie počítá s výrazným omezením skládkování železných kovů do roku 2030, a to podporou jejich recyklace [9]. Skládkování KO by mělo být minimalizováno na nezbytné minimum.

Opatření k dosažení cílů:

Technologické inovace

Klíčovou součástí plánu je rozvoj a zavádění moderních technologií pro třídění a recyklaci železných kovů [9]. Tyto technologie zahrnují pokročilé automatizované a robotizované systémy, které zvyšují efektivitu a kvalitu zpracování.

Legislativní podpora

Strategie zahrnuje legislativní změny zaměřené na zjednodušení a podporu procesu přechodu „z odpadu na neodpad“ [9]. Tato opatření umožní snadnější zapojení recyklovaných kovů do výrobních řetězců a posílí jejich tržní hodnotu.

Rozvoj infrastruktury

Plán zahrnuje rozšíření kapacit recyklačních zařízení a modernizaci infrastruktury pro třídění a zpracování KO, čímž se podpoří efektivní využití druhotných surovin [9].

2.1.3 Cirkulární ekonomika

Cirkulární ekonomika je ekonomický model, který se snaží minimalizovat vznik odpadu a maximalizovat efektivní využití zdrojů. Na rozdíl od tradičního lineárního modelu „vezmi, vyrob, zahod“ je principem cirkulární ekonomiky uzavřený cyklus, v němž materiály a produkty po skončení své životnosti nacházejí nové uplatnění [10]. Rozdíl mezi cirkulární a lineární ekonomikou je zobrazen na obr. 1.

Hlavní principy cirkulární ekonomiky zahrnují:

1. **Design pro obnovu a recyklaci:** Produkty by měly být navrhovány tak, aby byly snadno rozložitelné na jednotlivé komponenty a materiály, které lze znovu použít nebo recyklovat [11].
2. **Udržitelné využívání zdrojů:** Příklon k obnovitelným zdrojům energie a minimalizace využívání neobnovitelných surovin [11].
3. **Prodlužování životnosti produktů:** Opravy, renovace a opětovné využití produktů pro maximální využití jejich hodnoty [11].
4. **Biologické a technické cykly:** Biologické materiály by měly být bezpečně vráceny do přírody, zatímco technické materiály by měly být udržovány v uzavřeném cyklu pro opětovné využití [11].

V praxi cirkulární ekonomika zahrnuje různé strategie, např. recyklaci odpadu, využívání vedlejších produktů průmyslové výroby a inovace v designu produktů. Pro průmyslové odvětví, jako je hutnictví, představuje cirkulární ekonomika klíčovou cestu k udržitelné výrobě. Ocelové třísky a okraje, vznikající jako vedlejší produkt při zpracování oceli, jsou příkladem odpadu, který lze efektivně recyklovat a vrátit do výrobního cyklu. Tento proces nejen šetří přírodní zdroje, ale také snižuje energetickou náročnost a emise spojené s prvotní výrobou oceli [12].

Důležitou součástí cirkulární ekonomiky je také filozofie Cradle to Cradle (často označované jako C2C), která zdůrazňuje navrhování produktů tak, aby se po skončení jejich životnosti staly vstupem pro nové cykly, ať už biologické, nebo technické [12]. Podle druhé termodynamické věty však nelze ani v cirkulární ekonomice dosáhnout dokonalého využití materiálů a energie

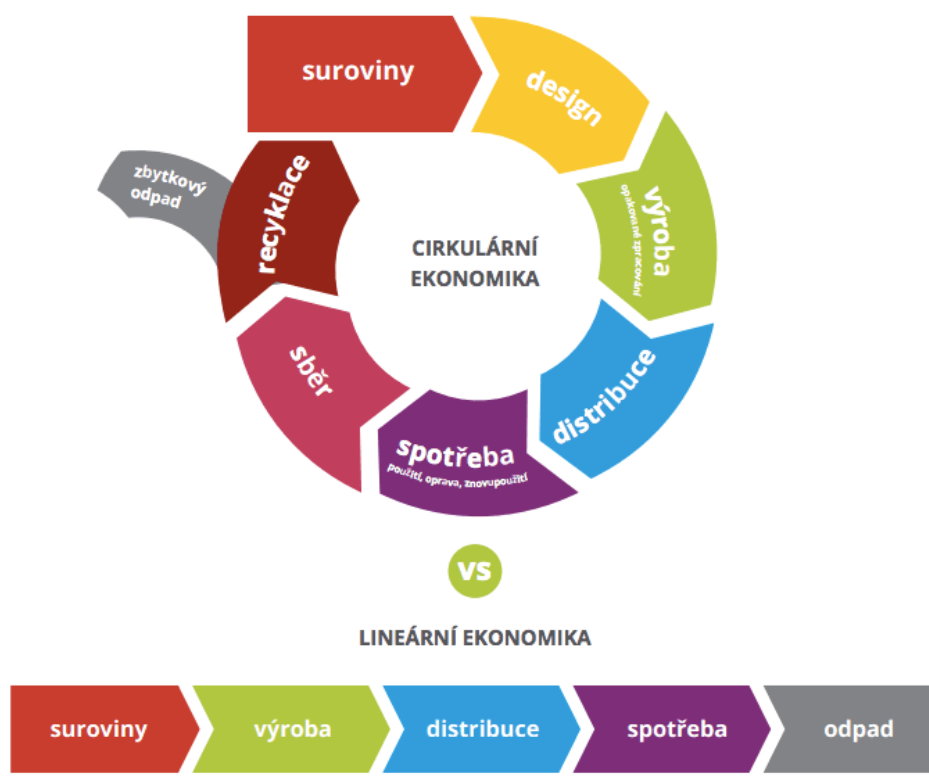
bez vzniku vedlejších odpadů, protože každý samovolný proces vede ke zvýšení entropie [13]. Tento přístup může být inspirací pro moderní průmysl při hledání udržitelných a ekonomicky výhodných řešení.

Evropský akční plán pro oběhové hospodářství (CEAP)

Evropský akční plán pro oběhové hospodářství (Circular Economy Action Plan, CEAP)¹ byl představen Evropskou komisí v březnu 2020 jako součást Zelené dohody pro Evropu. Jeho cílem je snížit environmentální dopady lineárního hospodářství a podpořit udržitelný model využívání zdrojů.

Plán se zaměřuje na snižování odpadu, udržitelný design výrobků a klíčová odvětví s vysokou spotřebou zdrojů, jako jsou elektronika, stavebnictví a plasty. Cílem je podpořit delší životnost výrobků a jejich recyklovatelnost. CEAP je součástí „Balíčku oběhového hospodářství“ (Circular Economy Package, CEP¹), zahrnujícího právní předpisy pro odpadové hospodářství v EU.

Strategický cíl CEAP je dosáhnout uhlíkové neutrality EU do roku 2050 a přeměnit ji na plně oběhovou ekonomiku. Plán také podporuje konkurenceschopnost a tvorbu nových pracovních míst, přičemž zahrnuje opatření důležitá pro hutnictví a recyklaci KO [1].



Obr. 1 Rozdíl mezi cirkulární a lineární ekonomikou [10]

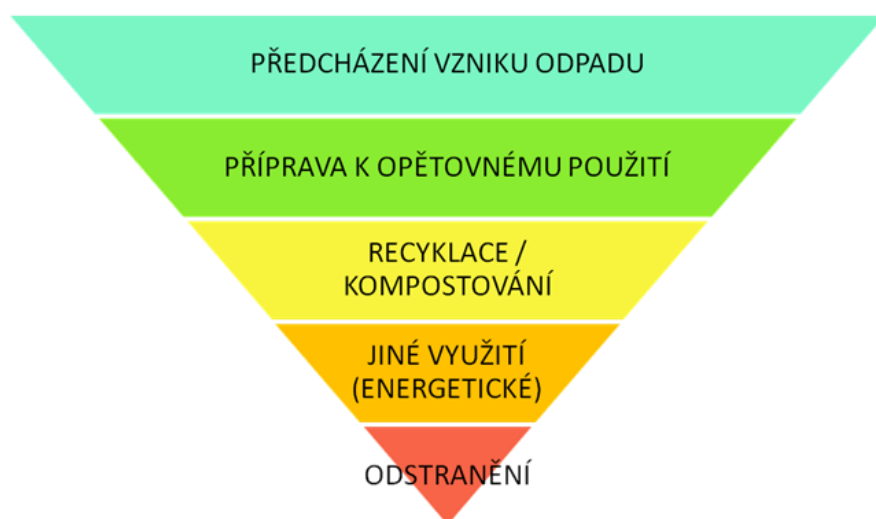
¹ Evropská komise, *Title of the publication* [online]. Dostupné z: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/45cc30f6-cd57-11ea-adf7-01aa75ed71a1/language-en> (cit. 21. února 2025).

Hierarchie nakládání s odpady

Hierarchie nakládání s odpady představuje prioritní pořadí postupů při nakládání s odpady s cílem minimalizovat jejich negativní dopad na životní prostředí a předkládá cíle v oblasti oběhového hospodářství. Tento princip je zakotven v legislativě EU (směrnice o odpadech 2008/98/ES) [7] a také v právních předpisech ČR, konkrétně v Zákoně č. 541/2020 Sb. o odpadech, kde je v § 3 uvedeno: „Odpadové hospodářství je založeno na hierarchii odpadového hospodářství, podle níž je prioritou předcházení vzniku odpadu, a nelze-li vzniku odpadu předejít, pak v následujícím pořadí jeho příprava k opětovnému použití, recyklace, jiné využití, včetně energetického využití, a není-li možné ani to, jeho odstranění.“ [4].

Hierarchie zahrnuje následující postupy seřazené podle jejich preferenci:

1. **Předcházení vzniku odpadu:** Nejvyšší prioritou je snížení množství odpadu, např. optimalizací výroby, zvyšováním životnosti výrobků a efektivním využíváním zdrojů [14].
2. **Opětovné použití:** Produkty a materiály, které již splnily svou původní funkci, jsou znovu použity bez významných úprav nebo zpracování [14].
3. **Recyklace:** Materiály jsou zpracovány a přeměněny na nové výrobky, což snižuje potřebu těžby a výroby nových surovin [15].
4. **Energetické využití:** Odpady, které již nelze recyklovat, jsou využity k získání energie, např. spalováním v kombinovaných zařízeních na výrobu tepla a elektřiny [4].
5. **Odstraňování (skládání):** Nejnižší úroveň hierarchie zahrnuje odstranění odpadu, např. jeho ukládání na skládky. Tento postup je považován za nejméně žádoucí kvůli jeho negativním environmentálním dopadům [14], odstraňovány mají být pouze odpady nevhodné pro hierarchicky výše řazené postupy.



Obr. 2 Hierarchie nakládání s odpady [15]

2.1.4 KO v rámci odpadového hospodářství

Odpad je movitá věc, které se člověk zbavuje nebo má úmysl či povinnost se jí zbavit. Z právního hlediska je pojem odpad definován zákonem č. 541/2020 Sb., o odpadech, a rámcovou směrnicí o odpadech Waste Framework Directive,² které společně stanovují základní definice a povinnosti v oblasti nakládání s odpady v ČR [4].

KO představuje významnou část celkového průmyslového a komunálního odpadu. Jedná se o materiály obsahující železné a neželezné kovy vznikající jako vedlejší produkty procesu. Můžeme je rozdělit podle původu na [16]:

Vratný (výrobní) odpad

Tento typ odpadu vzniká v rámci hutního výrobního cyklu [16], který zahrnuje provozy, jako jsou ocelárny, kovohutě, slévárny a kovárny. Do této kategorie lze zahrnout např. strusky, ale také nekontaminované okuje. Tyto odpady se vyznačují obvykle přesně definovaným chemickým složením a z metalurgického hlediska mohou představovat výhodnější alternativu k primárním surovinám.

Zpracovatelský odpad

Tento typ odpadu vzniká během výroby strojů, zařízení, nástrojů a dalších kovových výrobků [16]. A to při technologických procesech jako jsou kování, lisování, obrábění, tepelné zpracování nebo jiné způsoby zpracování hutnických polotovarů. Hlavní složku tohoto odpadu tvoří reziduální materiály, jako jsou odřezky, třísky, okuje, piliny či zmetky, které jsou kontaminovány příměsí z technologických procesů, např. mazivy, chladicími kapalinami či povrchovými úpravami. Na rozdíl od vratného odpadu nelze zpracovatelský odpad bez předchozí úpravy zařadit zpět do výrobního procesu. Tento typ odpadu vyžaduje zpracování pomocí vhodných technologií, které jsou detailně popsány v kapitole 0. Dominantní podíl tohoto typu odpadu pochází ze strojírenské výroby.

Amortizační odpad

Tato kategorie odpadů zahrnuje vyřazené stroje a jejich součásti, demontovaná průmyslová zařízení, likvidované ocelové konstrukce, autovraky, elektronická a elektrotechnická zařízení [16]. Dále KO pocházející z průmyslových závodů a domácností. Amortizační odpad je typicky znečištěn směsí kontaminantů, jako jsou zbytky olejů, maziv, nátěrů a plastových částic, což výrazně zvyšuje nároky na jeho následné čištění a recyklaci.

KO je cenným zdrojem druhotných surovin, protože kovy lze při optimalizovaném třídění recyklovat téměř neomezeně bez ztráty jejich fyzikálních a chemických vlastností [8]. Správné nakládání s KO nejen šetří primární zdroje surovin, ale také snižuje ekologickou a energetickou zátěž spojenou s jejich těžbou a výrobou [17].

² Směrnice 2008/98/ES Evropského parlamentu a Rady ze dne 19. listopadu 2008 o odpadech [online]. Úřední věstník Evropské unie, L 312, 22. listopadu 2008, s. 3–30. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj/eng> (cit. 21. února 2025).

Zdrojem těchto odpadů je výkup od obyvatelstva, dále separovaný sběr, velkoobjemový komunální odpad, průmyslové odpady, elektrotechnický odpad, odpady z likvidace autovraků, separovaný sběr kovových obalů (např. nápojové plechovky) a spalovny komunálních odpadů [16].

2.1.5 Vybrané statistické údaje související s produkcí KO

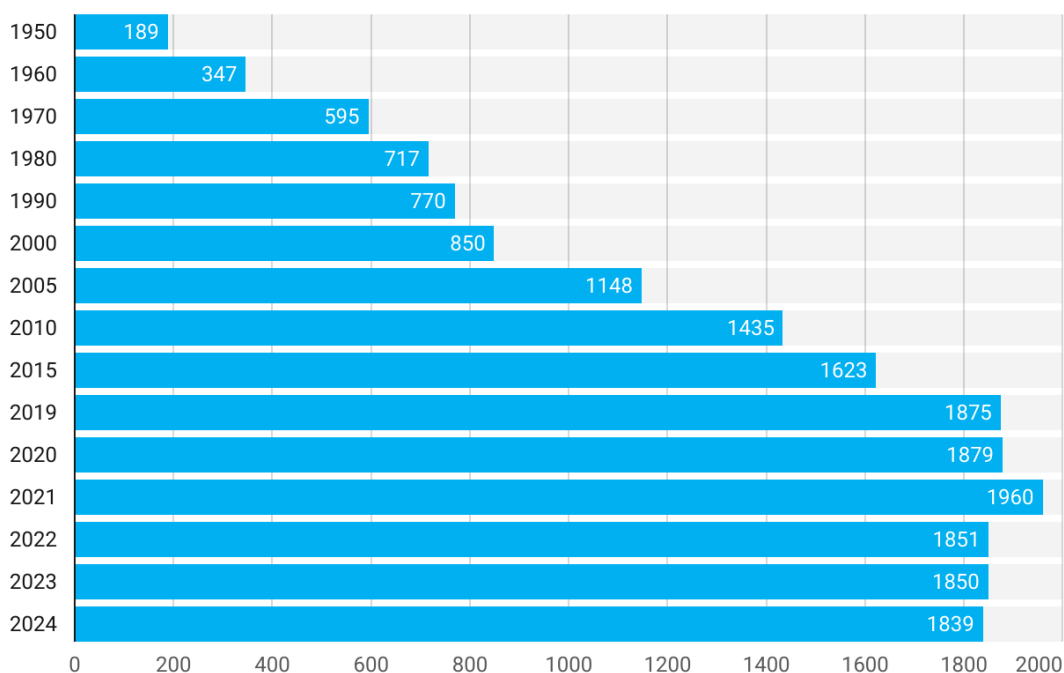
Celosvětová roční spotřeba kovů ve výrobě se pohybuje v rozmezí přibližně 2,2 až 2,5 mld. tun. Kovový šrot přitom tvoří zhruba 1/3 tohoto množství, což odpovídá přibližně 700 mil. tun [18]. Celosvětově nejrecyklovanějším kovem je ocel, která tvoří 90 % celkového množství recyklovaných kovů, což činí 630 mil. tun ocelového šrotu ročně (za rok 2019) [17]. Celosvětová míra recyklace oceli dosahuje 86 %, kdy průměr EU se pohybuje o několik jednotek procent výše [19]. Celosvětový trend spotřeby surové oceli je znázorněn na obr. 3

Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..

V roce 2021 dosáhla spotřeba ocelového šrotu 87,85 mil. tun v EU, což tvořilo 57,6 % celkové produkce surové oceli v EU. S postupným přechodem na „zelenější“ technologie (např. elektrická oblouková pec, detailně popsáno v kapitole 2.4.4) využívající vyšší, až 100% vsázku ocelového šrotu, se předpokládá zvýšení míry recyklované oceli při výrobě. EU je světovým lídrem v recyklaci oceli a nabídka ocelového šrotu v EU strukturálně převyšuje poptávku již dvě desetiletí. Přibližně 80 % recyklovaného ocelového šrotu se využije přímo v EU a 20 % se exportuje (za rok 2021) [20]. Při přechodu na nové technologie se očekává nedostatek ocelového šrotu a redukci exportu šrotu z EU.

V ČR se spotřebuje zhruba 2,3 milionu tun ocelového šrotu, což činí zhruba 40 % vsázky pro výrobu oceli. Mimo ocelářské podniky vzniká více než 3 mil. tun ocelového šrotu, z nichž se přibližně 2/3 vyváží do jiných evropských zemí. V českém průmyslu je vysoký potenciál pro zvýšení množství podílu ocelového šrotu ve vsázce [19].

Výroba surové oceli ve světě v letech 1950 - 2024



Obr. 3 Světová výroba surové oceli v letech 1950 až 2024 [21]

2.2 KO podle Katalogu odpadů

Každý druh odpadu má v souladu se zákonem č. 541/2020 Sb., o odpadech [4] přiřazen specifický kód podle tzv. Katalogu odpadů, který slouží k jeho jednoznačné identifikaci [22]. Zařazení odpadů do příslušné kategorie probíhá na základě šestimístního kódu, který je stanoven ve Vyhlášce č. 8/2021 Sb., o Katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů [23]. Katalogové číslo odpadu se skládá ze tří částí, přičemž první dvojice číslic označuje skupinu, druhá dvojice čísel podskupinu a třetí dvojice čísel konkrétní typ odpadu. Odpady označené hvězdičkou (*) jsou klasifikovány jako nebezpečné a vztahují se na ně přísnější požadavky [22]. Od roku 2024 je navíc možné používat i rozšířený formát s osmiciferními kódy. Celková struktura a příklady značení jsou přehledně znázorněny na obr. 4. Obrázek zároveň ilustruje konkrétní druhy KO vznikající ve sledovaném výrobním podniku, na který se tato práce zaměřuje [23]. Jde především o ocelové třísky, okuje, ale také řezné kapaliny, které se běžně vyskytují při recyklaci třísek z obrábění [24]. KO se mohou vyskytovat i pod jinými katalogovými čísly v rámci odlišných katalogových skupin a podskupin.

12				ODPADY Z TVÁŘENÍ A Z FYZIKÁLNÍ A MECHANICKÉ POVRCHOVÉ ÚPRAVY KOVŮ A PLASTŮ
12	01			Odpady z tváření a z fyzikální a mechanické povrchové úpravy kovů a plastů
12	01	01		Piliny a třísky železných kovů 
12	01	02		Úlet železných kovů 
12	01	03		Piliny a třísky neželezných kovů 
12	01	03	01	Měď, bronz a mosaz 
12	01	03	02	Hliník 
12	01	03	03	Olovo 
12	01	06*		Odpadní minerální řezné oleje obsahující halogeny (kromě emulzí a roztoků) 
12	01	07*		Odpadní minerální řezné oleje neobsahující halogeny (kromě emulzí a roztoků) 
12	01	08*		Odpadní řezné emulze a roztoky obsahující halogeny 
12	01	09*		Odpadní řezné emulze a roztoky neobsahující halogeny 
12	01	10*		Syntetické řezné oleje 
12	01	12*		Upotřebené vosky a tuky 

Obr. 4 Ukázka části KO v Katalogu odpadů [24]

2.2.1 Ocelové třísky

Ocelové třísky vznikají při mechanickém obrábění, jako je soustružení, frézování nebo vrtání. Patří mezi odpady s katalogovým číslem:

12 01 01 – Kovové třísky

Tento odpad zahrnuje ocelové třísky a drobné části kovu, které lze efektivně recyklovat. Před zpracováním musí být zbaveny kontaminantů, jako jsou oleje nebo řezné emulze, které by mohly negativně ovlivnit následné zpracování [17]. Ocelové třísky mají vysoký potenciál opětovného využití, zejména v hutních procesech [23]. Tohoto typu odpadu bylo na území ČR za rok 2022 vyprodukováno zhruba 461 477 tun [25].

2.2.2 Okuje

Okuje jsou pevné částice oxidu železa, které se vytvářejí na povrchu oceli nebo litiny během tepelných procesů za přístupu vzduchu (primárně kyslíku). Vzniká při kování, tepelném zpracování, válcování za tepla nebo také svařování. Jsou klasifikovány pod 2 katalogovými čísly v závislosti na zpracování:

10 02 10 – Okuje z válcování

12 01 17 – Odpadní materiál z otryskávání neuvedený pod číslem 12 01 16

Tyto odpady se často recyklují ve stavebnictví nebo hutních provozech [26], přičemž obsahují významný podíl oxidu železa. Okuje však mohou obsahovat nečistoty, které vyžadují předúpravu před jejich dalším využitím [23]. Produkce těchto odpadů od roku 2013 do 2022 v ČR je obsahem tab. 1 níže.

Tab. 1 Produkce okují v ČR v letech 2013-2022 [25]

Rok	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Produkce odpadu 100210 [t]	57 020	59 277	61 197	62 876	64 371	65 724	66 961	68 130	69 164	70 157
Produkce odpadu 120117 [t]	10 510	10 786	11 012	11 202	11 368	11 514	11 644	11 762	11 870	11 969

2.2.3 Řezné kapaliny

Řezné kapaliny jsou používány při obrábění, řezání kovů, chlazení a mazání nástrojů. Podle Katalogu odpadů je rozdělujeme do šesti skupin, viz obr. 4, ale v rámci podniku, na níž se tato práce vztahuje, se používají pouze 2:

12 01 07* - Odpadní minerální řezné oleje neobsahující halogeny (kromě emulzí a roztoků)

12 01 09* - Odpadní řezné emulze a roztoky neobsahující halogeny

Jedná se o nebezpečné odpady, jejichž likvidace se řídí Zákonem č. 541/2020 Sb., o odpadech a jejich zařazením podle Katalogu odpadů. Vzhledem k jejich chemickému složení je nelze vypouštět do kanalizace. U emulzí je nutné nejprve oddělit olejovou a vodní složku pomocí vhodné metody jako je třeba chemické srážení. Oddělený olej bývá následně spalován ve speciálních pecích. V praxi je běžné předání těchto kapalin specializované firmě, která zajistí jejich ekologickou likvidaci či energetické využití [27]. Produkce těchto odpadů za období 2013 až 2022 jsou znázorněny v tab. 2 níže.

Tab. 2 Produkce řezných kapalin v ČR v letech 2013-2022

Rok	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Produkce odpadu 120107* [t]	631	631	631	631	631	631	631	631	631	631
Produkce odpadu 120109* [t]	32 420	33 077	33 613	34 067	34 460	34 806	35 117	35 397	35 653	35 889

2.3 Současný stav nakládání s KO

Nakládání s KO se v současnosti řídí legislativními předpisy, které kladou důraz na recyklaci a opětovné využití kovových materiálů. KO, jako jsou ocelové třísky, okuje, části spotřebičů nebo kovové obaly tvoří významnou část celkového odpadu a představují cenný zdroj druhotných surovin [4].

KO mohou být recyklovány v hutních závodech, kde slouží jako surovina pro další zpracování. Moderní trendy směřují k zavádění pokročilých technologií, které zvyšují efektivitu recyklace. Současné úsilí se zaměřuje na dosažení vyšší míry recyklace v souladu s principy cirkulární ekonomiky. Schéma znázorňující systémové fáze nakládání s KO v souladu s principy cirkulární ekonomiky je uvedeno na obr. 5.



Obr. 5 Princip nakládání s KO v souladu s cirkulární ekonomikou

V rámci odpadového hospodářství se odpad obvykle rozděluje na tři základní skupiny, vratný odpad, který lze bez větších úprav znovu využít v původním procesu, zpracovatelský odpad, jenž je určen k dalšímu zpracování nebo recyklaci, a amortizační odpad, který již nelze využít a je určen k trvalému odstranění. Podrobnější charakteristika těchto kategorií je uvedena v kapitole 2.1.4.

Ad 1. Vznik odpadu

Vznik KO představuje první fázi celého procesu nakládání s odpadem, na kterou navazuje jeho sběr a další zpracování.

Ad 2. Sběr odpadu

V rámci systému sběru a předávání KO existuje několik typických cest, kterými odpad putuje ke zpracování. Jednou z klíčových složek tohoto systému jsou výkupny kovů, kam jednotlivci i firmy odevzdávají KO. Ten je na místě zvážen, ohodnocen a následně vykoupen. Výkupny tak sehrávají důležitou roli nejen při samotném shromažďování, ale často také při

základní přípravě materiálu pro další zpracování [17]. Další možnost představují tříděné kontejnery a sběrné dvory, které slouží zejména pro komunální KO pocházející od jednotlivců nebo menších subjektů. Odpad je zde tříděn podle druhu materiálu [17]. V případě větších průmyslových podniků probíhá předávání KO zpravidla na základě smluvního vztahu přímo se zpracovateli, což zajišťuje efektivní tok materiálu z výroby do recyklačního procesu [23].

Ad 3. Třídění odpadu

Třídění KO může probíhat různými metodami v závislosti na technologických možnostech daného provozu a charakteru odpadu. Jednou z možností je ruční třídění, při němž je odpad manuálně rozdělen na železné, neželezné složky a příměsi či kontaminanty, které by mohly negativně ovlivnit další zpracování. V současnosti jsou však čím dál častěji nasazovány poloautomatické nebo automatické třídící linky, které využívají moderní senzory a systémy pro efektivní a rychlou separaci jednotlivých druhů kovů. Oba způsoby třídění jsou detailně rozebrány v kapitole 2.4.1.

Ad 4. Úprava odpadu

Úprava odpadu představuje soubor technických procesů, jejichž cílem je změnit fyzikální vlastnosti odpadních materiálů tak, aby byly vhodné pro další zpracování, recyklaci nebo energetické využití. Mezi běžně používané technologie patří drcení, které slouží ke zmenšení rozměrů materiálu. Pro zlepšení manipulace a zhutnění objemově náročných odpadů se využívá briketování, paktování nebo případně peletování, jež jsou detailně rozebrány v kapitole 2.4.2 a kapitole 2.4.3. Tyto úpravy zvyšují efektivitu následného třídění a přepravy a jsou klíčové pro optimalizaci celého recyklačního procesu [28].

Ad 5. Recyklace odpadu

Recyklace kovů je důležitým procesem pro úsporu primárních surovin a energie. Kovy se po vytrídění zpracovávají v hutních provozech, kde dochází k jejich tavení a úpravě pro opětovné použití. Tento způsob recyklace výrazně přispívá k principům cirkulární ekonomiky a snižování environmentální zátěže [29].

Ad 6. Využití recyklovaných materiálů

Výsledný kov je zpracován na nové výrobky, jako jsou ocelové tyče, hliníkové plechy nebo měděné vodiče [8].

Ad 7. Likvidace nerecyklovatelných zbytků

Zbytky KO, které již nelze dále materiálově využít, např. z důvodu chemického složení některých slitin nebo kontaminace nebezpečnými látkami, jsou bezpečně odstraněny v souladu s platnou legislativou. Nejčastěji dochází k jejich uložení na specializované skládky [17].

2.4 Technologie zpracování KO

Technologie zpracování KO představují důležitý pilíř recyklačního řetězce, který umožňuje navracet kovy zpět do oběhu a současně minimalizovat environmentální zátěž spojenou s primární těžbou surovin. V rámci této problematiky je nutné zohledňovat technické, ekonomické i ekologické aspekty, aby bylo dosaženo maximální efektivity a udržitelnosti procesu. V této kapitole budou proto představeny postupy třídění, dělení a zhutňování KO, jež zajišťují optimalizaci objemu a kvality vstupního materiálu. Následně se kapitola zaměří na pokročilé technologie zpracování, jejichž využití přispívá ke zvýšení míry recyklace a k lepšímu využití druhotných zdrojů v oběhovém hospodářství.

2.4.1 Způsoby třídění a separace KO

Třídění KO je obvykle prvním krokem v recyklačním procesu. Tento proces obvykle zahrnuje separaci kovů na základě jejich fyzikálních a chemických vlastností, jako je magnetická přitažlivost, hustota nebo složení. Často se používají technologie typu magnetické separátory pro feromagnetické kovy, vířivé proudy pro neželezné kovy nebo manuální třídění. Výsledkem je materiál připravený pro další zpracování, jako je drcení, tavení [30]. Pro třídění KO se používají následující metody:

Ruční separace

Tento proces zahrnuje několik základních činností, které mají za cíl maximalizovat hodnotu recyklovatelného materiálu a zajistit jeho další zpracování. KO je nejprve sbírán z různých zdrojů, jako jsou staveniště, skládky, průmyslové provozy či domácnosti. Ruční třídění slouží především jako předúprava pro následující metody třídění, včetně automatizovaných systémů [31].

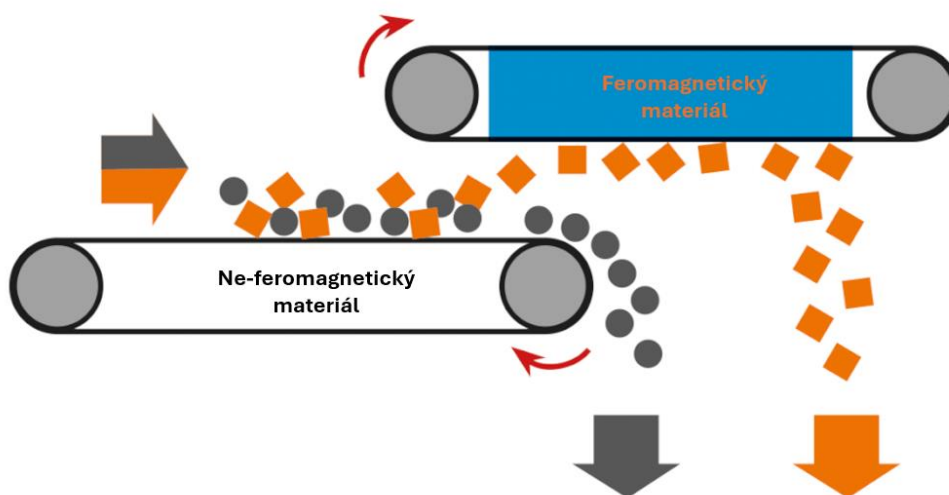
Pro efektivní třídění u původců KO se používají označené nádoby, které umožňují oddělit různé druhy kovů nebo nečistot a zamezit jejich smíchání. Důležité je také odstraňování nečistot a případných kontaminantů, protože čistý materiál má vyšší hodnotu a lépe se recykluje. Zkušený personál často rozpoznává jednotlivé druhy kovů podle jejich vzhledu a vlastností, např. měď (Cu) podle červené barvy, hliník (Al) díky jeho nízké hmotnosti apod. [32].

Výhodou ručního třídění je jednoduchost, nízké investiční náklady a možnost přizpůsobení různým typům odpadu. Metoda je vhodná převážně pro kusový odpad a není efektivní při zpracování jemných nebo nebezpečných materiálů [33]. V některých případech mohou být vyšší i provozní náklady v důsledku nároků na pracovní sílu.

Magnetická separace

Magnetická separace se často využívá při třídění železného šrotu. Hlavním principem je přitažlivost feromagnetických (železných) materiálů k magnetu, což umožňuje jejich oddělení od ostatních složek odpadu. V praxi probíhá separace na pásovéch dopravnících, nad nimiž jsou umístěny stacionární nebo rotační magnety, buď ve formě permanentních magnetů, nebo elektromagnetů, které působí na dopravovaný materiál a oddělují z něj feromagnetické složky [34]. Mezi základní využívané typy zařízení patří:

- **Magnetické pásy:** Instalují se nad dopravní pás, železné částice jsou přitaženy k magnetickému pásu a vyvedeny mimo tok materiálu.
- **Magnetické bubny:** Rotující buben se stacionárním magnetem uvnitř. Feromagnetické částice se udrží na povrchu bubnu, dokud neprojdou mimo magnetické pole.
- **Magnetické filtry a rošty:** Ideální pro jemné částice (např. ocelové třísky). Kov se zachytí na magnetických tyčích, které je však nutné pravidelně čistit.



Obr. 6 Zjednodušený princip fungování magnetické separace metodou magnetických pásů [34]

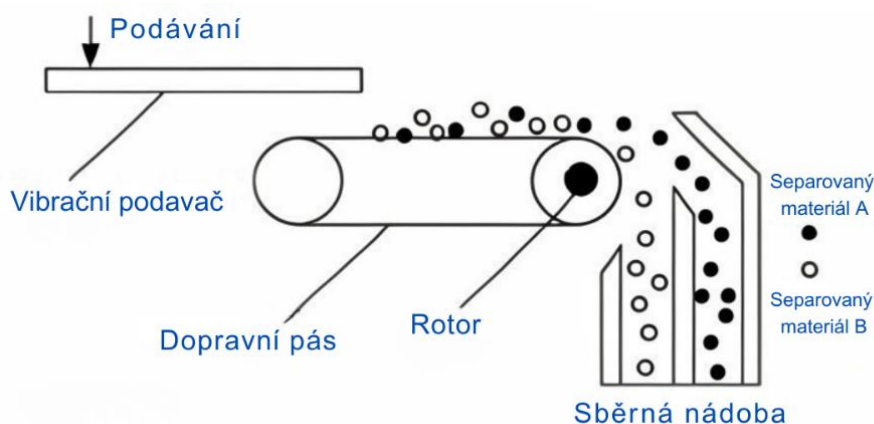
Mezi hlavní výhody magnetické separace patří relativně nízké provozní náklady, jednoduchost obsluhy (zejména u permanentních magnetů) a vysoká účinnost při oddělování železných kovů. Tento způsob separace je také šetrný k životnímu prostředí, jelikož se obejde bez chemických činidel. Na druhou stranu se magnetická separace omezuje výhradně na feromagnetické materiály, a proto je při zpracování neželezných kovů nezbytné využít doplňující techniky (např. separace vířivými proudy). Dalším úskalím může být zanášení magnetických ploch jemnými nečistotami (např. prachem či mastnotou), které postupně snižují účinnost separace. Tudíž vyžadují pravidelnou údržbu a čištění zařízení [35].

Separace vířivými proudy

Princip činnosti separátoru s vířivými proudy je založen na magnetické indukci v elektricky vodivých, typicky neželezných kovech. Uvnitř zařízení se vysokou rychlostí otáčí speciální rotor osazený soustavou permanentních magnetů. Při průchodu materiálu kolem rotoru dochází v neželezných kovech (např. Al nebo Cu) k indukci vířivých proudů, které vytvářejí vlastní magnetické pole. Interakcí tohoto pole s polem permanentních magnetů jsou kovové částice odpuzovány směrem od rotoru, zatímco nekovové složky (např. plasty, sklo) nejsou tímto polem ovlivněny a jsou nasměrovány do jiného zásobníku [35]. Schéma principu fungování je uvedeno na obr. 7.

V praxi se tyto separátory obvykle instalují za magnetický separátor železných kovů [35], což umožňuje efektivní třídění směsí obsahujících jak železné, tak neželezné kovy a následné zvýšení čistoty výstupního materiálu. Tato technologie je proto široce využívána v recyklačních linkách, kde se klade důraz na maximální obnovu neželezných kovů [36].

Mezi hlavní výhody patří efektivní oddělení neželezných kovů při vysokém průtoku materiálu bez použití chemikálií s minimálním fyzickým kontaktem. To značně snižuje opotřebení zařízení a riziko kontaminace. Nevýhodami jsou vyšší pořizovací náklady, omezená účinnost u kovů s nízkou vodivostí a vyšší energetická náročnost [35].



Obr. 7 Zjednodušený princip fungování separace vířivými proudy [36]

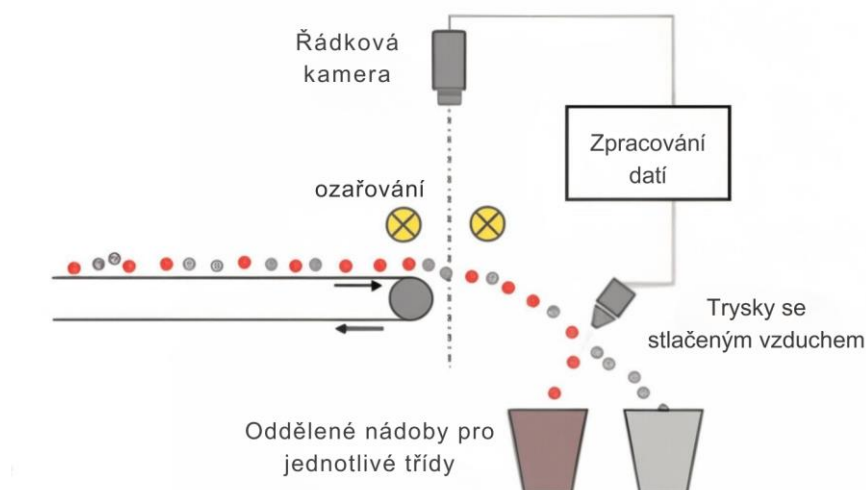
Optické a spektrální třídění (senzorové separátory)

Optická separace je moderní technologie využívána pro třídění materiálů na základě jejich optických vlastností, jako je barva, lesk nebo chemické složení. V případě KO se optické separátory spoléhají na vysokorychlostní kamery, spektrometry nebo laserové senzory, které analyzují materiál v reálném čase. Identifikované kovové částice jsou následně separovány pomocí stlačeného vzduchu, mechanických trysek nebo jiných technik [37].

Proces obvykle začíná rozptýlením materiálu na dopravním pásu, kde senzory detekují a vyhodnocují jednotlivé kusy odpadu. Následně dochází k jejich selektivnímu odstranění, což umožňuje přesné oddělení nežádoucích složek [38]. Optická separace je vhodná zejména pro třídění slitin Al, Cu a dalších barevných kovů [39].

Tato technologie se však neomezuje pouze na KO. Optická separace se běžně využívá také v potravinářském průmyslu k odstranění nečistot, v recyklaci plastů k rozlišení polymerů podle typu nebo při třídění skleněných střepů dle barvy. Díky vysoké přesnosti a rychlosti zpracování přispívá optická separace ke zlepšení kvality výstupního materiálu a zvyšuje efektivitu recyklačních procesů [37].

Mezi výhody této metody patří vysoká selektivita, možnost automatizace a schopnost separovat i malé částice s vysokou přesností. Nevýhodou jsou vyšší investiční náklady na kamerové a senzorové systémy a nutnost pravidelné kalibrace a údržby zařízení [39]. Princip činnosti zařízení je zobrazen na obr. 8.



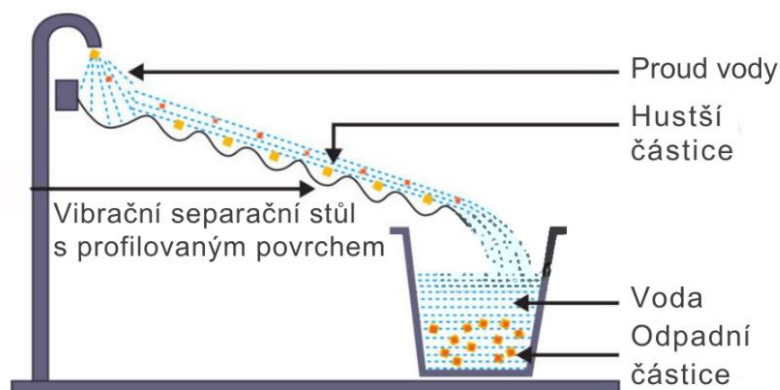
Obr. 8 Schematické znázornění principu činnosti senzorového separátoru [38]

Gravitační separace

Gravitační separace je metoda třídění materiálů na základě rozdílů v jejich hustotě. Tento proces se využívá v různých průmyslových odvětvích, včetně recyklace KO, těžby nerostných surovin. Často se uplatňuje při recyklaci elektrických kabelů, kdy efektivně odděluje kovové vodiče od plastových izolací [40]. Princip této separace spočívá v tom, že těžší částice se pohybují jinak než lehčí, což umožňuje jejich oddělení [41].

Mezi nejčastěji používaná zařízení pro gravitační separaci patří vibrační stoly, kde kombinace gravitace a mechanických vibrací umožňuje rozdělení materiálů podle jejich hustoty a zrnitosti. Často se při této metodě využívá také proud vody, který pomáhá efektivně odstraňovat lehčí materiál a zlepšuje tok materiálu po nakloněné ploše. Materiál se pohybuje po nakloněné vibrační ploše, přičemž těžší částice zůstávají v dolní části stolu a lehčí se posouvají směrem nahoru, čímž se dosahuje účinného oddělení. Zjednodušený princip fungování mokrého vibračního stolu je zobrazen na obr. 9. Tento princip je využíván především při recyklaci neželezných kovů (často mosaz, Cu, zlato), zpracování rud nebo separaci směsí obsahujících kovy a nekovové složky [42].

Gravitační separace se vyznačuje nízkými provozními náklady, ekologickou šetrností a schopností zpracovávat velké objemy materiálu. Na druhou stranu její účinnost závisí na dostatečném rozdílu hustot jednotlivých složek a často vyžaduje předběžnou úpravu materiálu, např. drcení nebo prosévání [41].



Obr. 9 Zjednodušený princip fungování mokrého vibračního stolu

Hydraulická a pneumatická separace

Pneumatické a hydraulické třídící systémy využívají proudění vzduchu či kapaliny k oddělení materiálu na základě tvaru a specifické hmotnosti jeho částic.

Nejrozšířenější jsou tzv. vírové třídící jednotky (cyklony), které patří mezi sekce pneumatické separace. Materiál se do nich dodává vstupním potrubím, které ústí do válcové části, jež se postupně zužuje do kuželového segmentu. Odtud odchází materiál prostřednictvím výpustného otvoru, zatímco přepadové potrubí odvádí médium zbavené pevných částic. Konstrukce cyklonu se může lišit, obvykle bývá vyrobena z různých kovových slitin, keramiky, skla či plastů, v závislosti na zpracovávané směsi. Oddělení probíhá působením odstředivé síly při spirálovém pohybu, kdy se těžší částice přitahují ke stěnám a následně shromažďují ve spodní části zařízení [43].

Dalším rozšířeným typem je tzv. šachtové vzduchové třídění. Odpad je zaváděn do horní části šachty, která má schodovitý profil, zatímco vzduch proudí od spodu. V místech, kde se vzduchové proudy zpomalují a mění směr, se lehčí frakce unášejí vzhůru, zatímco těžší částice klesají dolů a jsou následně odváděny [43]. V praxi se uplatňuje např. při zpracování okujů z tryskačů, kde slouží k oddělení těžších ocelových broků od jemného prachového podílu. Tento způsob separace je rychlý, bezkontaktní a vhodný pro suché, sypké materiály.

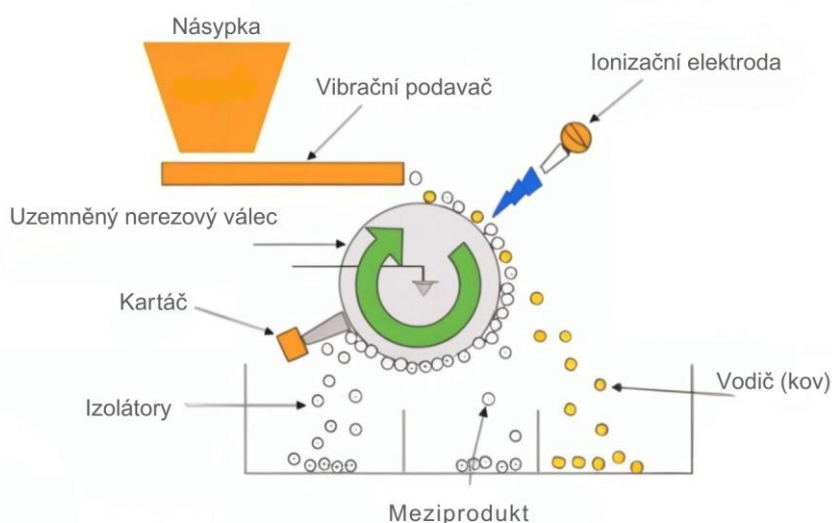
Elektrostatická separace

Elektrostatická separace je metoda třídění drobných částic materiálů na základě rozdílné elektrické vodivosti. Princip spočívá v nabití částic v silném elektrostatickém poli, což způsobí jejich odlišné chování v závislosti na vodivosti. Vodivé materiály jsou přitahovány k elektrodám, zatímco nevodivé zůstávají nepřitaženy (viz obr. 10) [44].

Tato metoda nachází uplatnění nejen při separaci kovů, ale i při třídění nekovových materiálů. Např. v zemědělství se elektrostatická separace využívá k čištění semen od nežádoucích příměsí, jako jsou plevná semena či anorganické nečistoty [45]. Díky své variabilitě a vysoké kvalitě separace je tato technologie energeticky nenáročná, s příkonem vysokonapětové části separátoru pohybujícím se pouze v jednotkách wattů [46].

Elektrostatická separace se vyznačuje vysokou kvalitou třídění a současně nízkou energetickou náročností. Příkon vysokonapětové části separátoru se zpravidla pohybuje pouze v jednotkách wattů. Díky schopnosti efektivně zpracovávat jemně rozdrcené materiály nachází

tato technologie uplatnění nejen při separaci KO, ale také při třídění specifických nekovových složek, což významně rozšiřuje její využitelnost napříč různými oblastmi recyklačního průmyslu [46]. Drcení materiálu je nezbytnou předúpravou před samotnou elektrostatickou separací.



Obr. 10 Zjednodušený princip fungování elektrostatické separace [44]

2.4.2 Metody dělení a úprava velikosti KO

Dělení KO obvykle slouží jako předúprava, která předchází metodám třídění a separace uvedeným v předchozí kapitole 2.4.1. Jedná se o soubor technik, jejichž cílem je rozdělit KO na menší, snadněji zpracovatelné části. Mezi základní metody patří drcení, stříhání a řezání plamenem, přičemž existují i další technologie, které se využívají v závislosti na specifikách materiálu.

Drcení

Drcení je proces, který rozmělnuje materiál do požadované zrnitosti. Cílem je rozdělit větší kusy odpadu na výrazně menší fragmenty (obvykle v řádu jednotek nebo desítek milimetrů), které lze snadněji zpracovat nebo recyklovat. Tento proces se často používá pro rozmělnování nejen KO, jako jsou autovraky, elektroodpad apod., ale také nekovového odpadu, jako jsou třeba kameniva, plasty nebo dřevo [43]. Pro zpracování KO se nejčastěji uplatňují tzv. válcové drtiče.

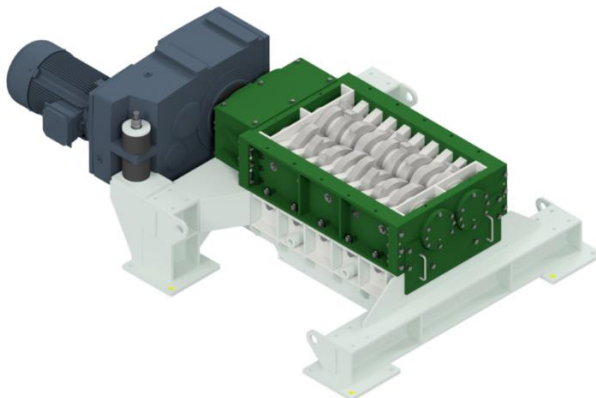
Válcový drtič

Velmi rozšířeným drtičem hlavně pro kovové materiály tohoto typu je dvouhřídelový drtič (viz obr. 11). Je vhodný také pro zpracování plastů, dřeva, kameniva, pneumatik, kabelů a dalších odpadů. Tyto stroje jsou navrženy pro drcení objemných nebo houževnatých materiálů, čímž snižují jejich objem a připravují je pro následné zpracování, čímž může být recyklace nebo energetické využití [47].

Dvouhřídelové drtiče pracují na principu protisměrné rotace dvou paralelních hřídelů, které jsou osazeny řezacími nebo drticími segmenty. Tyto segmenty zachytávají materiál a trhají jej

na menší kusy. Absence pevného síťového filtru eliminuje riziko blokování a tím zvyšuje plynulost provozu. Výstupní velikost drceného materiálu je určena šířkou a tvarem řezacích segmentů [48].

Dvouhřídelové drtiče jsou také často zařazovány jako první krok v technologických linkách, kde připravují materiál pro další procesy, jako je jemné mletí nebo separace [47].



Obr. 11 Dvouhřídelový drtič [49]

Dále se můžeme setkat s drtiči čelistovými, kladivovými, odrazovými a kuželovými, které se však častěji využívají ve stavebnictví pro zpracování kameniva, betonu, strusky nebo demoličního odpadu [43].

Stříhání

Stříhání je beztržkový způsob dělení KO, který umožňuje efektivní úpravu materiálu na požadované rozměry pro další zpracování. Při dělení materiálu nedochází k jeho nežádoucímu rozdrcení na příliš jemnou frakci či prach. Používá se především u hutních polotovarů, plechů, profilů a jiných kovových součástí [50].

Proces stříhání probíhá působením dvou ostří, která na materiál vyvíjejí tlak až do jeho přestřižení. Vzhledem k potřebě vysokých tlaků se často využívají hydraulické systémy, které zajišťují dostatečnou sílu a plynulost operace [51]. Tento způsob dělení je rychlý, přesný, produktivní a energeticky méně náročný než některé jiné technologie [52], jako je např. řezání plazmou nebo kyslíko-acetylenovým hořákem. Při procesu stříhání nedochází k úběru materiálu, čímž se eliminuje vznik technologických ztrát spojených s odpadním materiálem [50].



Obr. 12 Hydraulické nůžky na kovové materiály

Řezání plamenem a plazmatem

Tepelné metody dělení se využívají k rozřezávání objemných kusů KO. Plamenové řezání je založeno na spalování směsi palivových plynů. Obvykle se používá acetylen nebo propan v kombinaci s kyslíkem, je vhodné zejména pro dělení oceli [53]. Plazmové řezání využívá ionizovaný plyn, nejčastěji kyslík, vzduch nebo argon, k dosažení vysokých teplot. Umožňuje přesné dělení i neželezných kovů [54]. Kromě těchto metod se pro mechanické dělení využívají také řezné kotouče, které zajišťují studené řezání bez tepelného ovlivnění materiálu.

2.4.3 Technologie zhutňování KO

V oblasti zpracování KO jsou klíčovými metodami pro redukcí objemu briketování, paketování a peletizace. Tyto technologie umožňují zhutnění materiálu, což usnadňuje jeho manipulaci, přepravu, skladování a následné zpracování.

Briketování

Tato metoda spočívá v lisování jemných kovových i nekovových třísek nebo prachových částic do kompaktních briket pomocí vysokého tlaku, často až 400 MPa [55]. Tento proces může probíhat bez použití pojiv, kdy se částice přiblíží na minimální molekulovou vzdálenost a vytvoří pevnou strukturu [56]. Výsledné brikety mají vyšší objemovou hustotu, což snižuje nároky na skladování a přepravu. Zároveň přispívají k lepšímu tavení díky menšímu povrchu vystavenému působení kyslíku, čímž se snižuje propal během tavby. Další výhodou je možnost získání zbytkových řezných kapalin, které lze opětovně využít v technologických procesech [57]. Brikety mohou nabývat různých tvarů, jako je kvádrový, oválný nebo hexagonální, avšak nejrozšířenější je tvar válcový [58]. Přehled tvarů výsledných briket je zobrazen na obr. 13. Tento tvar je z konstrukčního hlediska výhodný, neboť umožňuje rovnoměrné rozložení tlaku při lisování. Tím přispívá k vyšší pevnosti výsledného produktu a efektivnějšímu využití energie [59]. Průměr válcových briket se zpravidla pohybuje v řádu desítek milimetrů.

Paketování

Paketování, známé také jako balíkování, zahrnuje stlačování větších kusů kovových i nekovových odpadů. Obvykle mají kvádrový nebo krychlový tvar o rozměrech zhruba 1 m (viz obr. 14). Paketování se používá pro slisování plechů, profilů nebo drátů do kompaktních balíků. Tento proces je vhodný pro objemnější materiály, které nelze snadno briketovat kvůli jejich velikosti či tvaru. Paketování usnadňuje přepravu, skladování a manipulaci kovového i nekovového odpadu. Výsledné balíky mají obvykle nižší hustotu než brikety [60].

Rozdíl mezi briketováním a paketováním spočívá především v typu zpracovávaného materiálu a výsledné formě produktu. Briketování je ideální pro jemné a sypké materiály, jako jsou třísky či prach, které jsou lisovány do malých, hustých briket [57]. Naopak paketování se používá pro větší a objemnější odpady, které jsou stlačovány do větších balíků s nižší hustotou [60]. Volba mezi těmito metodami závisí na charakteru odpadu a požadavcích na následné zpracování. Technologie peletizace, běžně využívaná zejména pro spalitelné materiály, jako jsou např. dřevní piliny, se u KO vyskytuje spíše výjimečně. V takovém případě slouží ke zhutnění velmi jemných kovových částic do drobných válečků o průměru jednotek milimetrů [61].



Obr. 13 Různé tvary a materiály briket [62]



Obr. 14 Kompaktní paketované balíky plechovek [63]

2.4.4 Pece pro tavbu ocelového šrotu

Vzhledem k praktické části této práce, která se zaměřuje na recyklaci ocelového šrotu, bude tato kapitola věnována technologiím tavby, které se uplatňují při sekundárním zpracování recyklovaného materiálu. Hlavním cílem je poskytnout podrobný přehled o typech pecí a jejich principu fungování v kontextu recyklace. Primární zpracování železa, zahrnující tradiční vysoké pece a moderní technologie, např. metodu přímé redukce železa vodíkem (často označované jako H-DRI) [64], bude v této práci zmíněno pouze okrajově, aby bylo možné vymezit hranice a kontext zaměření na sekundární výrobní proces. Bude zde samostatně popsána technologie kyslíkového konvertoru, která sice hraje klíčovou roli v primárním zpracování železa, ale aplikuje se zde nezanedbatelné množství recyklovaného ocelového šrotu. Následující text se proto soustředí výhradně na zařízení a postupy, které se uplatňují při tavení ocelového šrotu.

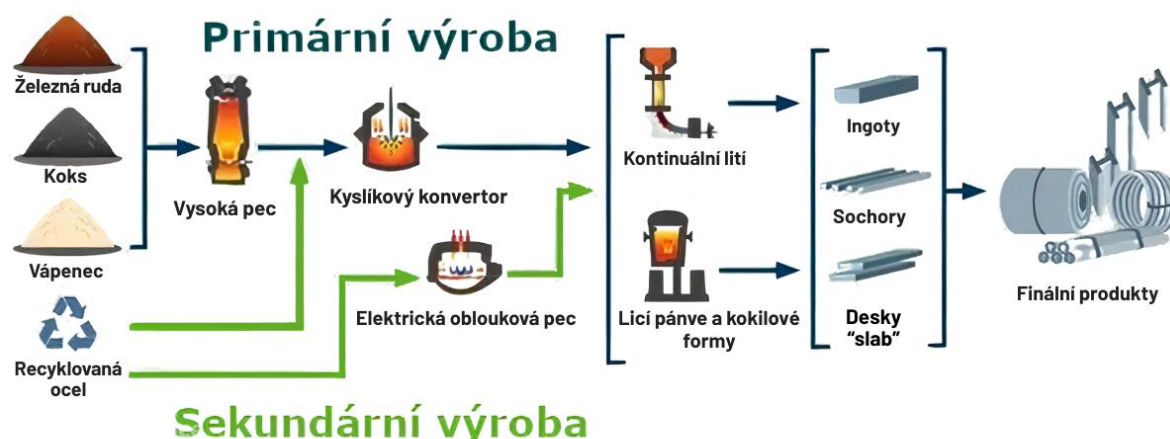
Rozdíl mezi primární a sekundární výrobou oceli

Ocel z pohledu výroby rozlišujeme na primární a sekundární, přičemž určujícím kritériem je typ výchozí suroviny a navazující technologický proces.

Primární výroba oceli využívá železnou rudu, která se redukuje ve vysoké peci na surové železo. To se následně upravuje v kyslíkovém konvertoru, kde dochází k odstranění nežádoucích prvků, zejména uhlíku (C), a k dosažení požadovaného chemického složení [65].

Sekundární výroba oceli využívá jako vstupní materiál ocelový šrot, který je taven v elektrických tavicích agregátech, zejména v elektrické obloukové peci nebo elektrické indukční peci. Tyto technologie umožňují dosažení požadovaných metalurgických parametrů prostřednictvím přesného řízení teplotního režimu a dávkování legur. Sekundární výroba je nedílnou součástí moderního metalurgického zpracování, které vyžaduje vysokou úroveň řízení procesu a kontroly kvality [66].

Toto rozdělení má vliv na náklady, ekologii i technologickou náročnost výroby. V rámci snižování emisní stopy, převážně v EU, se postupně přechází z primární na sekundární výrobu oceli [67]. Přehledné znázornění těchto pojmů je zobrazeno na obr. 15.



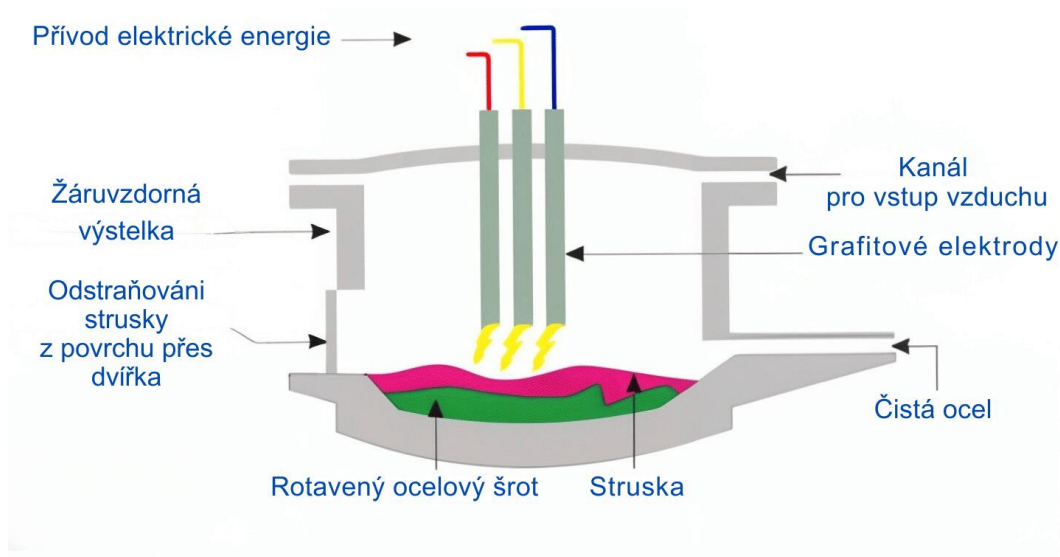
Obr. 15 Schéma výrobních procesů primární a sekundární výroby oceli [68]

Elektrické obloukové pece (EOP)

EOP představuje klíčovou technologii sekundární výroby oceli, která umožňuje tavení a rafinaci železného šrotu při vysokých teplotách. Proces tavení je realizován prostřednictvím elektrického oblouku vznikajícího mezi grafitovými elektrodami a taveninou ve vzdálenosti 200 až 300 mm [69]. Dosahované teploty elektrického oblouku činí 3000 až 4000 °C. Tento způsob výroby oceli umožňuje řízení chemického složení v širokých mezích [70].

Vsázku EOP může tvořit až 100 % železného šrotu [71; 72], přičemž v závislosti na požadavcích na jakost výsledné oceli bývá doplňována přímým redukováným železem (označován jako DRI) nebo horkým briketovaným železem (označován jako HBI). Přítomnost těchto materiálů umožňuje snížení obsahu nečistot a přesnější kontrolu chemického složení oceli. Během procesu se aplikuje tavidlo (obvykle vápenec nebo dolomit), které napomáhá tvorbě strusky a odstraňování nežádoucích prvků v tavenině, jako je síra (S), fosfor (P) či křemík (Si) [69].

Obecně se konstrukce EOP skládá z několika klíčových částí. Základem je pecní nádoba opatřená žáruvzdornou vyzdívkou. Nedílnou součástí je také sada grafitových elektrod, které vytvářejí elektrický oblouk. Poklop pece slouží jako izolační vrstva pro udržení tepla uvnitř nádoby. Dále je součástí transformátor, který snižuje síťové napětí na úroveň potřebnou pro vznik elektrického oblouku. Odpichový systém umožňuje odstranění roztavené oceli z pece. Naklápěcí mechanismus zajišťuje snadné vylévání taveniny. Chladicí systém brání přehřívání zařízení a zajišťuje bezpečný provoz [73]. Implementace moderních technologií, jako je predehřev vsázky, energetická optimalizace a rekuperace plynů, dále zvyšuje energetickou účinnost procesu a přispívá k udržitelnému rozvoji hutnictví [69].



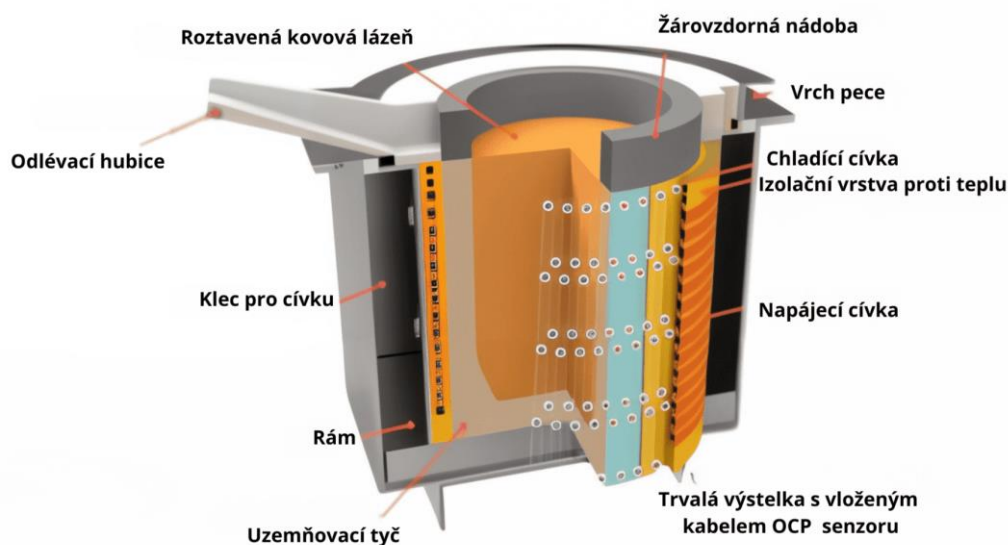
Obr. 16 Zjednodušené schéma EOP [74]

Elektrické indukční pece

Indukční pec je významným zařízením pro tavení nejen oceli a litiny, ale také Al, Cu a dalších neželezných slitin. Uplatňuje se zejména v technologických procesech, kde je požadována vysoká čistota taveniny, např. při odlévání vysoce kvalitních kovových odlitků. Pracuje na principu elektromagnetické indukce, kdy střídavý proud o frekvenci od 50 Hz do 1000 Hz procházející cívkou vytváří magnetické pole, které indukuje vířivé proudy v kovové vsázce [75]. Ty generují Joulovo teplo, čímž dochází k ohřevu a roztavení materiálu. Tento proces nevyužívá přímý elektrický oblouk ani spalování, což vede k nižší kontaminaci prvky C a jinými nečistotami [76].

Hlavní části indukční pece zahrnují pecní nádobu s žáruvzdornou výstelkou, indukční cívku s vodním chlazením, napájecí jednotku a chladicí systém. Podle frekvence napájecího proudu se dělí na nízkofrekvenční, středně frekvenční a vysokofrekvenční, přičemž každá varianta se hodí pro odlišné aplikace [75].

Vsázku indukční pece obvykle tvoří 100 % kovového šrotu nebo ingotů, avšak kvůli omezeným možnostem metalurgické úpravy je nutné dbát na jeho předběžnou selekci, zejména kvůli obsahu S, P nebo Cu, které nelze snadno odstranit. Tento typ pecí je velmi oblíben v podnikových slévárnách pro jejich čistý, rychlý a energeticky méně náročný provoz [76]. Zároveň dochází k výrazně menšímu propalu (~ 2 %) při tavbě oproti EOP [77].



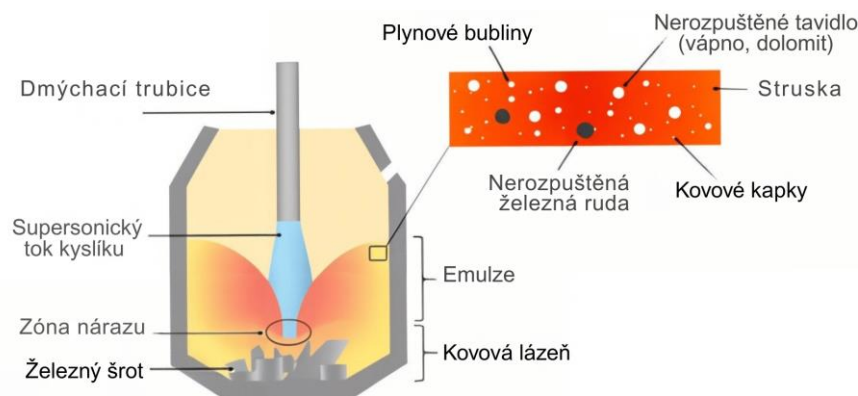
Obr. 17 Popis elektrické indukční pece [78]

Kyslíkové konvertory

Kyslíkový konvertor je současně nejrozšířenější technologií pro výrobu oceli z tekutého surového železa. Tento proces nahradil starší metody, jako byl Thomasův proces a Siemens-Martinův proces, díky vyšší efektivitě, energeticky menší náročnosti a lepší schopnosti odstraňovat nežádoucí prvky [79]. Principem je vhánění kyslíku pod vysokým tlakem do taveniny, což vede k oxidaci příměsí a úpravě chemického složení oceli.

Hlavní části kyslíkového konvertoru zahrnují konvertorovou nádobu s žáruvzdornou vyzdívkou, kyslíkovou trysku pro vhánění plynného kyslíku, odpichové zařízení a systém pro odstraňování strusky. Proces probíhá při vysokých teplotách a umožňuje rychlou přeměnu surového železa na ocel [79]. Vsázku kyslíkového konvertoru tvoří obvykle 70 % až 80 % tekutého surového železa a 20 % až 30 % ocelového šrotu. Tento proces umožňuje efektivní kontrolu obsahu C, Si, Mn a P. Prvek S se touto metodou odstraňuje jen částečně a obvykle je nutná následná mimopecní rafinace [69].

Kyslíkové konvertory hrají zásadní roli v hutním průmyslu díky své vysoké produktivitě a nízkým provozním nákladům. Umožňují výrobu kvalitní oceli s přesně řízeným složením. Doba tavy se pohybuje od 20 minut do 40 minut podle velikosti konvertoru [79].



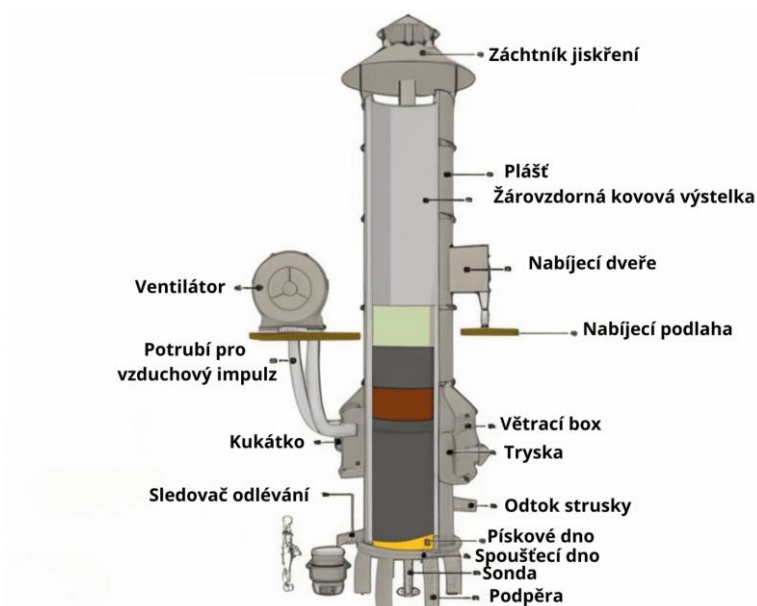
Obr. 18 Schéma kyslíkového konvertoru [80]

Kuplové pece

Jedná se o šachtovou pec s žáruvzdornou vyzdívkou, která se primárně využívá ve slévárnách při výrobě litiny. Vsázku kuplové pece tvoří surové železo, ocelový a litinový odpad, koks a struskotvorné přísady (obvykle vápenec), přičemž poměr jednotlivých složek se pružně přizpůsobuje požadovanému chemickému složení výsledné slitiny [81]. V bezkoksové variantě kuplové pece lze použít až 40 % ocelového šrotu [82].

Princip činnosti spočívá v postupném pohybu vsázky směrem dolů, kdy se suroviny (včetně koksu a vápence) dávkuje shora. V tzv. žhavé zóně dochází ke spalování koksu, které zajišťuje teplo potřebné k tavení kovů. Roztavený kov se následně hromadí v dolní části pece, odkud je pravidelně odpichován [82]. Hlavní konstrukční prvky kuplové pece zahrnují zásobní šachtu pro plynulé zavádění vsázky, výfučny pro přívod horkého vzduchu podporující spalování, nístěj pro shromažďování roztaveného kovu a odpichový otvor, kterým se tavenina odvádí [83].

Možnosti metalurgické úpravy chemického složení taveniny jsou v kuplové peci relativně omezené [84]. V praxi je náročnější odstraňovat např. S nebo P, což se může projevit na kvalitě výsledného produktu [82].



Obr. 19 Schématické znázornění kuplové pece pro tavení litiny [85]

2.4.5 Pokročilé technologie zpracování KO

Pokročilé technologie zpracování KO představují moderní přístupy s vyšší účinností a specializací na složitější materiály. Mezi tyto metody patří hydrometalurgie, pyrometalurgie a kryogenní separace. Jejich využití umožňuje efektivní separaci a zpětné získání kovů i z náročně recyklovatelných odpadů.

Hydrometalurgie

Hydrometalurgie je metoda využívající vodné roztoky k extrakci a čištění kovů z odpadu. Tento proces je zvláště efektivní při recyklaci elektronického odpadu, jako jsou tištěné spoje nebo elektrické baterie, kde umožňuje získávání cenných kovů, např. Cu, zlata (Au) nebo stříbra (Ag) [86]. Proces obvykle zahrnuje loužení, při kterém se KO rozpouští v kyselém nebo zásaditém roztoku. Následně dochází k čištění roztoku, kde se separují nežádoucí složky pomocí metod, jako je srážení nebo extrakce rozpouštědlem. Poslední fází je získání kovu, které probíhá např. elektrolýzou nebo cementací [86].

Mezi hlavní výhody hydrometalurgie patří schopnost zpracovat komplexní materiály a nízká energetická náročnost ve srovnání s pyrometalurgickými procesy. Nevýhodou je použití chemických činidel, které mohou vytvářet odpadní roztoky vyžadující ekologickou likvidaci [86].

Pyrometalurgie

Pyrometalurgie využívá vysoké teploty k oddělení kovových složek od nečistot prostřednictvím tavení, oxidace či redukce [87]. Nejperspektivnější metodou je plazmové zpracování, které využívá plazmový oblouk k dosažení extrémně vysokých teplot (až několik tisíc °C), což způsobuje okamžitou fragmentaci odpadu. Tím se kovy oddělují s minimální tvorbou prachu. Tuto technologii lze využít jak pro recyklaci drahých kovů (např. Au a Ag) [88], tak i běžných kovů, jako je ocel. Navíc se plazmové zpracování dají aplikovat i při recyklaci ostatních odpadů, např. sklolaminátů, průmyslového či nemocničního odpadu a dalších problematických odpadů. Metoda nabízí rychlý a účinný proces recyklace, avšak je energeticky náročná a vyžaduje speciální zařízení. I přes velkou efektivitu se plazmové zpracování zatím neřadí mezi běžně používané průmyslové technologie. Stále zůstávají převážně ve stádiu výzkumu a pilotních projektů [89].

Kryogenní separace

Kryogenní zpracování KO využívá extrémní chlazení kapalným dusíkem (až -196 °C),³ čímž se materiál stává křehkým a snadno se mechanicky fragmentuje na homogenní drť vhodnou pro recyklaci. Tato metoda představuje alternativu k tradičním mechanickým a hydrometalurgickým procesům, protože umožňuje efektivnější oddělení jednotlivých kovových složek a minimalizuje tvorbu prachu [90].

Mezi hlavní výhody patří dosažení vyšší čistoty recyklovaných kovů, snížení emisí prachu a možnost zpracování materiálů, které by tradiční metody obtížně fragmentovaly. Na druhou stranu, proces vyžaduje vyšší pořizovací a provozní náklady na specializované zařízení a klade

³ E-dusik.cz. Existuje tekutý dusík? Co je kapalný dusík? [online]. [b.r.] [cit. 2025-04-06]. Dostupné z: <https://www.e-dusik.cz/existuje-tekuty-dusik-co-je-kapalny-dusik-p102.htm>

velké nároky na bezpečnostní opatření vzhledem k práci s extrémně nízkými teplotami kapalného dusíku [90].

2.4.6 Perspektivní technologie v rané fázi průmyslového využití

Vedle tradičních metod se stále více uplatňují inovativní technologie, které zvyšují efektivitu a ekologickou udržitelnost recyklace kovů. Mezi nejvýznamnější patří umělá inteligence (běžně označováno jako AI) v třídění odpadu a biometalurgická technologie.

AI nachází uplatnění při automatizaci a zefektivnění recyklace kovů. Díky strojovému učení a optickým senzorům zajišťuje přesné třídění kovů, což zvyšuje čistotu výstupních surovin a snižuje kontaminaci. Automatizované linky řízené AI dokážou efektivně rozlišovat mezi různými materiály, čímž snižují náklady na ruční práci. AI má rovněž perspektivu při robotické demontáži elektronického odpadu a průmyslových zařízení. V oblasti datové analytiky už dnes pomáhá s predikcí vývoje trhu a optimalizací logistiky [91].

Biometalurgie je ekologický způsob získávání kovů z elektroodpadu za pomoci mikroorganismů. Zahrnuje procesy bioleachingu, biosorpce a bioredukce. Při bioleachingu bakterie a houby (např. *Acidithiobacillus*) produkují kyseliny, které rozpouštějí kovy z pevných materiálů. Tím lze získat více než 90 % Cu, niklu (Ni) a dalších kovů. Biosorpce a bioredukce využívají biologickou hmotu, např. řasy (*Chlorella*) k navázání nebo vysrážení kovů z roztoků. Jsou energeticky nenáročné a šetrné k životnímu prostředí. Překážkami zůstávají pomalé reakce a menší účinnost u drahých kovů. Pomoci mohou geneticky upravené mikroorganismy a nové separační metody. Biometalurgie tak nabízí perspektivní alternativu ke klasickým metodám recyklace kovů [92].

3 NÁVRH SYSTÉMU PRO ÚPRAVU OCELOVÝCH TŘÍSEK

Tato kapitola se zabývá návrhem systému pro úpravu ocelových třísek (dále jen třísky) v konkrétním podniku nacházejícím se ve zlínském areálu Svit, kde probíhá výhradně zpracování oceli. Cílem této části práce je popsat stávající způsob nakládání s třískami a okujemi, a na základě provedených analýz navrhnout technologii pro jejich efektivní zpracování.

Nejprve bude popsán současný stav nakládání s KO. Následovat bude charakteristika a bilance vznikajících odpadů, přičemž bude stanoveno jejich množství a podíl jednotlivých typů. Dále bude provedeno chemické složení vybraných vzorků pomocí spektrometru a vyhodnoceno z hlediska jejich možného dalšího využití. Součástí analýzy je rovněž stanovení vlhkosti třísek a zjištění obsahu zbytkových olejů u třísek kontaminovaných minerálním olejem. Doplňující část se zaměří na stanovení sypné hmotnosti třísek.

Na základě těchto zjištění je dále navržena technologie vhodná pro zpracování analyzovaných třísek, včetně určení vstupních předpokladů pro návrh briketovací linky. Pro okuje jsou navržena opatření vedoucí ke zvýšení jejich tržní hodnoty a zlepšení možností následné recyklace. Součástí návrhu je také prostorové uspořádání, technické rozdělení vybraných zařízení a ekonomika provozu briketovací linky. Závěrečná část kapitoly hodnotí přínosy navrhované technologie.

3.1 Současný stav nakládání s třískami a okujemi

Jak již bylo zmíněno, v daném výrobním závodu vznikají především dva typy KO, třísky a okuje. Ke každému z těchto materiálů se přistupuje odlišně, což je dáno jak jejich fyzikálně-chemickými vlastnostmi, tak hlavně rozdílnou výkupní cenou, která se zpravidla odvíjí od aktuálních cen kovů na Londýnské burze kovů (známé pod označením London Metal Exchange, LME). Zatímco za třísky⁴ může firma získat několik korun za kilogram, okuje⁴ bývají vykupovány výrazně levněji, často jen za haléře, případně bývají odváženy bezplatně. Výkupní ceny výkupců KO bývají často ovlivněny očekáváním, že dodaný materiál bude obsahovat nejen provozní nečistoty, zejména zbytky rezných kapalin a olejů, ale také nečistoty pocházející z lidské obsluhy, což přirozeně vede ke snížení výkupní ceny.

Tento způsob nakládání je pro firmu výhodný, jelikož přenáší odpovědnost za likvidaci na výkupce odpadu. Nicméně při větším objemu produkce těchto KO dochází ke ztrátám potenciálních příjmů, které by bylo možné efektivně zhodnotit vhodným technologickým zpracováním, separováním a minimalizací kontaminace. Čistší a homogennější materiál má obecně vyšší hodnotu a je lépe obchodovatelný [93], zvláště pokud je určen pro další využití v hutních provozech.

⁴ BARKO. **Ceník výkupu kovového odpadu**. Druhotné suroviny.cz. [online]. [b.r.]. Průběžně aktualizováno. [cit. 2025-04-06]. Dostupné z: <https://druhotnesuroviny.cz/cenik#bookmarkCategory-12-1-19>

3.1.1 Nakládání s třískami

V rámci současného výrobního provozu vznikají třísky jako vedlejší produkt třískového obrábění na 3 hlavních výrobních pracovištích. Prvním z nich je řezárna, kde vznikají třísky při dělení materiálu kotoučovou nebo pásovou pilou. Druhým je nástrojárna, kde probíhá soustružení a frézování nástrojů pro kování, zejména zápustek. Třetí oblastí je obrobna, kde se finálně obrábějí výkovky.

Třísky jsou nejprve shromažďovány do speciálních vozíků na třísky o objemu cca 1 m³ (viz obr. 20) umístěných přímo u jednotlivých obráběcích strojů. Tyto vozíky jsou po naplnění převezeny vysokozdvížným vozíkem s otočnou vidlicí do prostoru určeného pro shromažďování třísek. Zde zůstávají minimálně 24 hodin, podle interních firemních předpisů. V této fázi dochází k částečné separaci zbytkové řezné kapaliny, která je odváděna přes síto na dně vozíku do sběrné nádoby. Tato kapalina je následně slita a vrácena zpět ke strojům.

Po separaci kapaliny jsou třísky přesunuty do jednoho ze dvou kontejnerů o objemu 25 m³ (viz obr. 21), jeden je umístěn u obrobny, druhý u řezárny a nástrojárny. V tomto stádiu neprobíhá žádná separace ani předúprava. Třísky z běžných uhlíkových i legovaných nástrojových ocelí jsou ukládány společně, bez důsledné separace podle chemického složení nebo míry kontaminace. Před samotným odvozem se v kontejnerech provádí sekundární sběr zbytkové řezné kapaliny, která je znovu částečně vrácena do provozu (viz obr. 22).



Obr. 20 Vozík na třísky o objemu 1 m³



Obr. 21 Kontejner na třísky o objemu 25 m³



Obr. 22 Sekundární separace zbytkové řezné emulze

Takto smíšený materiál je následně předáván externí výkupní firmě, která jej v pravidelných intervalech odváží. Výkupní cena závisí na aktuální tržní ceně železa a kvalitě dodaného odpadu, avšak v důsledku znečištění a nehomogenity materiálu je nižší než u třísek separovaných nebo lisovaných. K separaci rezné kapaliny či regeneraci provozních olejů v rámci podniku nedochází, což vede k jejich zbytečné ztrátě. Tyto kapaliny je nutné pravidelně doplňovat, čímž se zvyšují provozní náklady. Při vlastním zpracování by přitom bylo možné tyto kapaliny potenciálně opětovně využít, což by vedlo k jejich dalšímu využití a snížení spotřeby nových médií.

3.1.2 Nakládání s okujemi

Okuje jsou vedlejším produktem při kování a žíhání výkovků. V daném průmyslovém podniku vznikají okuje na 4 specifických pracovištích, a to u kovacích lisů, kontinuálních žíhacích pecí, kalírně a v oblasti tryskacích zařízení. Kvalita odpadu z těchto 4 pracovišť se liší, což je podrobně popsáno v následující kapitole 3.2.1.



Obr. 23 Kovací lis



Obr. 24 Kontinuální žíhací pec [94]



Obr. 25 Tryskací zařízení

V současné praxi jsou okuje nejčastěji shromažďovány do kovových beden typu USB-1 o objemu 1 m³ s vnitřní fólií proti vysypávání (viz obr. 26), umístěných přímo u jednotlivých strojů. Po jejich naplnění jsou sváženy vysokozdvížnými vozíky s otočnou vidlicí do centrálního vanového kontejneru o objemu 10 m³ (viz obr. 27). Menší objem tohoto kontejneru ve srovnání s kontejnery na třísky odpovídá podstatně vyšší sypné hmotnosti okujů, která se pohybuje okolo 5700 kg/m³ v závislosti na typu.⁵ Po naplnění jsou kontejnery odváženy externí firmou v pravidelných intervalech, které vycházejí z výrobního plánu.



Obr. 26 Kovová bedna typu USB-1



Obr. 27 Vanový kontejner 10 m³

⁵ RAUDENSKÝ, Miroslav. *Hydraulické odstranění okujů*. Učební podklady. Brno: VUT v Brně Fakulta strojního inženýrství, 2008. ISBN 978-80-214-3621-3. Dostupné také z: www.vut.cz/vutium/spisy?action=ukazka&id=1211&publikace_id=13997.

Vzhledem k tomu, že výkupní ceny okují jsou velmi nízké a ekonomický přínos je zanedbatelný, jsou okuje cíleně znečišťovány dalšími provozními odpady, jako jsou maziva či dřevní zbytky (viz obr. 28). Tímto způsobem podnik snižuje vlastní náklady na likvidaci těchto odpadů, které by jinak musel odvážet za poplatek do sběrných dvorů. Tento přístup však prakticky omezuje jejich další materiálové využití v hutních provozech. V současnosti nacházejí okuje nejčastější uplatnění ve stavebnictví při výrobě cementu, kde však i nadále zůstává klíčovým faktorem jejich kvalita a úroveň kontaminace [26].



Obr. 28 Znečištěné okuje z výroby

Vhodně zvolená technologie pro jejich úpravu spolu s důrazem na prevenci kontaminace by mohly v budoucnu přispět k efektivnějšímu využití okují v hutnictví a ke zvýšení jejich výkupní ceny.

3.2 Analýza KO - třísky a okuje

Tato kapitola se zaměřuje na podrobnou analýzu KO vznikajícího v daném výrobním podniku. Součástí kapitoly je rovněž základní analýza okují, jež doposud v rámci podniku nebyly analyzovány ani systematicky zpracovávány. Jejich zhodnocení zde slouží jako výchozí podklad pro potenciální budoucí využití.

V rámci této části práce bude popsán tok KO od jeho vzniku, analyzováno chemické složení třísek rentgenovou spektrometrií, stanovena vlhkost třísek, obsah zbytkových olejů třísek a sypná hmotnost třísek. Tyto charakteristiky slouží nejen k vyhodnocení kvality suroviny, ale budou rovněž podkladem jako vstupní data pro návrh recyklační linky včetně její ekonomické proveditelnosti.

3.2.1 Charakteristika a bilance třísek a okují

Přestože lze podnikové KO v rámci této práce zjednodušeně rozdělit pouze na třísky a okuje, je důležité si uvědomit, že jednotlivá technologická pracoviště zpracovávají odlišné typy materiálů, což se promítá do rozdílných vlastností vznikajícího odpadu.

Dlouhé šroubovitě třísky, které jsou nevhodné pro briketování, vznikají typicky při soustružení a vrtání [77]. V daném výrobním podniku se tyto problematické třísky vyskytují výhradně v provozech obrobny a nástrojárny, a to v zanedbatelném objemovém zastoupení. Přesný podíl dlouhých třísek není v podniku evidován, avšak lze jej orientačně odhadnout na základě struktury strojního vybavení.

Na obrobně je instalováno celkem 25 obráběcích strojů, přičemž všechny pracují ve třísměnném režimu, z tohoto počtu tvoří 10 CNC soustruhů a 3 CNC vrtačky. Za předpokladu rovnoměrné produkce třísek na jednotlivých strojích lze odhadnout, že dlouhé třísky tvoří přibližně 52 % celkového objemu třísek v této části výroby. V nástrojárně, kde se nachází 14 strojů a pouze 2 z nich jsou soustruhy, navíc zpravidla neprovozované v třísměnném režimu, lze podíl dlouhých třísek odhadnout přibližně na 14 % celkového objemu produkováných třísek v nástrojárně.

Dále lze třísky členit také podle typu použitého chladicího média. Na obrobně a nástrojárně jsou využívány vodou ředitelné emulze, zatímco v řezárně se používají jak emulze, tak i minerální řezné oleje. Podobně jako při odhadu podílu dlouhých a krátkých třísek lze i zde vycházet z počtu strojů, ze všech 5 pil v řezárně využívají 2 vodou ředitelné emulze. Zbývající 3 pily pracují s minerálním řezným olejem. Lze tedy stanovit, že zhruba 40 % třísek z tohoto provozu jsou kontaminované řeznou emulzí. Tento aspekt je důležitý nejen z hlediska dalšího zpracování odpadu, ale i kvůli rozdílnému způsobu separace kapalin při předúpravě materiálu. Přehled podílů třísek dle jejich velikosti a znečištění podle konkrétních stanovišť je uveden v tab. 3.

Tab. 3 Přehled procentuálního podílu dlouhých, krátkých třísek a stanovení procentuálního podílu třísek s vodou ředitelnou řeznou emulzí a třísek s minerálním řezným olejem podle jednotlivých stanovišť

Stanoviště	Podíl dlouhých třísek	Podíl krátkých třísek	Podíl třísek s řeznou emulzí	Podíl třísek s minerálním olejem
Obrobna	52 %	48 %	100 %	0 %
Nástrojárna	14 %	86 %	100 %	0 %
Řezárna	0 %	100 %	40 %	60 %

Důležitou součástí analýzy jednotlivých stanovišť je identifikace třísek, jejich množství a posouzení možnosti separace podle typu oceli. Možnost systému separace bude následně experimentálně ověřena v následující podkapitole 3.2.2. V tab. 4 jsou uvedeny druhy ocelí zpracovávané v daném podniku. Ve sloupci *stanoviště* jsou přiřazena technologická pracoviště, kde vznikají konkrétní třísky podle materiálu. Nejčastěji zpracovávané materiály jsou v tabulce vyznačeny tučně. U skupiny I-9, které se zpracovávají jen v nástrojárně, tvoří dominantní ocel ČSN 19 552 teoreticky 99 % všech třískových odpadů dané skupiny, a tedy prakticky celý objem odpadu z nástrojárny.

Tab. 4 Přehled zpracovávaných ocelí podle skupin, norem a pracovišť

Skupina	Popis	Stanoviště	Norma	Materiály					
				S235JR	S275JR	S355JR	E295	E355	
I - 1	nelegované uhlíkové oceli	Obrobna	EN						
			EN	S235J0	S275J2	S355J2	E360		
			ČSN	11375	11443	11503	11500	11600	
			ČSN	11378	11448	11523	11700		
I - 2	nelegované uhlíkové oceli pro tepelné zpracování	Obrobna	EN	C15	C22	C35	C45	C60	
			EN	C15E	C22E	C35E	C45E	C60E	
			EN	C15R	C22R	C35R	C45R	C60R	
			ČSN	12023	12081	12040	12050	12061	
I - 3	střednělegované zušlechťitelné oceli	Obrobna, Řezárna	EN	25CrMo4	34CrMo4	42CrMo4	50CrMo4	41Cr4	
			EN	25CrMoS4	34CrMoS4	42CrMoS4	50CrMoS4	41CrS4	
			ČSN	15130	15141	15142	15230	14140	
I - 4	legované zušlechťitelné oceli	-	EN	31CrMoV9	51CrV4				
I - 5	nizkohlíkové legované cementační oceli	Obrobna	EN	C10	16MnCr5	20MnCr5	13CrMo44		
			EN	C10E	16MnCrS5	20MnCrS5			
			ČSN		14220	14221	14224		
I - 6	legované cementační oceli	-	EN	34CrNiMo6	30CrNiMo8	34CrAlNi7-10	17CrNi6-6	15NiCr13	18CrNiMo7-6
I - 7	nelegované automatové oceli	-	EN	11SMn30	11SMn37	35SMn20	46S20		
I - 8	nizkolegované automatové oceli	Řezárna	EN	19MnVS6	30MnVS6	38MnVS6	46MnVS6		
I - 9	vysocilegované nástrojové oceli	Nástrojárna	ČSN	19663	19552	19554	19733		

Pozn.: Symbol „-“ a šedě označené řádky v tabulce označují skupiny, u nichž v rámci sledovaného provozu nevznikají odpady z těchto ocelí, neboť tyto materiály nejsou v podniku řezány, ale pouze stříhány, případně jsou obráběny mimo výrobní areál.

Odběr vzorků třísek

Pro účely vizuální dokumentace a následných experimentálních testů bylo odebráno celkem 5 vzorků třísek ze všech stanovišť, jež v maximální možné míře reprezentují dané stanoviště.

Vzorky byly vybírány tak, aby co nejlépe vystihovaly typické vlastnosti odpadu vznikajícího na daném pracovišti. Slouží výhradně pro orientační vizuální posouzení a jako ilustrační podklad pro popis charakteru ocelových třísek. Následující laboratorní stanovení vlhkosti, obsahu zbytkových olejů a chemické složení budou prováděna na samostatně odebraných, avšak materiálově obdobných vzorcích. Vizuální charakteristiky orientačních vzorků (20 až 40 g) jsou zachyceny na fotografiích uvedených na obr. 29 až obr. 33.



*Obr. 29 Třísky krátké z obrobny
(elementární)*



*Obr. 30 Třísky dlouhé z obrobny
(zejména vinuté dlouhé)*



*Obr. 31 Třísky z řezárny
(spirálově ploché)*



*Obr. 32 Třísky dlouhé
z nástrojárny (stužkově smotané)*



*Obr. 33 Třísky krátké z nástrojárny
(elementární)*

Odběr vzorků okují

Pro účely detailnějšího posouzení tohoto odpadu byly odebrány 2 typy vzorků (cca 30 g), jež jsou charakteristické podle technologického zpracování.

Prvním typem jsou jemné, prachové okuje (viz obr. 34) pocházející ze stanovišť kalírny a tryskačů, kde dochází k tryskání povrchů ocelových výkovků. Tyto odpady se vyznačují vysokou jemností a prašností, jež znečišťují celý výrobní prostor. Důležitým zjištěním je přítomnost drobných ocelových broků, jejichž zastoupení se odhaduje podle dané technologie tryskačů pod 5 %. Přítomnost těchto částic lze považovat za dvojsečnou, z hlediska recyklace přispívají k vyššímu obsahu železa, avšak jejich tvrdost a abrazivní charakter může představovat komplikaci při případném mechanickém zpracování tohoto odpadu.

Druhým analyzovaným typem jsou okuje šupinkovitého charakteru vznikající na pracovištích kovárenských lisů a kontinuálních žhacích pecí. Tyto okuje se tvoří přirozeným odlupováním z povrchu oceli během tepelného zpracování. Tyto okuje nejsou dále mechanicky drceny ani jinak upravovány (viz obr. 35).

Všechny odebrané vzorky byly získány bezprostředně po jejich vzniku, tedy před jakýmkoliv možným kontaminováním jinými provozními materiály, aby bylo zajištěno co nejrelevantnější složení pro účely budoucí analýzy.



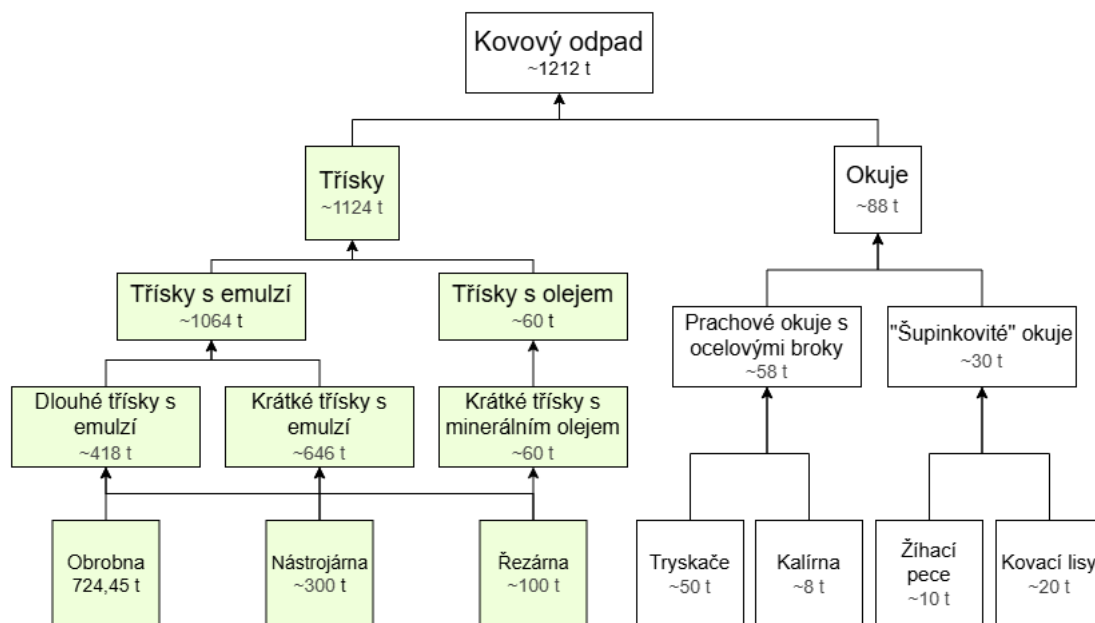
Obr. 34 Prachové okuje z tryskačů



Obr. 35 Šupinkovité okuje

Na následujícím obr. 36 je graficky znázorněna materiálová bilance hlavních KO podle jednotlivých technologických stanovišť, přičemž je zohledněna jejich tvarová charakteristika a typ znečištění. Nejpodrobnější a nejpřesnější data byla k dispozici z obrobny dodané společností CV Machining s.r.o., kde bylo množství odpadu sledováno za období listopad 2023 až říjen 2024.

U ostatních pracovišť nebyly roční objemy KO systematicky evidovány, a proto byly orientačně dopočteny technologem podniku na základě údajů o výrobě za leden 2025. Přestože se jedná o dopočet, hodnoty by měly být dostatečně přesné pro účely vyhodnocení návrhu technologie a ekonomické analýzy provozu. Pro návrh technologie a ekonomiky provozu budou využita pouze data ze zelené větve, která reprezentují produkci třísek. Zpracování okujů není dále detailně řešeno, neboť jejich množství ve srovnání s třískami není tak významné. Zahrnutí této problematiky by výrazně přesáhlo rozsah celé bakalářské práce.



Obr. 36 Roční materiálová bilance KO v podniku

3.2.2 Chemické složení třísek

Tato část práce se zabývá možnostmi separace třísek podle jejich chemického složení se zaměřením na obsah legujících prvků a jejich vliv na kvalitu a hodnotu odpadu. Obecně platí, že čím čistší a homogennější je složení odpadu, tím lépe se materiál uplatňuje v recyklačních procesech. Homogenita chemického složení je klíčová zejména pro hutní zpracování, kde výrazně ovlivňuje nejen kvalitu výsledných produktů, ale i ekonomickou hodnotu samotného odpadu. Hlavním cílem této analýzy je zjistit, zda třísky z jednotlivých pracovišť vykazují konzistentní chemické složení přímo ve výrobě, že by jejich samostatné shromažďování mohlo vést k vyšší materiálové hodnotě. Pro ověření této hypotézy byly využity výsledky měření pomocí ručního spektrometru.

Pro experimentální ověření byl použit ruční rentgenový spektrometr ALPHA, který pracuje na principu nedestruktivní rentgenové fluorescenční analýzy. Toto zařízení umožňuje rychlou a přesnou identifikaci jednotlivých chemických prvků přímo v provozu bez nutnosti složité přípravy vzorků. Spektrometr je v základní konfiguraci kalibrován pro detekci 21 prvků, mezi které patří např. železo (Fe), molybden (Mo), chrom (Cr), vanad (V), měď (Cu), mangan (Mn), nikl (Ni) a další [95]. Lehčí prvky jako uhlík (C), křemík (Si), fosfor (P) nebo síra (S) tímto způsobem nelze detekovat.

V rámci experimentu bylo analyzováno 40 vzorků, po deseti z nástrojárny a řezárny a 20 z obrobny. Na základě detailního plánování výroby bylo možné u nástrojárny a řezárny předem identifikovat konkrétní typy obráběných ocelí, což umožnilo přesnější interpretaci získaných výsledků a jejich přiřazení k předpokládaným materiálům.

Jednotlivé vzorky třísek byly systematicky uspořádány na pracovní stůl v množství cca 40 g. Každý vzorek byl pečlivě označen identifikačním kódem, aby se předešlo chybám při následném zpracování dat. Po identifikaci jednotlivých vzorků bylo provedeno měření jejich chemického složení pomocí ručního spektrometru. Naměřené hodnoty byly průběžně zaznamenávány do datové tabulky, která sloužila jako podklad pro další statistické zpracování v softwaru Minitab. Průběh měření je zdokumentován na fotografii uvedené na obr. 37.



Obr. 37 Ukázka průběhu měření chemického složení třísek

Tab. 5 uvádí přípustné chemické složení referenčních ocelí dle příslušných norem. Tyto hodnoty slouží jako srovnávací základ pro vyhodnocení chemického složení odebraných vzorků a posouzení jejich shody.

Tab. 5 Chemické složení ocelí 25CrMoS4 [96] a 19 552 [97] dle příslušných norem a stanovišť odběru vzorků

	Označení oceli		Chemické složení oceli (hmotnostní podíl v %)							
	EN	ČSN	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	P	S
Řezárna	25CrMoS4	-	0,22 - 0,29	max 0,4	0,6 - 0,9	0,9 - 1,2	0,15 - 0,3	-	max 0,025	0,02 - 0,04
Nástrojárna	-	19 552	0,32 - 0,42	0,8 - 1,2	0,2 - 0,5	4,5 - 5,5	1,1 - 1,6	0,35 - 0,6	max 0,03	max 0,03

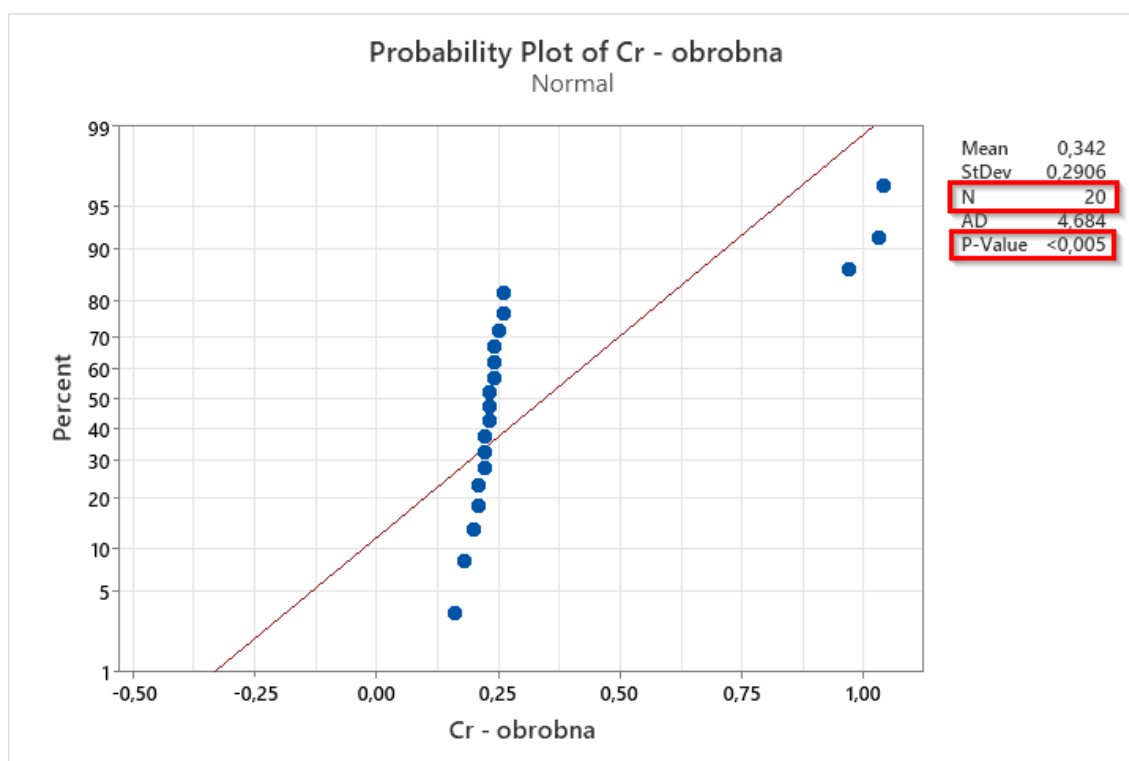
Pozn.: Zeleně zvýrazněné sloupce označují legující prvky, které byly porovnávány s experimentálně zjištěnými hodnotami z analyzovaných vzorků.

Metodika vyhodnocení chemického složení třísek

Obrobná

Přestože je vzhledem k širokému spektru zpracovávaných ocelí na obrobně (skupiny I-1, I-2, I-3 a I-5) obtížné určit přesný původ analyzovaného vzorku, podle údajů z výrobního plánu lze předpokládat, že se jedná o ocel 25CrMoS4. Z tohoto důvodu bude sledována především homogenita naměřených výsledků chemického složení, ale také jeho shoda s ocelí 25CrMoS4. U analyzovaných 20 vzorků třísek byla hlavní pozornost věnována stanovení obsahu legujících prvků Cr, Mn a Mo, a to za účelem porovnání s referenčním složením oceli 25CrMoS4. Kromě těchto prvků byl nad rámec hlavního zaměření analyzován také obsah Ni.

Z obr. 38 vyplývá, že na základě Anderson-Darlingova testu ($p < 0,05$) lze s 95% spolehlivostí zamítnout hypotézu o normalitě rozdělení obsahu Cr v obrobně. Zároveň je zřejmé, že naměřené hodnoty se výrazně odchyľují od referenční přímky normality, což vizuálně potvrzuje výsledek testu.



Obr. 38 Pravděpodobnostní graf pro test normality obsahu prvku Cr z obrobny – výstup ze softwaru Minitab

Vzhledem k tomu, že data pro obsah Cr v obrobne nesplňují podmínku normálního rozdělení Anderson-Darlingova testu, byl k testování hypotézy o mediánu použit neparametrický Wilcoxonův test. Výsledkem testu je odhad mediánu obsahu Cr o hodnotě 0,235 %, přičemž 95% interval spolehlivosti pro tento medián je od 0,22 % do 0,59 %, jak je znázorněno na obr. 39.

Wilcoxon Signed Rank CI: Cr - obrobna

Method

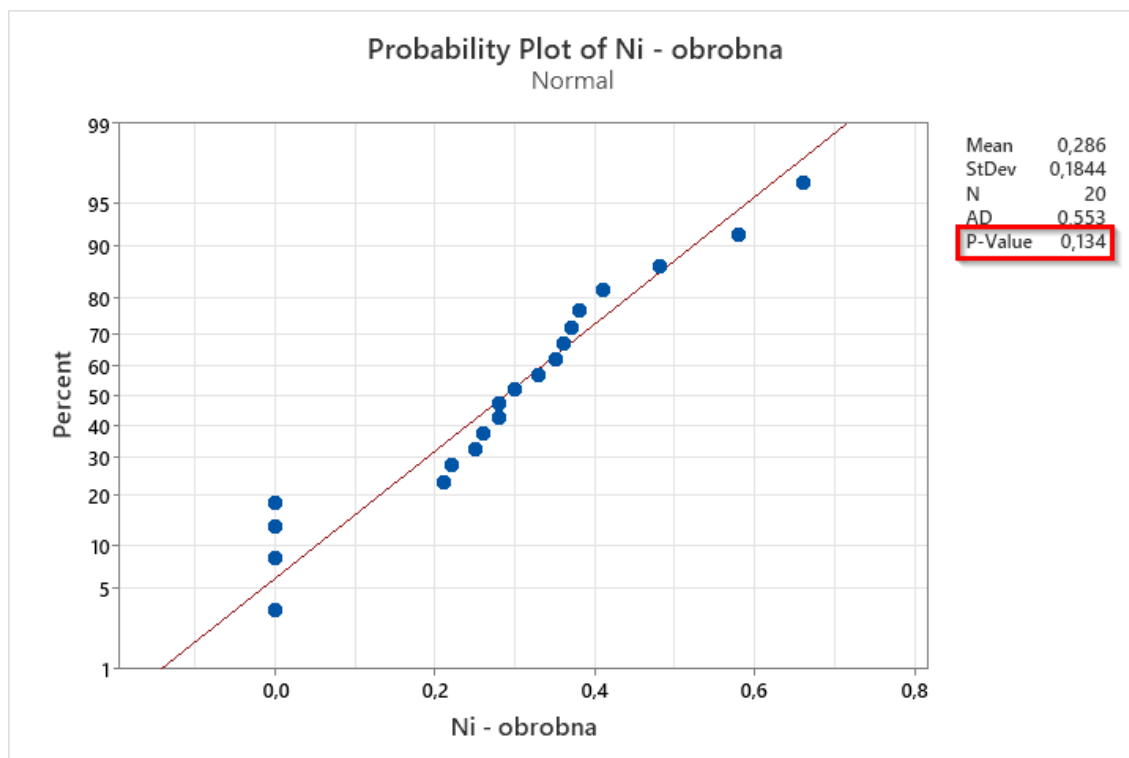
η : median of Cr - obrobna

Descriptive Statistics

Sample	N	Median	CI for η	Achieved Confidence
Cr - obrobna	20	0,235	(0,22; 0,59)	95,00%

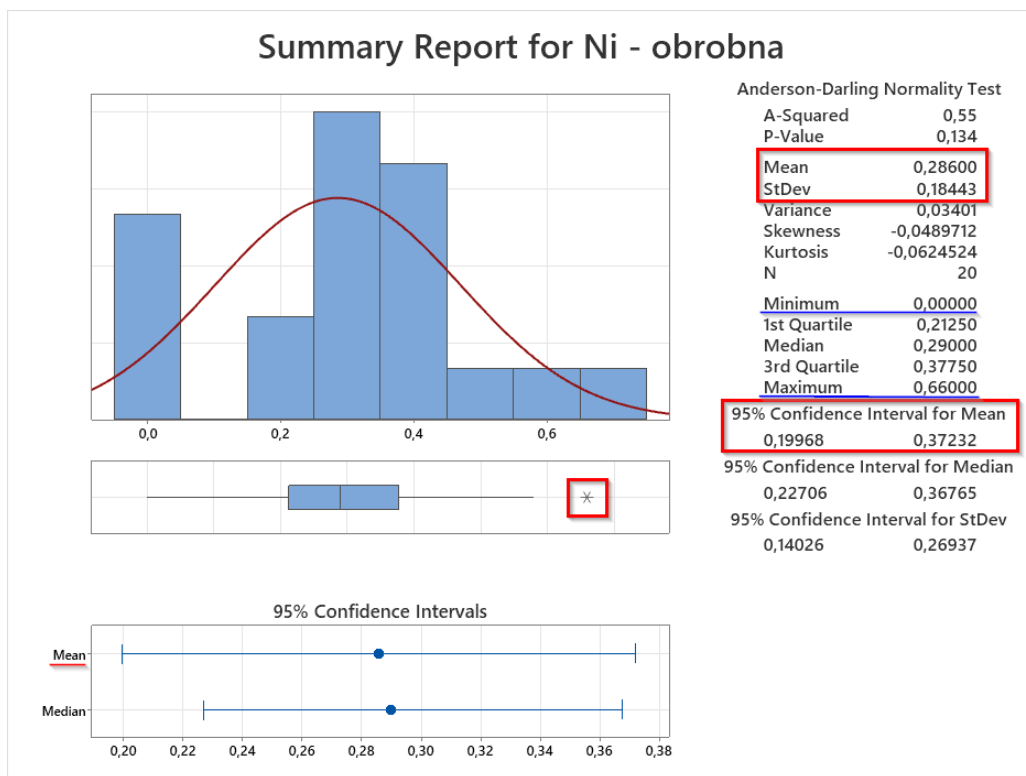
Obr. 39 Neparametrický Wilcoxonův test pro obsah Cr v oceli z obrobny – výstup ze softwaru Minitab

Obdobným způsobem se postupovalo pro prvek Mn znázorněný v Příloze A. Z obr. 40 je patrné, že data pro obsah Ni v obrobne odpovídají normálnímu rozdělení. Výsledek Anderson-Darlingova testu ($p = 0,134$) nepřekročil hranici hladiny významnosti $\alpha = 0,05$, a proto nelze zamítnout hypotézu o normálním rozdělení. Zároveň je zřejmé, že naměřené hodnoty se v grafu nacházejí v těsné blízkosti referenční přímky normality, což vizuálně podporuje výsledek testu.



Obr. 40 Pravděpodobnostní graf pro test normality obsahu prvku Ni z obrobny – výstup ze softwaru Minitab

Vzhledem k tomu, že hodnoty mají normální rozdělení, bude pro popis použit průměr, nikoliv medián. Z tohoto důvodu byly také uplatněny parametrické metody vyhodnocení zobrazené na obr. 41. Průměrná hodnota obsahu Ni byla stanovena na 0,286 %, směrodatná odchylka činí 0,184 %. Naměřené hodnoty se pohybovaly v intervalu od 0 % do 0,66 %. Na základě 95% intervalu spolehlivosti lze předpokládat, že skutečný průměr obsahu Ni leží v rozmezí od 0,1997 % do 0,3723 %. V boxplotu je dále označena odlehlá hodnota (0,66 %), která přesahuje hranici běžného rozptylu stanovenou metodikou interkvartilového rozpětí a je zobrazena hvězdičkou (*).



Obr. 41 Souhrnná statistická analýza obsahu Ni z obrobny – výstup ze softwaru Minitab

Přehledné výsledky vyhodnocení legujících prvků Cr, Mn a Ni v třískách z obrobny jsou souhrnně uvedeny v následující tab. 6. Ze sledovaných prvků vykazuje normalitu pouze Ni. Přesto je variabilita výrazná, směrodatná odchylka 0,1844 % představuje přibližně 64 % z aritmetického průměru (0,286 %). Rozpětí naměřených hodnot je 0 % až 0,66 %. Tak široký rozptyl ukazuje, že část třísek pochází z ocelí prakticky bez Ni, zatímco jiná část z Ni legovaných materiálů. To svědčí o tom, že se v provozu současně obrábí různé skupiny ocelí a nejsou od sebe separovány. Na základě těchto výsledků, a zejména s ohledem na skutečnost, že nebyl detekován prvek Mo, jedna z hlavních legur charakteristických pro ocel 25CrMoS4, lze s vysokou pravděpodobností usuzovat, že analyzovaný materiál tuto ocel neobsahuje, ale spíše představuje směs více různých skupin ocelí.

Tab. 6 Přehled výsledků vyhodnocení legujících prvků Cr, Mn a Ni u oceli z obrobny

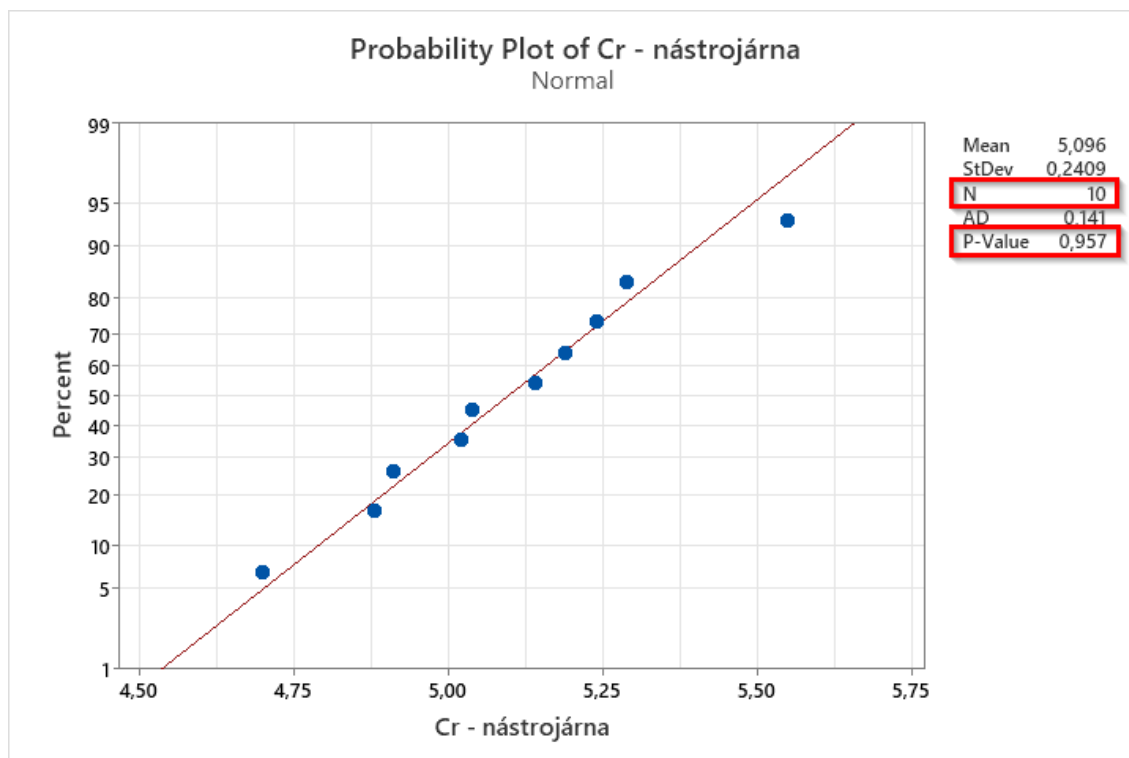
Prvek	p-hodnota (A-D test)	Medián	Průměr	Směrodatná odchylka	95% interval spolehlivosti pro medián	95% interval spolehlivosti pro průměr	Min. hodnota	Max. hodnota	Ocel 25CrMoS4
Cr	<0,005	0,235 %	-	-	0,22 - 0,59 %	-	0,16 %	1,04 %	0,9 - 1,2 %
Mn	<0,005	0,735 %	-	-	0,71 - 0,79 %	-	0,65 %	1,01 %	0,6 - 0,9 %
Ni	0,134	-	0,286 %	0,1844 %	-	0,1997 - 0,3723 %	0,00 %	0,66 %	-
Mo	-	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0,15 - 0,3 %

Poznámka: Zeleně zvýrazněné buňky ve sloupci „p-hodnota (A-D test)“ označují prvky, u kterých byla splněna podmínka normality rozdělení ($p \geq 0,05$). Světle červeně označené buňky značí prvky, které podmínku normality nesplňují ($p < 0,05$). Ve sloupci „25CrMoS4“, bylo zkoumáno, zda hodnoty odpovídají oceli 25CrMoS4, zelené buňky označují případy, kdy byla potvrzena shoda. Tmavě červený sloupec u prvku Mo značí, že nebyl při měření nalezen.

Nástrojárna

Vzhledem k tomu, že se v nástrojárně zpracovávají pouze nástrojové oceli skupiny I-9 a to výhradně ocel 19 552. Bude sledována především homogenita materiálu a jeho shoda s požadavky této normy. U analyzovaných 10 vzorků třísek byly stanoveny obsahy legujících prvků Cr, Mn, Mo a V.

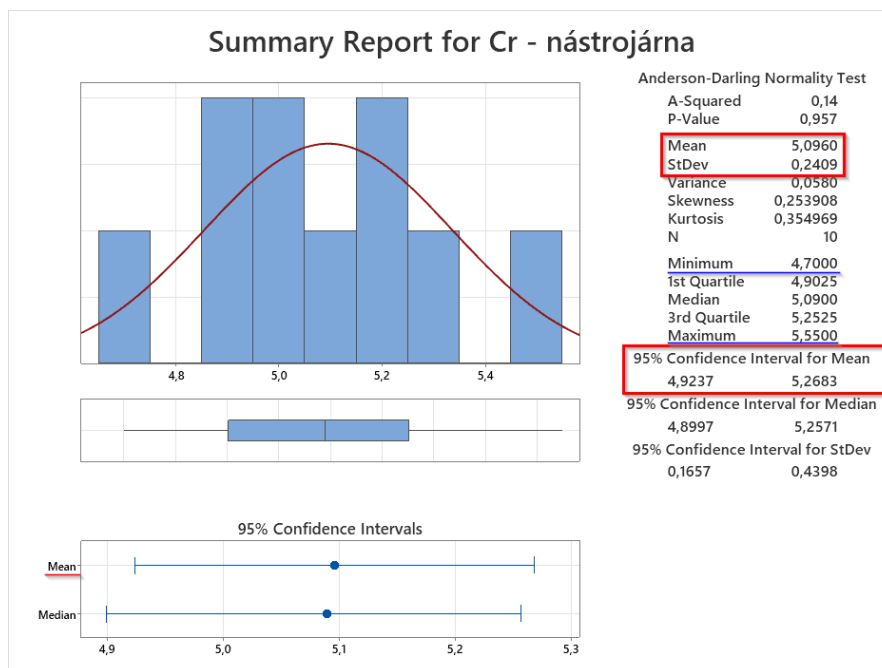
Z obr. 42 je patrné, že na základě Anderson-Darlingova testu ($p = 0,957$) nelze na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ zamítnout nulovou hypotézu o normálním rozdělení obsahu Cr v oceli. Naměřené hodnoty se navíc nacházejí v těsné blízkosti referenční přímky normality, což vizuálně podporuje tvrzení, že data odpovídají normálnímu rozdělení.



Obr. 42 Pravděpodobnostní graf pro test normality obsahu prvku Cr z nástrojárny – výstup ze softwaru Minitab

Vzhledem ke splnění předpokladu normality bude pro další vyhodnocení použit aritmetický průměr a uplatněny parametrické metody, jak je znázorněno na obr. 43.

Průměrná hodnota obsahu Cr činí 5,096 %, směrodatná odchylka 0,2409 %, což svědčí o poměrně nízké variabilitě naměřených hodnot. Naměřené hodnoty se pohybovaly v intervalu 4,70 % až 5,55 %. Z 95% intervalu spolehlivosti pro průměr (4,9237 % až 5,2683 %) vyplývá, že skutečný průměr obsahu Cr leží s 95% jistotou právě v tomto rozmezí. V boxplotu nebyly identifikovány žádné odlehlé hodnoty, což dále potvrzuje homogenitu sledovaného souboru.



Obr. 43 Souhrnná statistická analýza obsahu Cr z nástrojárny – výstup ze softwaru Minitab

Stejným postupem jako v případě Cr byly vyhodnoceny i ostatní legující prvky Mn, Mo a V, včetně posouzení jejich shody s referenčními hodnotami oceli 19 552. Výsledky ostatních sledovaných prvků jsou uvedeny v Příloze A. Souhrnné výsledky těchto analýz jsou přehledně zobrazeny v tab. 7.

Veškeré měřené vzorky legujících prvků Cr, Mn, Mo a V z třísek odebraných v nástrojárně splňují předpoklad normálního rozdělení. Jednovýběrový t-test prokázal, že průměry Cr (5 %) a Mn (0,35 %) se statisticky neliší od referenčních středů uvedených v normě oceli 19 552, což potvrzuje jejich shodu s normou. Naměřené hodnoty Mo (1,20 % až 1,33 %) spadají s 95% intervalem spolehlivosti pro průměr (1,24 % až 1,3 %) do normovaného intervalu 1,1 % až 1,6 % stanoveného pro ocel 19 552. U prvku V lze s 95% intervalem spolehlivosti pro průměr stanovit, že se pohybují v rozmezí 0,486 % až 0,628 %, což lehce převyšuje normované rozmezí oceli 19 552 (0,35 % až 0,6 %). Jelikož naměřené hodnoty V překračují horní mez normovaného intervalu pouze o necelé 3 setiny procenta, lze tuto odchylku částečně přičíst možné chybě měření. Navíc se jedná o prvek, jehož obsah není pro zpracovatele klíčový, a proto tato odchylka nemá zásadní význam z praktického hlediska. Nízké směrodatné odchylky a úzká rozpětí ostatních prvků svědčí o celkové homogenitě materiálu. I přes lehce zvýšený obsah V můžeme s velkou pravděpodobností potvrdit, že se jedná o ocel 19 552.

Tab. 7 Přehled výsledků vyhodnocení legujících prvků Cr, Mn, Mo a V u oceli z nástrojárny

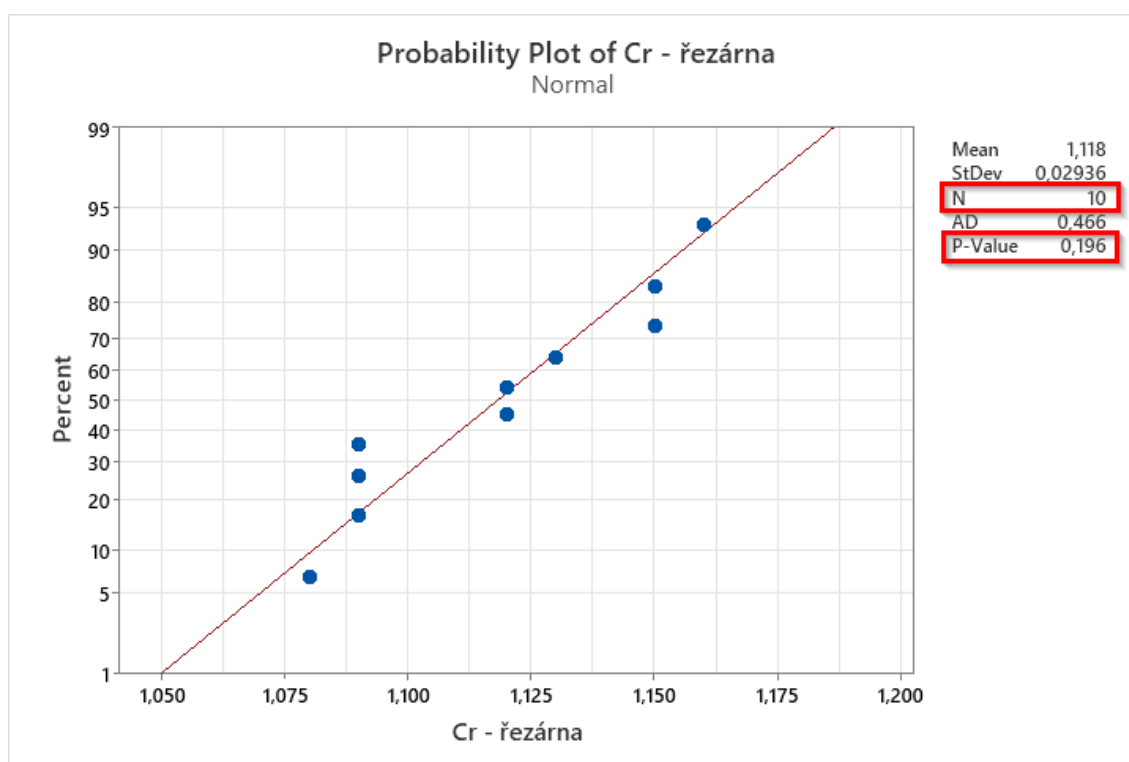
Prvek	p-hodnota (A-D test)	Arit. průměr	Směrodatná odchylka	95% interval spolehlivosti pro průměr	Min. hodnota	Max. hodnota	Ocel 19 552
Cr	0,957	5,096 %	0,2409 %	4,9237 - 5,2683 %	4,70 %	5,55 %	4,5 - 5,5 %
Mn	0,207	0,383 %	0,0542 %	0,3443 - 0,4218 %	0,26 %	0,45 %	0,2 - 0,5 %
Mo	0,897	1,271 %	0,0418 %	1,2411 - 1,3001 %	1,20 %	1,33 %	1,1 - 1,6 %
V	0,470	0,557 %	0,0996 %	0,4858 - 0,6282 %	0,44 %	0,72 %	0,35 - 0,6 %

Poznámka: Zeleně zvýrazněné buňky ve sloupci „p-hodnota (A-D test)“ označují prvky, u kterých byla splněna podmínka normality rozdělení ($p \geq 0,05$). Ve sloupci „19 552“, bylo zkoumáno, zda hodnoty odpovídají oceli 19 552, zelené buňky označují případy, kdy byla potvrzena shoda.

Řezárna

V řezárně vznikají třísky při dělení materiálu pásovými a kotoučovými pilami, přičemž se zde zpracovávají výhradně oceli ze skupin I-3 a I-8. V době odběru vzorků byla podle výrobního plánu zpracovávána ocel 25CrMoS4 (dle normy EN). Díky sériové výrobě a výrobnímu plánu je možné přesně určit konkrétní druh i množství zpracovávané oceli s předstihem několika dní. Bude vyhodnocována homogenita materiálu a jeho shoda s požadavky odpovídajícími normovaným hodnotám oceli 25CrMoS4. U analyzovaných 10 vzorků třísek byly stanoveny obsahy legujících prvků Cr, Mn a Mo.

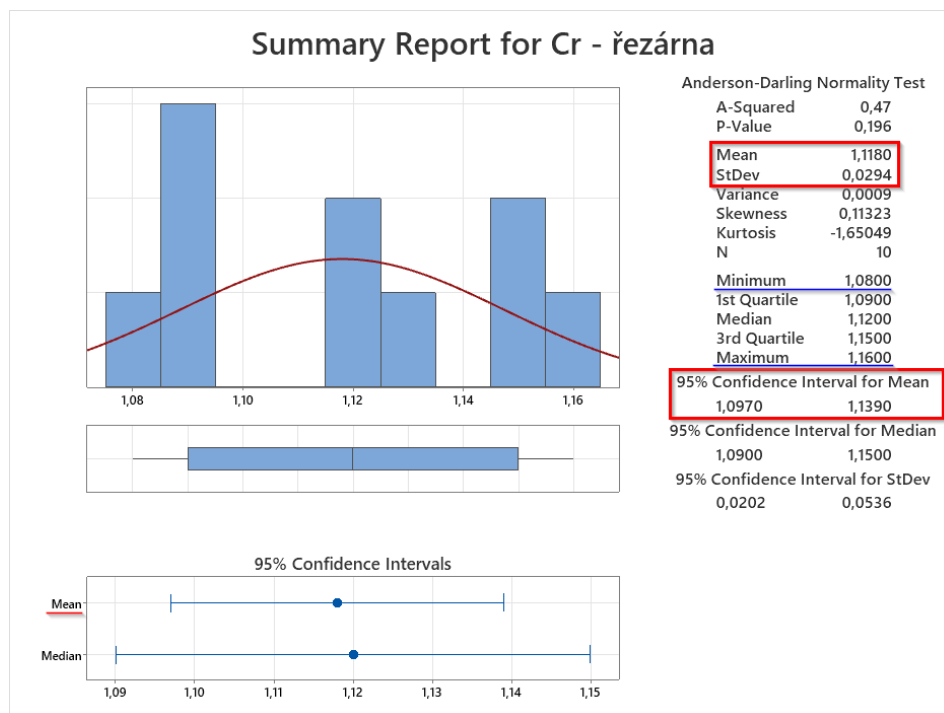
Z obr. 44 je patrné, že na základě Anderson-Darlingova testu ($p = 0,196$) nelze na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ zamítnout nulovou hypotézu o normalitě rozdělení obsahu Cr v analyzované oceli. Naměřené hodnoty se navíc nacházejí v těsné blízkosti referenční přímky normality, což vizuálně podporuje tvrzení, že data odpovídají normálnímu rozdělení.



Obr. 44 Pravděpodobnostní graf pro test normality obsahu prvku Cr z řezárny – výstup ze softwaru Minitab

Vzhledem k tomu, že data splňují předpoklad normálního rozdělení, bude pro další vyhodnocení použit aritmetický průměr a uplatněny parametrické metody, jak je znázorněno na obr. 45.

Průměrná hodnota obsahu Cr činí 1,118 %, směrodatná odchylka 0,0294 %, což svědčí o velmi nízké variabilitě naměřených hodnot. Naměřené hodnoty se pohybovaly v intervalu 1,08 % až 1,16 %. Z 95% intervalu spolehlivosti pro průměr (1,097 % až 1,139 %) vyplývá, že skutečný průměr obsahu Cr leží s 95% jistotou právě v tomto rozmezí. V boxplotu nebyly identifikovány žádné odlehlé hodnoty, což dále potvrzuje homogenitu sledovaného souboru.



Obr. 45 Souhrnná statistická analýza obsahu Cr z řezárny – výstup ze softwaru Minitab

Stejným postupem jako u Cr byl vyhodnocen také Mn a jeho shoda s referenčními hodnotami oceli 25CrMoS4. Naproti tomu data pro obsah Mo v řezárně nesplňují předpoklad normality Anderson-Darlingova testu, takže k ověření hypotézy o mediánu byla použita neparametrická Wilcoxonova metoda. Test odhadl medián obsahu Mo na 0,19 %, přičemž jeho 95% mediánový interval spolehlivosti činí 0,185 % až 0,19 %, jak je znázorněno na obr. 46.

Wilcoxon Signed Rank CI: Mo - řezárna

Method

η : median of Mo - řezárna

Descriptive Statistics

Sample	N	Median	CI for η	Achieved Confidence
Mo - řezárna	10	0,19	(0,185; 0,19)	95,00%

Obr. 46 Neparametrický Wilcoxonův test pro obsah Mo v oceli z řezárny – výstup ze softwaru Minitab

Přehledné výsledky vyhodnocení legujících prvků Cr, Mn a Mo v třískách z řezárny jsou souhrnně uvedeny v následující tab. 8. Doplnující výsledky týkající se Mn a Mo jsou uvedeny v Příloze A.

Veškerá data legujících prvků Cr, Mn a Mo z třísek odebraných v řezárně splňují předpoklad normálního rozdělení kromě Mo. U něj však naměřené hodnoty s 95% intervalem spolehlivosti pro medián leží v rozmezí 0,185 % až 0,19 %. Zůstávají tedy plně v povoleném rozmezí 0,15 % až 0,3 % podle normy oceli 25CrMoS4.

Veškeré naměřené koncentrace s 95% intervalem spolehlivosti pro průměr leží u Cr v rozmezí 1,097 % až 1,139 % a u Mn v rozmezí 0,72 % až 0,76 %. Oba tyto prvky se statisticky neliší od referenčního rozmezí normy, což potvrzuje jeho shodu s ocelí 25CrMoS4.

Nízké směrodatné odchylky (0,029 % pro Cr, 0,030 % pro Mn, 0,005 % pro Mo) a úzké rozpětí hodnot svědčí o vysoké homogenitě materiálu. Vzhledem k vyhodnocení vzorků lze s vysokou pravděpodobností určit, že se jedná o ocel 25CrMoS4.

Tab. 8 Přehled výsledků vyhodnocení legujících prvků Cr, Mn a Mo u oceli z řezárny

Prvek	p-hodnota (A-D test)	Arit. průměr	Medián	Směrodatná odchylka	95% interval spolehlivosti pro průměr	95% interval spolehlivosti pro medián	Min. hodnota	Max. hodnota	Ocel 25CrMoS4
Cr	0,196	1,118 %	-	0,02940 %	1,0970 - 1,1390 %	-	1,08 %	1,16 %	0,9 - 1,2 %
Mn	0,699	0,741 %	-	0,02961 %	0,7198 - 0,7622 %	-	0,70 %	0,79 %	0,6 - 0,9 %
Mo	<0,005	-	0,19 %	0,00483 %	-	0,185 - 0,190 %	0,18 %	0,19 %	0,15 - 0,3 %

Poznámka: Zeleně zvýrazněné buňky ve sloupci „p-hodnota (A-D test)“ označují prvky, u kterých byla splněna podmínka normality rozdělení ($p \geq 0,05$). Červeně označené buňky značí prvky, které podmínku normality nesplňují ($p < 0,05$). Ve sloupci „25CrMoS4“, bylo zkoumáno, zda hodnoty odpovídají oceli 25CrMoS4, zelené buňky označují případy, kdy byla potvrzena shoda.

Zhodnocení výsledků měření chemického složení

Provedená měření chemického složení třísek prokázala, že v provozech nástrojárny a řezárny je dosažení homogenního složení třísek teoreticky i prakticky možné. V případě obrobny však byla potvrzena výrazná heterogenita složení, což ukazuje na přimíchání ocelí ze skupin z tab. 4. Tab. 9 shrnuje rozmezí koncentrací legujících prvků, ve kterých se s 95% spolehlivostí nachází chemické složení třísek z jednotlivých pracovišť. Tyto informace mohou sloužit jako podklad pro slévárenské provozy, které tak získají přehled o složení vstupní suroviny a mohou přesněji určit, s jakým typem oceli a jakými legurami pracují.

Tab. 9 Rozmezí chemického složení třísek podle pracovišť a shoda s normovanými ocelmi

	Očekávané rozmezí chemického složení podle jednotlivých prvků					Shoda s normovanou ocelí
	Cr	Mn	Mo	V	Ni	ČSN/EN
Obrobna	0,22 - 0,59 %	0,71 - 0,79 %	0 %	-	0,20 - 0,37 %	25CrMoS4
Nástrojárna	4,92 - 5,27 %	0,34 - 0,42 %	1,24 - 1,30 %	0,49 - 0,63 %	-	19 552
Řezárna	1,10 - 1,14 %	0,72 - 0,76 %	0,185 - 0,19 %	-	-	25CrMoS4

Pozn.: Zeleně zvýraznění označuje shodu s normovanou ocelí, červeně naopak poukazuje na zjištěnou neshodu. Šedě zvýrazněný prvek Ni nepředstavuje normou stanovené rozmezí.

Z ekonomického pohledu lze za významné považovat zejména potvrzení přítomnosti dražších legur z nástrojárny, jako je právě Mo, jehož obsah přispívá k vyšší tržní hodnotě separovaných třísek. Za předpokladu průměrného obsahu 1,271 % Mo a burzovní ceny

přibližně 1100 Kč/kg (Q1 2025),⁶ lze při zpětném využití třísek v hutních provozech snížit náklady na legování oceli o zhruba 14 Kč na kilogram. Obsah tohoto prvku odpovídá přibližně dvojnásobku běžné výkupní ceny kvalitního ocelového šrotu, a tedy významně zvyšuje ekonomickou hodnotu separovaných třísek.

Celkově lze konstatovat, že důsledná separace třísek dle chemického složení přímo na stanovených pracovištích je nejen technologicky proveditelná, ale přináší i ekonomický benefit v podobě vyšší přidané hodnoty odpadu a možnosti přímého prodeje hutním provozům.

3.2.3 Stanovení vlhkosti třísek

Stanovení vlhkosti třísek představuje důležitý parametr pro návrh vhodné předúpravy materiálu (např. odstředění), posouzení kvality výsledných briket a také pro odhad očekávaného množství separované rezné kapaliny. Výsledky měření vlhkosti tak přímo ovlivňují technologicko-ekonomické rozhodování v návrhu celého systému.

Vzorky byly odebrány ze 3 stanovišť, kde jsou při obrábění používány vodou ředitelné emulze, konkrétně z nástrojárny, obrobny a části řezárny (dále označováno jako řezárna-emulze). Z každého stanoviště bylo odebráno 5 samostatných vzorků, aby bylo možné provést základní statistické vyhodnocení. Teplota 105 °C byla zvolena tak, aby došlo k odpaření vody z emulze, avšak bez rizika odparu olejové složky.

Použité vybavení

- laboratorní sušárna,
- analytická váha s přesností $\pm 0,001$ g,
- kovové vysoušecí misky,
- exsikátor (nádoba, která slouží k bezpečnému ochlazování vzorků po sušení bez rizika navlhnutí z okolního vzduchu).

Postup měření vlhkosti:

Kovové vysoušecí misky (viz obr. 47) byly před samotným vážením předsušeny v laboratorní sušárně na teplotu 105 ± 2 °C po dobu 30 minut. Do každé misky bylo poté naváženo přibližně 40 g daného vzorku. Následně byly misky se vzorky sušeny v peci při teplotě 105 ± 2 °C po dobu 4 hodin, aby bylo zajištěno úplné odstranění vodní složky. Po ukončení sušení byly misky vloženy do exsikátoru a ponechány zde po dobu přibližně 24 hodin, aby došlo k ochlazení vzorků bez rizika opětovného navlhnutí z atmosférické vlhkosti [98]. Fotodokumentace jednotlivých odebraných vzorků jsou uvedena na obr. 47 a obr. 48.

⁶ FOCUSECONOMICS. *Molybdenum Prices*. Online. Focus-economics.com. [2025]. Dostupné z: <https://www.focus-economics.com/commodities/basemetals/molybdenum/#:~:text=Molybdenum%20prices%20averaged%20USD%2044%2C609,from%2031%20March.> [cit. 2025-05-16].



Obr. 47 Odebrané vzorky připravené k měření



Obr. 48 Vážení vzorku z nástrojárny po vysušení

Po vychladnutí následovalo opětovné vážení, přičemž rozdíl hmotnosti před a po sušení byl přisuzován obsahu vody ve vzorku. Obsah vlhkosti ve vzorcích byl spočítán dle následujícího vztahu:

$$x_{H_2O} = \frac{\Delta m}{m_{vlhká}} \times 100 \quad (1)$$

kde:

- Δm je úbytek hmotnosti vzorku po vysušení [g],
- $m_{vlhká}$ je hmotnost vzorku v původním vlhkém stavu [g],
- x_{H_2O} je obsah vody [%].

Výsledky jednotlivých měření jsou shrnuty v tab. 10, tab. 11 a tab. 12. Názorné porovnání je zobrazeno formou boxplotu na obr. 49. Z dat vyplývá, že:

- **Obrobna** vykazuje rozpětí hodnot od 1,857 % (vzorek č. 1) do 2,722 % (vzorek č. 3), což je nejnižší ze všech stanovišť. Výsledky všech 5 měření byly zprůměrovány, přičemž aritmetický průměr vlhkosti činí 2,418 %.
- **Nástrojárna** vykazuje rozpětí hodnot od 3,487 % (vzorek č. 1) do 4,180 % (vzorek č. 5). Aritmetický průměr všech 5 vzorků činí 3,820 % vlhkosti.
- **Řezárna-emulze** vykazuje rozpětí hodnot od 5,102 % (vzorek č. 5) do 6,790 % (vzorek č. 4), což je naopak nejvyšší ze všech stanovišť. Výsledky všech pěti měření byly zprůměrovány, přičemž aritmetický průměr vlhkosti činí 5,499 %.

Boxplot na obr. 49 názorně ilustruje nejen rozdíly v průměrných hodnotách vlhkosti, ale také míru variability u jednotlivých stanovišť. Největší rozptyl hodnot byl zaznamenán u řezárny, což potvrzuje i vizuální šířka boxu. Naopak obrobna vykazuje relativně stabilní výsledky s nízkým rozptylem.

Tab. 10 Naměřené hodnoty vlhkosti ocelových třísek z obrobny.

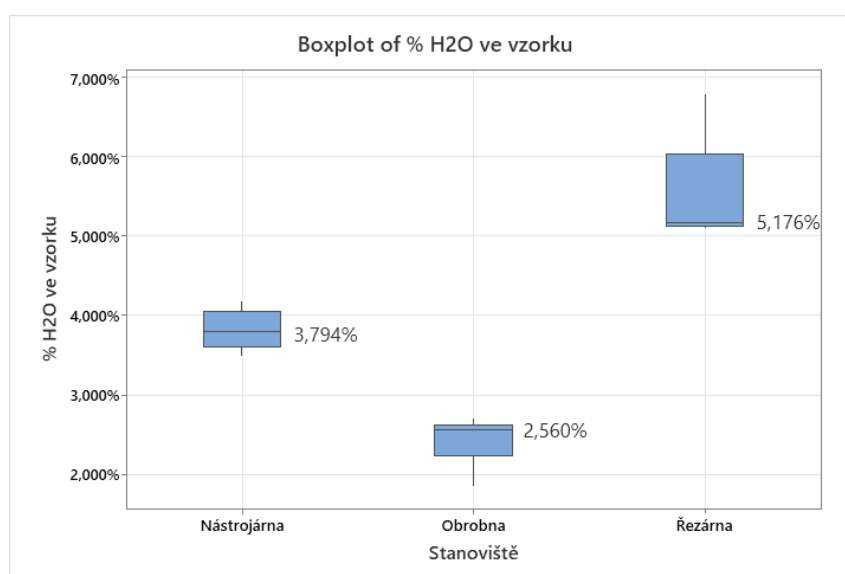
Obrobna				
Vzorek	Hmotnost nádoby [g]	Vzorek před vysušením [g]	Vzorek po vysušení [g]	% H ₂ O ve vzorku
1	12,119	40,008	39,265	1,857 %
2	12,384	40,005	39,062	2,357 %
3	12,279	40,008	38,919	2,722 %
4	12,205	40,006	38,982	2,560 %
5	12,196	40,007	38,970	2,592 %
Aritmetický průměr				2,418 %

Tab. 11 Naměřené hodnoty vlhkosti ocelových třísek z nástrojárny.

Nástrojárna				
Vzorek	Hmotnost nádoby [g]	Vzorek před vysušením [g]	Vzorek po vysušení [g]	% H ₂ O ve vzorku
1	17,377	40,007	38,612	3,487 %
2	17,409	40,006	38,488	3,794 %
3	17,374	40,007	38,438	3,922 %
4	17,328	40,002	38,516	3,715 %
5	17,380	40,004	38,332	4,180 %
Aritmetický průměr				3,820 %

Tab. 12 Naměřené hodnoty vlhkosti ocelových třísek z řezárny s vodou ředitelnou emulzí.

Řezárna-emulze				
Vzorek	Hmotnost nádoby [g]	Vzorek před vysušením [g]	Vzorek po vysušení [g]	% H ₂ O ve vzorku
1	17,352	40,009	37,951	5,144 %
2	17,457	40,009	37,938	5,176 %
3	17,406	40,010	37,896	5,284 %
4	17,451	40,002	37,286	6,790 %
5	17,387	40,000	37,959	5,102 %
Aritmetický průměr				5,499 %



Obr. 49 Srovnání obsahu vlhkosti ve vzorcích ocelových třísek z nástrojárny, obrobny a řezárny vyjádřené pomocí boxplotu. Graf znázorňuje rozptyl, medián a směrodatnou odchylku naměřených hodnot.

Zhodnocení výsledků

Z výsledků měření vyplývá, že nejnižší obsah vlhkosti byl zaznamenán u vzorků z obrobny, což lze přičíst důsledně prováděné primární a sekundární separaci řezné kapaliny a dodržování interních pracovních postupů. Naopak nejvyšší hodnoty vlhkosti byly zjištěny u vzorků z řezárny, kde zřejmě není separace řezné kapaliny tak účinná. Výsledky mohou být dále ovlivněny i morfologií třísek, zejména jejich tvarem a kompaktností. Vzorky z řezárny navíc vykazovaly nejvyšší rozptyl naměřených hodnot, což může souviset s vyšší variabilitou pracovních podmínek nebo méně standardizovaným přístupem k manipulaci s odpadem. Je však nutné podotknout, že rozptyl byl výrazně ovlivněn přítomností jedné odlehlé hodnoty, jak je patrné i z grafu (viz obr. 49). Podobná situace byla pozorována i u obrobny. Z tohoto důvodu by pro obě uvedená pracoviště bylo vhodné provést doplňující analýzy na rozšířeném souboru vzorků, které by umožnily přesnější zhodnocení jejich homogenity a spolehlivější interpretaci výsledků.

Na základě výsledků měření lze doporučit důslednější implementaci postupů pro separaci řezné kapaliny v řezárně, např. zavedením delšího dekantačního času. Tyto poznatky je vhodné zohlednit při návrhu zařízení pro předúpravu, zejména při dimenzování případné odstředivky.

3.2.4 Stanovení zbytků oleje u třísek

Obsah zbytkových olejů na třískách představuje důležitý parametr zejména z hlediska environmentálních a technologických požadavků. Přítomná kontaminace oleji je nežádoucí především při hutním zpracování, kde může docházet ke zvýšené tvorbě kouře, pění kovu, případně i k výbuchům. Tyto stavy vedou ke zvýšeným emisím a negativně ovlivňují pracovní prostředí. Hutní provozy proto vyžadují minimalizaci obsahu olejových zbytků, ačkoli konkrétní maximální přípustné hodnoty nejsou vždy přesně stanoveny. Obvykle se provádí vizuální kontrola třísek, přičemž základním požadavkem je, aby z povrchu třísek neodkapával olej. Dle Nařízení Rady (EU) č. 333/2011 nesmí celkový obsah cizorodých příměsí, kam spadají i zbytky olejů, přesáhnout 2 % hmotnosti ocelového šrotu [99].

Zbytky olejů mají negativní vliv i během manipulace a zpracování, kde mohou způsobovat kontaminaci pracovního prostředí a zhoršovat soudržnost briket. Výsledky měření obsahu oleje budou proto důležité pro návrh technologického řešení a ekonomického zhodnocení procesu, včetně posouzení nutnosti případné předúpravy třísek.

Reprezentativní vzorky pro měření byly odebrány pouze z řezárny, kde se na třech pilách pracuje s minerálními oleji (dále označováno jako řezárna-olej). Ze stanoviště bylo odebráno 5 samostatných vzorků za účelem základního statistického vyhodnocení.

Experimentální stanovení obsahu oleje metodou gravimetrické extrakce

Stanovení obsahu oleje na třískách bylo provedeno gravimetrickou extrakční metodou [100] založenou na vyluhování olejových složek nepolárním organickým rozpouštědlem a následném gravimetrickém stanovení extrahovaného zbytku. Jako extrakční činidlo byl použit technický hexan, který efektivně rozpouští minerální oleje a zároveň umožňuje snadné odstranění díky nízkému bodu varu (69 °C).⁷

⁷ Wikipedia: Otevřená encyklopedie. Hexan [online]. Wikipedia Foundation, 2024 [cit. 2025-04-06]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Hexan>

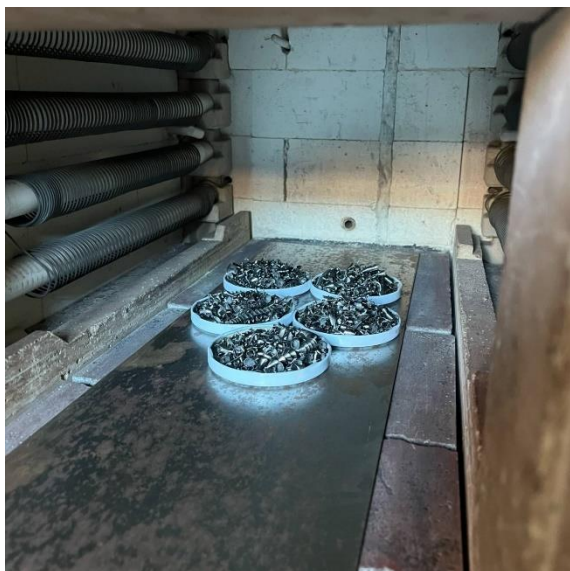
Metodika byla navržena na základě standardního principu Soxhletovy extrakce (dle EPA Method 9071B), avšak z důvodu nedostupnosti potřebného laboratorního vybavení (především soxhletova extraktor [101]) byla provedena modifikace postupu, statická extrakce za laboratorní teploty (cca 22 °C) [100].

Použité vybavení

- laboratorní sušárna,
- analytická váha s přesností $\pm 0,001$ g,
- laboratorní skleněné kádinky,
- technický hexan (nepolární rozpouštědlo),
- kovové vysoušecí misky,
- jemné síto,
- exsikátor.

Postup měření

Reprezentativní vzorky třísek byly odebrány a naváženy do předsušených a zvážených kovových misek po přibližně 40 g. Ke každému vzorku byl přidán hexan v hmotnostním poměru přibližně 5:1 (5 dílů hexanu na 1 díl třísek). Směs byla ponechána v uzavřené nádobě při laboratorní teplotě (cca 22 °C) po dobu 60 minut s občasným manuálním promícháváním. Po uplynutí extrakční doby byla směs přefiltrována přes jemné síto za účelem oddělení třísek od roztoku obsahujícího extrahovaný olej. Zbylé třísky byly následně přeneseny do předsušených a zvážených kovových nádob. Zbytky hexanu byly odpařeny za mírného zahřívání ve větraném prostoru s digestoří při teplotě cca 60 °C až 70 °C. Po úplném odpaření a vychladnutí v exsikátoru byly kovové nádoby s čistými odolejovanými třískami zváženy. Fotodokumentace jednotlivých odebraných vzorků jsou uvedena na obr. 50 a obr. 51.



Obr. 50 Odebrané vzorky z řezárna-olej při sušení



Obr. 51 Vážení vzorku z řezárna-olej po vysušení

Obsah zbytkového oleje byl vypočítán podle vztahu:

$$x_{olej} = \left(1 - \frac{m_{třísek}}{m_{třísek+oleje}}\right) \times 100 \quad (2)$$

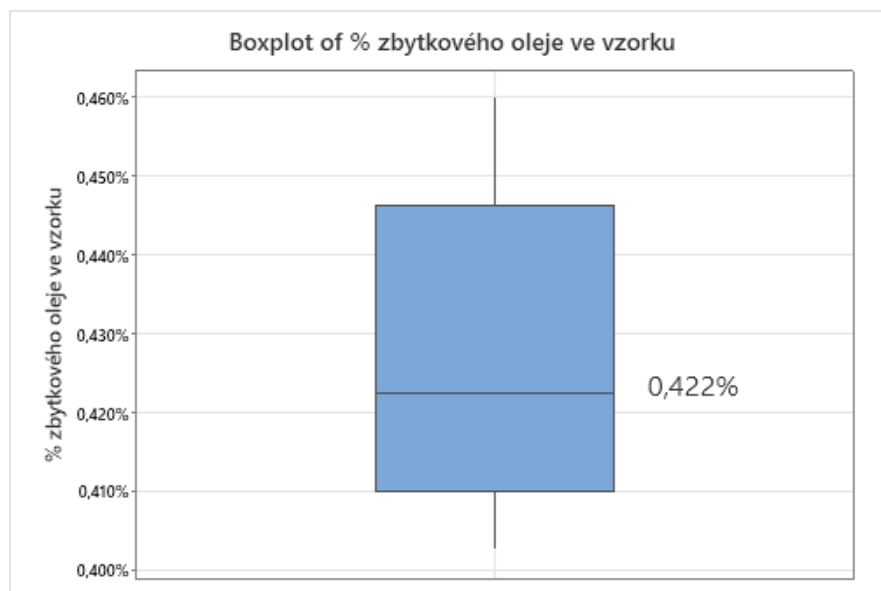
kde:

- $m_{třísek+oleje}$ je hmotnost mokrých třísek s olejem před extrakcí [g],
- $m_{třísek}$ je hmotnost suchých čistých třísek bez olejů [g],
- x_{olej} je obsah olejové složky [%].

Výsledky všech měření z řezárna-olej jsou zobrazeny v tab. 13 níže. Hodnoty měření vykazují rozptyl 0,418 % až 0,460 %, přičemž medián hodnot vykazuje hodnotu 0,422 % a aritmetický průměr 0,427 % olejové složky z celkové hmotnosti. Tyto hodnoty znázorňuje boxplot na obr. 52.

Tab. 13 Naměřené hodnoty obsahu olejové složky v ocelových třískách z řezárny s minerálním olejem za druhé varianty s úbytkem oleje na třískách.

Řezárna-olej				
Vzorek	Hmotnost nádoby [g]	Vzorek před vysušením [g]	Vzorek po vysušení [g]	% zbytkového oleje ve vzorku
1	11,481	40,001	39,817	0,460 %
2	11,495	40,000	39,833	0,418 %
3	11,344	40,007	39,834	0,432 %
4	11,308	40,003	39,842	0,402 %
5	11,212	40,005	39,836	0,422 %
Aritmetický průměr				0,427 %



Obr. 52 Boxplot znázorňující rozptyl, medián a směrodatnou odchylku obsahu olejové složky naměřených hodnot z řezárna-olej

Zhodnocení výsledků

Na základě provedeného experimentálního měření bylo zjištěno, že žádný ze vzorků třísek odebraných ze stanoviště řezárna-olej nepřesáhl obsah olejových zbytků 2 % hmotnosti, medián naměřených hodnot činí 0,422 %. Takto nízká hodnota by neměla představovat významné riziko při hutním zpracování, kde přítomnost nadměrného množství oleje běžně způsobuje tvorbu zplodin, pění taveniny či riziko výbuchu. Výsledky zároveň potvrzují splnění podmínek stanovených v Nařízení Rady (EU) č. 333/2011, které stanovuje maximální limit cizorodých příměsí, včetně olejů, ve výši 2 % hmotnosti. Třísky z daného pracoviště tak splňují podmínky pro využití mimo režim odpadového hospodářství.

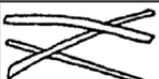
Za dosaženou nízkou hodnotou pravděpodobně stojí kombinace několika faktorů. Patří mezi ně zejména použitá technologie dělení materiálu, při níž dochází k nižší míře kontaminace olejem. Dále dobře nastavený systém odkapávání v přepravních vozících (viz kapitola 0) a skutečnost, že minerální olej na povrchu krátkých třísek méně ulpívá než u složitě tvarovaných dlouhých třísek.

3.2.5 Stanovení sypné hmotnosti třísek

Stanovení sypné hmotnosti třísek je důležitým parametrem pro návrh logistických a technologických procesů souvisejících se skladováním, manipulací a přepravou. Orientační stanovení sypné hmotnosti umožňuje optimalizaci velikosti kontejnerů, beden či skladovacích prostor. Umožňuje určit, o kolik se objem třísek redukuje za pomoci briketování. Na základě těchto údajů lze také odhadnout potřebné množství volně ložených třísek pro výrobu jedné brikety. Zároveň je možné vypočítat orientační počet naplněných beden, které vzniknou za dané období produkce.

Sypná hmotnost třísek se obecně pohybuje v širokém rozmezí, běžně udávaném mezi 100 kg/m³ až 600 kg/m³ [56]. Přičemž tato hodnota je silně ovlivněna tvarem a velikostí třísek. Na obr. 53 jsou znázorněny různé tvary třísek a odpovídající hodnoty objemového součinitele. Tento součinitel představuje poměr mezi objemem volně ložených třísek a objemem původního hutného materiálu [102].

Vzhledem k velkým rozdílům v hodnotách sypné hmotnosti byl proveden jednoduchý experiment, při kterém byla sypná hmotnost třísek stanovena podle jednotlivých stanovišť a použité technologie. Pro účely experimentu bylo analyzováno celkem 5 reprezentativních vzorků. Zjištěné hodnoty budou využity pro technologicko-ekonomický návrh linky a optimalizaci návrhu manipulace s trískami.

TVAR TŘÍSEK		W	TVAR TŘÍSEK		W
	STUŽKOVÉ DLOUHÉ	400 a více		SPIRÁLOVÉ PLOCHÉ	10 až 20
	STUŽKOVÉ SMOTANÉ	300 až 400		OBLOUKOVITÉ SPOJENÉ	8 až 10
	VINUTÉ DLOUHÉ	80 až 150		ELEMENTÁRNÍ	4 až 6
	VINUTÉ KRÁTKÉ	40 až 60			

Obr. 53 Objemová hmotnost třísek podle jejich tvaru [102]

Experimentální ověření sypné hmotnosti ocelových třísek

Pro stanovení veličiny sypná hmotnost třísek bylo provedeno jednoduché měření za pomoci přesně stanoveného objemu nádoby a váhy. Ke každému pracovišti byl změřen pouze jeden vzorek. Při tomto měření je třeba počítat s určitými nepřesnostmi, např. při zarovnávání „hladiny“ materiálu nebo při určování objemu u dlouhých spletených třísek stužkovitého charakteru, jejichž tvar ztěžuje odhad ve srovnání s krátkými elementárními třískami.

Použité vybavení

- Nádoba s přesným objemem, pro krátké třísky 2,5 dm³ a pro dlouhé třísky 8 dm³,
- Digitální (kuchyňská) váha s přesností ± 1 g.

Postup měření

Pro měření sypné hmotnosti byla použita plastová nádoba o známém objemu. Nejprve byla stanovena hmotnost použité plastové nádoby. Nádoba byla volně naplněna materiálem z jednotlivých stanovišť bez stlačování nebo hutnění, aby bylo dosaženo přirozeného sypného stavu. Poté byla zvážena hmotnost naplněné nádoby a odečtena hmotnost prázdné nádoby. Sypná hmotnost byla vypočítána podle vztahu:

$$\rho_{syp} = \frac{m_{třísek}}{V_{nádob}} \quad (3)$$

kde:

- $m_{třísek}$ je hmotnost sypných třísek [kg],
- $V_{nádob}$ je objem nádoby [m³],
- ρ_{syp} je sypná hmotnost [kg/m³].

Fotodokumentace jednotlivých odebraných vzorků jsou uvedeny na obr. 54 a obr. 55.



Obr. 54 Přehled měřených vzorků pro sypnou hmotnost



Obr. 55 Ukázka měření sypné hmotnosti

Výsledky měření zobrazuje tab. 14. Pro účely návrhu technologického zpracování budou použity průměrné hodnoty sypné hmotnosti jednotlivých stanovišť, vypočítané jako aritmetický průměr na základě poměrného zastoupení krátkých a dlouhých třísek popsáno v kapitole 3.2.1. Tento přehled průměrných hodnot znázorňuje tab. 15.

Tab. 14 Výsledky měření sypné hmotnosti

Vzorek	Obrobna-krátké	Obrobna-dlouhé	Řezárna	Nástrojárna-krátké	Nástrojárna-dlouhé
Sypná hmotnost [kg/m ³]	556,0	101,1	379,6	601,6	126,4

Tab. 15 Průměrné hodnoty sypné hmotnosti z jednotlivých stanovišť

Stanoviště	Obrobna	Nástrojárna	Řezárna
Průměrná sypná hmotnost [kg/m ³]	337,7	535,1	379,6

Zhodnocení výsledků

Naměřené hodnoty potvrdily výrazné rozdíly v sypné hmotnosti v závislosti na tvaru třísek i jejich původu. Nejvyšší sypnou hmotnost vykazují krátké třísky z nástrojárny (601,6 kg/m³), zatímco nejnižší hodnoty byly zaznamenány u dlouhých spletených třísek z obrobny (101,1 kg/m³). Tento rozdíl je způsoben především rozdílným tvarem třísek, krátké třísky jsou kompaktnější a lépe vyplňují objem nádoby, zatímco dlouhé spirálovité třísky vytvářejí velké množství mezer, a tím snižují efektivní objemový podíl kovu.

Průměrné hodnoty sypné hmotnosti mezi stanovišti se pohybovaly v rozmezí od 337,7 kg/m³ (obrobna) po 535,1 kg/m³ (nástrojárna), což odpovídá běžně udávanému intervalu pro ocelové třísky 100 kg/m³ až 600 kg/m³. Naměřená hodnota na řezárně (379,6 kg/m³) rovněž spadá do středního rozsahu a odpovídá charakteru krátkých třísek vznikajících při dělení materiálu pilou.

Zjištěné rozdíly je nutné zohlednit při návrhu velikosti kontejnerů, četnosti svozu i při ekonomickém výpočtu návratnosti briketovací linky. Zejména u dlouhých třísek je vhodné před samotným briketováním zařadit vhodnou předúpravu, např. drcení.

3.3 Návrh technologie pro zpracování třísek

Tato kapitola se zabývá návrhem technologického řešení pro zpracování třísek do formy briket. Volba briketovací technologie vychází ze specifík tohoto typu odpadu. Třísky mají nízkou sypnou hmotnost, nepravidelný tvar a často bývají kontaminovány řeznými kapalinami, což výrazně ztěžuje jejich manipulaci, skladování i následné materiálové využití. Kompaktní forma briket usnadňuje manipulaci, snižuje objem odpadu a zároveň omezuje povrch vystavený oxidaci. Peletizace se v tomto případě neukazuje jako vhodná, neboť není běžně používána u KO a není schopna zajistit potřebnou soudržnost bez přídavných pojiv. Paketování by sice vedlo ke kompaktnímu tvaru, avšak bez dostatečného prolisování by mohlo docházet k zachování zbytkových kapalin uvnitř materiálu. Návrh tedy vychází z experimentálních poznatků uvedených v kapitole 3.2 a zohledňuje vlastnosti třísek z jednotlivých pracovišť s cílem navrhnout technologii, která bude provozně a ekonomicky realizovatelná a přispěje k efektivnímu nakládání s tímto typem odpadu v podmínkách daného výrobního podniku.

3.3.1 Vstupní předpoklady pro návrh briketovací linky

Na základě roční bilance produkováných třísek v podniku, uvedené v kapitole 3.2.1, činí celkový objem vzniklého materiálu za sledované období přibližně 1124 t. Tato hodnota představuje výchozí údaj pro dimenzování navrhované výrobní linky. Z materiálové bilance zároveň vyplývá, že podíl krátkých třísek tvoří přibližně 62,8 % celkové produkce, zatímco dlouhé třísky představují zhruba 37,2 %. Jelikož se jedná o nezanedbatelné množství dlouhých třísek, které není vhodné pro přímé briketování, je zařazení třískové drtičky do výrobní linky opodstatněné a z hlediska provozu účelné.

Při analýze vzorků třísek nebyl technologem zjištěn výskyt kusových vměstků, které by mohly způsobit mechanické poškození zařízení nebo ucpání funkčních částí briketovacího lisu. Rovněž bylo potvrzeno, že v podniku se nezpracovávají jiné druhy kovových materiálů než ocel. Na základě tohoto zjištění lze vyvodit, že není nutné do navrhované linky zařazovat zařízení pro separaci neželezných nebo kusových kovů, jako jsou vibrační nebo magnetické třídiče.

Produkce řezných kapalin na briketovací lince

Na základě údajů z materiálové bilance a výsledků experimentálního stanovení vlhkosti a obsahu oleje (viz kapitola 3.2.3 a kapitola 3.2.4) lze stanovit očekávané množství separovaných řezných kapalin jako vedlejšího produktu při zpracování třísek. Společnost Briklis s.r.o. udává, že jejich briketovací zařízení dosahují výsledné vlhkosti briket nižší než 2 % hmotnosti [103]. V tab. 16 jsou uvedena teoreticky vypočtená množství oddělených řezných kapalin (vodou ředitelných emulzí a minerálních olejů) podle jednotlivých stanovišť.

Tab. 16 Teoretická roční produkce řezných kapalin

	Použitá řezná kapalina	% množství odseparované řezné kapaliny vzhledem k třískám při zpracování	Očekávané hmotnostní množství separované řezné kapaliny [kg]
Obrobná	Řezná emulze	0,418 %	3 028,2
Řezárna-emulze	Řezná emulze	3,499 %	1 399,6
Řezárna-olej	Minerální olej	0,000 %	0,0
Nástrojárna	Řezná emulze	1,820 %	5 460,0
Celkové množství řezných kapalin			9 887,8

Z výsledků měření vyplývá, že obsah olejových zbytků u stanoviště řezárna-olej je výrazně nižší než hodnota zbytkové vlhkosti udávaná výrobcem briketovacích zařízení. Za těchto podmínek nelze předpokládat, že by při briketování vznikalo množství řezné kapaliny, které by bylo možné separovat.

Možnost regenerace řezných kapalin je v tomto případě komplikována jejich různorodostí. Zejména v obrobně a nástrojárně se používá více typů vodou ředitelných emulzí, které se navíc v čase obměňují. V řezárně, kde se používají emulze a minerální oleje, jsou produkovány množství natolik nízké, že se z ekonomického hlediska nejeví jako smysluplné je samostatně zpracovávat. Tyto faktory představují především logistickou překážku pro další využití oddělených kapalin.

Z praktického hlediska tak bude nutné volit mezi dvěma přístupy, buď přímou likvidací prostřednictvím externí certifikované firmy, nebo zvážení pořízení menší odpadky pro redukci odpadu.

Separace třísek

Na základě praktických výsledků spektrometrické analýzy, popsané v kapitole 3.2.2, lze konstatovat, že separace třísek podle chemického složení je technicky proveditelná a pravděpodobně také ekonomicky výhodná. Za nejvhodnější pracoviště pro implementaci systému separovaného sběru třísek byla na základě provedené analýzy určena 2 pracoviště.

Prvním z nich je nástrojárna, kde bylo spektrálním měřením potvrzeno, že se zde zpracovává výhradně jeden druh oceli (19 552). Jedná se o legovanou ocel s vysokým obsahem legujících prvků, které mohou představovat větší ekonomickou hodnotu než běžné uhlíkové oceli. Tato hodnota bude detailněji rozebrána v kapitole 3.3.3, zaměřené na ekonomické vyhodnocení projektu.

Druhým vhodným pracovištěm je řezárna, která ačkoliv se na celkové produkci podílí menší měrou, disponuje vysokým potenciálem pro separaci díky stabilní výrobě a předem známým výrobním plánům. Materiály se zde často dělí ve větších sériích a často se pracuje se stejným materiálem pocházejícím ze stejné tavby. Jak vyplývá z tab. 4, v řezárně se výhradně zpracovávají oceli skupin I-3 a I-8, především oceli 25CrMo4, 42CrMo4 a 38MnVS6. Ačkoliv tyto oceli spadají do kategorie nízkolegovaných, jejich vysoká čistota a známé chemické složení z nich činí vhodný materiál pro další využití v hutních provozech, včetně sléváren. Spektrometrická analýza prokázala, že separace třísek z tohoto pracoviště je z ekonomického hlediska přínosná.

Na obrobně bylo na základě provedených měření zjištěno, že se zde běžně zpracovávají směsi uhlíkových a nízkolegovaných ocelí (skupiny I-1, I-2, I-3 a I-5), přičemž jejich spolehlivé oddělení není za běžných provozních podmínek možné. Chemické složení je v tomto případě značně variabilní, což ztěžuje možnost zaručit chemickou homogenitu potřebnou pro hutní využití. Na základě spektrometrického měření je však možné alespoň orientačně stanovit rozmezí koncentrací jednotlivých legujících i nežádoucích prvků. Tímto způsobem lze identifikovat potenciálně problematické složky, jako jsou olovo (Pb), rtuť (Hg), chrom (Cr) nebo měď (Cu), jejichž přítomnost může negativně ovlivnit následné zpracovatelské procesy.

Úspěšné zavedení systému separace třísek bude vyžadovat jasně definované postupy, důsledné značení materiálů již při jejich vzniku, pravidelné školení obsluhy strojů a operátorů, a také spolehlivě fungující logistiku, která zajistí oddělené nakládání, přepravu a skladování různých druhů třísek podle dané normy.

Objemová produkce třísek

Před samotným návrhem technologie briketovací linky je nezbytné provést analýzu objemové a hmotnostní produkce třísek v jednotlivých časových obdobích. Tato analýza umožní přesněji definovat požadavky na dopravu, manipulaci a skladování třísek. Návrh systému sběru bude vycházet z předpokladu, že místo zpracování třísek bude umístěno v dojezdové vzdálenosti do 1 km od místa jejich vzniku, a zároveň bude reflektovat současné provozní postupy a zvyklosti podniku.

Pro účely efektivního plánování logistiky je klíčové stanovit průměrnou produkci třísek v kratších časových intervalech. K tomu slouží dva hlavní ukazatele, hmotnostní produkce a objemová produkce. Oba tyto parametry jsou přehledně znázorněny v tab.17.

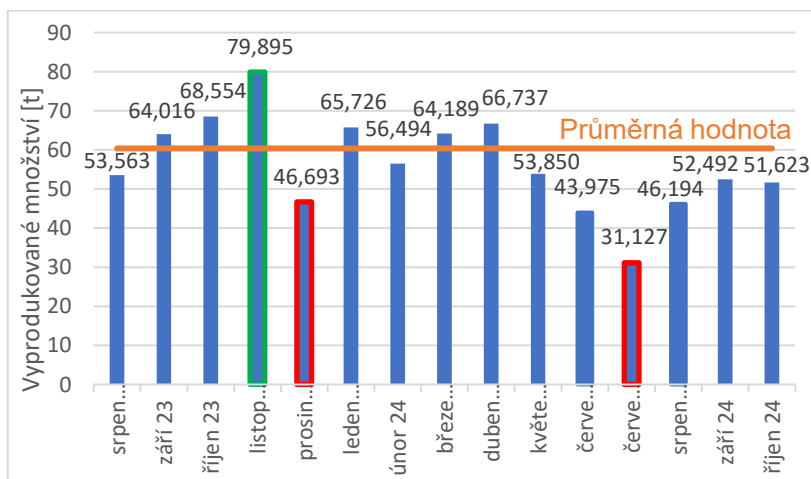
Tab. 17 Průměrná očekávaná produkce třísek podle časových intervalů

	ρ_{syp} [kg/m ³]	1 den		2 dny		3 dny		týden		měsíc		rok	
		m [kg]	V [m ³]	m [kg]	V [m ³]	m [kg]	V [m ³]	m [kg]	V [m ³]	m [kg]	V [m ³]	m [kg]	V [m ³]
Obrobná	319,5	1 984,8	6,2	3 969,6	12,4	5 954,4	18,6	13 891,7	43,5	60 370,8	189,0	724 450	2 267
Nástrojárna	535,1	821,9	1,5	1 643,8	3,1	2 465,8	4,6	5 752,6	10,8	25 000,0	46,7	300 000	561
Řezárna	379,6	274,0	0,7	547,9	1,4	821,9	2,2	1 917,5	5,1	8 333,3	22,0	100 000	263
Celkem	-	3 080,7	8,5	6 161,4	16,9	9 242,1	25,4	21 561,8	59,3	93 704,2	257,6	1 124 450	3 092

Opírat návrh systému manipulace a zpracování třísek pouze o průměrné hodnoty může vést ke zkresleným závěrům, jelikož reálný provoz je ovlivňován sezónními výkyvy a technologickými odchylkami. Tyto aspekty byly konzultovány v praxi a jsou rovněž doloženy na obr. 56. Tato variabilita musí být zohledněna již ve fázi návrhu technologie.

Z obrobny byly poskytnuty údaje o produkci třísek za období od srpna 2023 do října 2024. Na obr. 56 jsou patrné výrazné jednorázové poklesy produkce v měsících prosinec a červenec, kdy produkce klesla téměř na 31 t, což souvisí s plánovanými pracovními dovolenými a celozávodní odstávkou. Naopak nejvyšší produkce byla zaznamenána v listopadu, kdy dosáhla téměř 80 t, což představuje nárůst přibližně o 1/3 oproti průměrné měsíční hodnotě. Rozpětí mezi minimální a maximální měsíční produkcí činí necelých 49 t, což potvrzuje značné meziroční kolísání.

Pro přesnější dimenzování navrhovaného systému je tedy nezbytné přepočítat produkční data také na časové fondy a směnový režim provozu briketovací linky. Cílem těchto přepočtů je získat klíčové informace pro návrh reálné kapacity výrobní linky, včetně efektivního nastavení svozového systému a dimenzování potřebných skladovacích prostor.



Obr. 56 Měsíční produkce ocelových třísek za období srpen 2023 až říjen 2024

Stanovení časových fondů briketovací linky

Pro návrh výrobní kapacity briketovací linky je klíčové určit, kolik hodin ročně je stroj reálně v provozu. Efektivní (využitelný) časový fond stroje se definuje jako plánovaný roční časový fond po odečtení plánovaných prostojů (servis, údržba atd.). V našem případě spočítáme nejprve nominální časový fond a poté zohledníme 10% provozní ztráty. Následující výpočty vycházejí ze zdroje [104]. Jako vstupní údaje máme:

- 240 pracovních dní za rok (po odečtení víkendů, svátků a celozávodní dovolené)
- dvousměnný provoz
- 7 hodin efektivního využitelného času osmihodinové směny
- 10% provozní ztráty nominálního času (plánované prostoje)

Nominální časový fond (T_n):

$$T_n = D \times S \times h \quad (4)$$

$$T_n = 240 \times 2 \times 7 = 3360 \text{ hodin/rok} \quad (5)$$

kde:

- D počet pracovních dní,
- S počet směn,
- h počet efektivně využitelných pracovních hodin za jednu směnu.

Ztrátový čas (T_{ztr}):

$$T_{ztr} = T_n \times 0,10 = 3360 \times 0,10 = 336 \text{ h/rok} \quad (6)$$

Efektivní časový fond (T_{ef}):

$$T_{ef} = T_n - T_{ztr} = 3360 - 336 = 3024 \text{ h/rok} \quad (7)$$

Celkový efektivní časový fond stroje činí 3024 hodin za rok. Tato hodnota představuje reálný roční provozní čas stroje při daných parametrech. Znalost tohoto fondu je klíčová pro výpočet roční kapacity linky.

Očekávaná objemová produkce třísek

Po zohlednění časových fondů nám vychází podstatně přesnější očekávaná objemová produkce třísek, jež je zobrazena v tab. 18. Z této tabulky lze jednoduše odvodit minimální potřebnou kapacitu briketovací linky, kdy při reálném efektivním využití dvousměnného provozu získáme 13 hodin, což po přepočtu vychází na kapacitu stroje na 360,4 kg/h třísek.

Tab. 18 Očekávaná produkce třísek podle časových intervalů při započtení časových fondů

	ρ_{syp} [kg/m ³]	1 den		2 dny		3 dny		týden		měsíc		rok	
		m [kg]	V [m ³]	m [kg]	V [m ³]	m [kg]	V [m ³]	m [kg]	V [m ³]	m [kg]	V [m ³]	m [kg]	V [m ³]
Obrobna	319,5	3 018,5	9,4	6 037,1	18,9	9 055,6	28,3	15 092,7	47,2	63 389,4	198,4	724 450	2 267
Nástrojárna	535,1	1 250,0	2,3	2 500,0	4,7	3 750,0	7,0	5 752,6	10,8	26 250,0	49,1	300 000	561
Řezárna	379,6	416,7	1,1	833,3	2,2	1 250,0	3,3	1 917,5	5,1	8 750,0	23,1	100 000	263
Celkem	-	4 685,2	12,9	9 370,4	25,8	14 055,6	38,6	22 762,9	63,0	98 389,4	270,5	1 124 450	3 092

Transport třísek

Za podmínek stanovených pro optimální separaci třísek byl vypracován následující systém sběru třísek u jednotlivých stanovišť zobrazený schematicky na obr. 57. Vychází ze stávajících praktik, jež se osvědčily. Jednotlivá výrobní pracoviště dočasně shromažďují třísky z obráběcích strojů do speciálních vozíků, které jsou následně umísťovány do vyhrazeného prostoru určeného pro jejich meziskladování, kde setrvávají minimálně 24 h. Ty by se po primárním odkapávání sypaly, u nástrojárny a řezárny pomocí vysokozdvíhových vozíků s otočnou vidlicí, do kontejnerů o objemu 25 m³. Manipulace a převoz těchto kontejnerů je ve firmě již zajišťován nákladním vozidlem s hákovým nosičem, takže by nebylo nutné pořizovat novou přepravní techniku. U řezárny může být přistavený dvounápravový přívěsný vozík.



Obr. 57 Zjednodušené schéma systému sběru třísek

Svoz kontejnerů

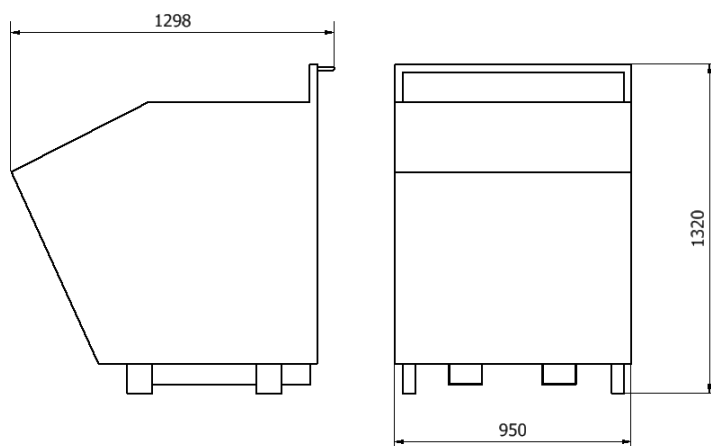
Kontejnery můžou být přistavěny u obrobny a nástrojárny, kde jejich manipulační princip je identický. Liší se pouze od produkovaného množství. Na obrobně funguje třisměnný provoz a pracuje se i o svátcích a víkendech mimo celozávodní dovolenou. Proto se budeme řídit tab. 17. Avšak u nástrojárny funguje dvousměnný provoz bez víkendů, často i svátků a celozávodních dovolených, tudíž svoz se bude vycházet z tab. 18. Kvůli technologickým a provozním omezením nelze u kontejnerů o nominálním objemu 25 m³ uvažovat s plným využitím jejich kapacity. Z praktického hlediska je nutné zohlednit skutečnost, že při plnění materiálem, zejména při nerovnoměrném sypání třísek a jejich hromadění v kuželovitém násypu dochází ke vzniku nevyužitého objemu. Tyto nevyužité části prostoru jsou nutné k bezpečnému uzavření víka kontejneru a zamezení rozsypaní materiálu během manipulace. Na základě provozních zkušeností lze reálný využitelný objem kontejneru odhadnout přibližně na 22 m³, tedy o 20 % méně oproti jeho geometrické kapacitě. Z tab. 19 vyplývá, že doporučený interval svozu činí přibližně jednou za 3 dny v případě obrobny a jednou za 8 až 9 dní u nástrojárny.

Tab. 19 Výpočet teoretického a navrženého intervalu svozu ocelových třísek obrobny a nástrojárny na základě denní objemové produkce a využitelného objemu kontejneru.

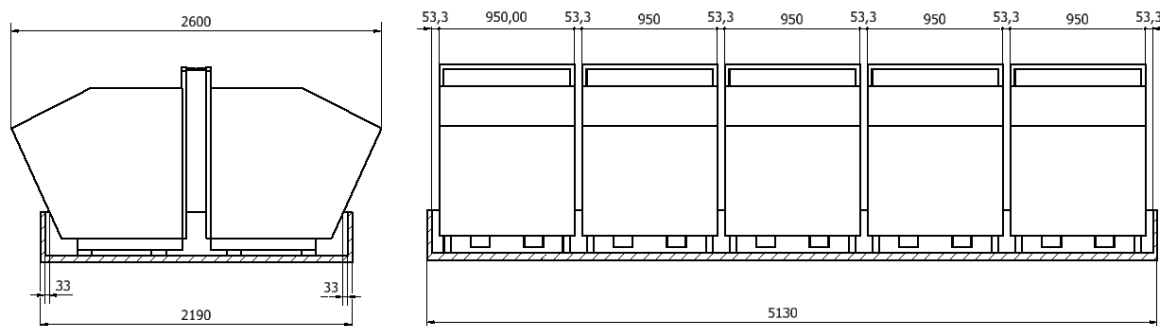
	Využitelný objem kontejneru [m ³]	Objem denní produkce [m ³]	Teoretický interval svozů [den/svoz]	Navržený interval svozů [den/svoz]
Obrobna	22	6,2	3,541	3
Nástrojárna	22	2,3	9,418	8 až 9

Svoz přívěsného vozíku

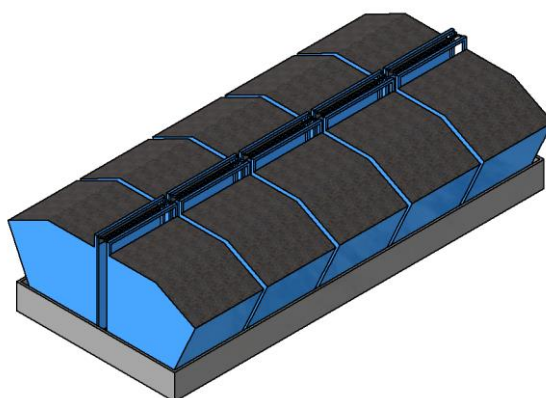
V případě řezárny je návrh mírně složitější, nejprve je nutné stanovit objem a rozměry jednotlivých vozíků na třísky (viz obr. 58) a následně zvolit přívěsný vozík, který bude vyhovovat jak rozměrově, tak z hlediska nosnosti. Rozměry tohoto přívěsného vozíku jsou zobrazeny na obr. 59. Ze softwaru Autodesk Inventor byl spočítán objem těchto vozíků na 0,98 m³. Avšak obdobně jak u kontejnerů, i zde bychom měli počítat s reálným využitelným objemem a to alespoň 0,9 m³. Jako dvounápravový přívěsný vozík byl vybrán Brian James Connect, 505x213x30, 3500 kg [105]. Z rozměrů lze vypočítat a nasimulovat, že se na přívěsný vozík vejde celkem 10 vozíků na třísky, jež je prokázáno na obr. 59 a v 3D pohledu zobrazeno na obr. 60. Z tab. 20 vyplývá, že navrhovaný interval svozu činí u řezárny jednou za 7 až 8 dní.



Obr. 58 Rozměrový náčrt vozíku na třísky používaného u jednotlivých obráběcích strojů.



Obr. 59 Rozměrové uspořádání přívěsného vozíku určeného pro převoz ocelových třísek.



Obr. 60 3D vizualizace návrhu uspořádání deseti kontejnerů na třísky umístěných na dvounápravovém přívěsném vozíku.

Tab. 20 Výpočet teoretického a navrženého intervalu svozu ocelových třísek z řezárny na základě denní objemové produkce a využitelného objemu přívěsného vozíku.

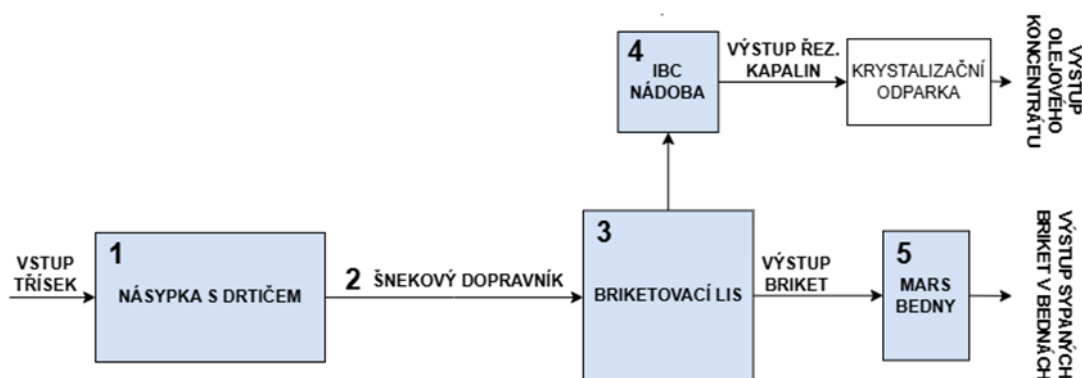
	Využitelný objem přívěsného vozíku s 10 ks vozíků na třísky [m ³]	Objem denní produkce [m ³]	Teoretický interval svozů [den/svoz]	Navržený interval svozů [den/svoz]
Řezárna	9	1,1	8,182	7 až 8

3.3.2 Technologické uspořádání a rozmístění

Díky získaným vstupním informacím z kapitoly 3.3.1 lze provést návrh briketovací linky. Zdůvodnění návrhu je pro jednotlivé technologické prvky uvedeno v textu níže. Navrhovaná linka se skládá z násypky s integrovaným vertikálním drtičem typu KB 20, šnekového dopravníku a hydraulického briketovacího lisu BrikStar. Cílem tohoto návrhu je dosáhnout efektivní recyklace KO, výrazného snížení objemu třísek a zvýšení jejich hodnoty jako druhotné suroviny. Celá kapitola vychází z obchodního katalogu společnosti Briklis [103].

Technologický sled operací

1. **Příjem třísek:** Třísky jsou dopravovány vysokozdvížným vozíkem do násypky s integrovaným drtičem typu KB 20. Tento drtič zajišťuje předúpravu dlouhých a objemných třísek.
2. **Dávkování:** Nadrcený materiál je dvoušnekovým dopravníkem plynule přiváděn do lisovací komory briketovacího lisu.
3. **Lisování:** Briketovací lis BrikStar M30 hydraulicky stlačuje brikety do vysoce kompaktní formy s nízkým obsahem vlhkosti a olejů.
4. **Separace řezných kapalin:** Vytlačená řezná kapalina je shromažďována do IBC kontejneru. V budoucnu je zvažováno nasazení krystalizační odparky pro redukci množství odpadu.
5. **Výstupní fáze procesu lisování:** Výsledné brikety jsou sypány do velkých beden typu MARS (s rozměry 800 x 1200 x 600 mm), které jsou stohovatelné a vhodné pro přepravu [106].



Obr. 61 Schéma briketovací linky

Výběr zařízení a odůvodnění

Pro návrh technologické linky byla zvolena zařízení především od společnosti Briklis, která je největším českým výrobcem briketovacích systémů. Tato volba byla učiněna nejen s ohledem na široké produktové portfolio a technickou úroveň strojů, ale i s přihlédnutím k dostupnému záručnímu a pozáručnímu servisu, odbornému poradenství a schopnosti výrobce přizpůsobit řešení konkrétním požadavkům zákazníka.

Při výběru briketovacího zařízení je třeba zohlednit, že výkonové parametry uváděné výrobcem se referenčně vztahují ke zpracování litinových třísek, jejichž objemová hmotnost dosahuje přibližně 5 000 kg/m³ u briket. V případě ocelových třísek, které mají očekávanou nižší objemovou hmotnost okolo 4 000 kg/m³ u briket, je proto nutné očekávaný výkon přepočítat. Při zachování stejného objemového průtoku je reálný hmotnostní výkon zařízení pro ocel zhruba o 20 % nižší než u litiny. S ohledem na požadovanou kapacitu kontinuálního provozu 360,4 kg/h a na předpokládané krátkodobé špičkové zatížení linky (480,5 kg/h) bylo určeno, že zařízení musí mít minimální výkon 432,5 kg/h. Krátkodobé špičky mohou dosahovat až 576,7 kg/h, a proto byl zvolen konzervativní návrhový výkon minimálně 500 kg/h. Tato hodnota slouží jako výchozí parametr pro výběr konkrétních zařízení linky.

Násypka s drtičem

S ohledem na zjištěný podíl dlouhých spletených třísek, které tvoří přibližně 37,2 % z celkového objemu KO, je pro jejich efektivní zpracování nezbytné zařazení drtiče. Vzhledem k absenci větších kovových kusů ve vstupním materiálu je možné zvolit integrovaný systém složený z podávací šnekové násypky typu 4SN (viz obr. 62) a vertikálního drtiče KB 20 (viz obr. 63), kde drtič je od společnosti Nederman [107].

Podávací násypka o objemu 1,2 m³ je vybavena čtyřmi paralelně uspořádanými rotačními šneky. Tyto šneky zajišťují nejen pohyb materiálu směrem k drtiči, ale současně plní funkci předúpravy, rozplétají hutné chuchvalce dlouhých třísek. Navazující drtič typu KB 20 je konstruován pro zpracování všech běžně používaných druhů ocelí a jeho výkon je přizpůsoben plynulé dodávce materiálu do následného briketovacího lisu. Drtič redukuje délku třísek na jemnou frakci, což přispívá nejen k omezení opotřebení zařízení a snížení rizika ucpávání, ale také k výraznému zrychlení dopravy třísek do briketovací komory [107]. Zatímco u krátkých třísek trvá přesun přibližně 0,5 s, u dlouhých třísek může dosahovat až 2,5 s. Celý systém pracuje v režimu automatického řízení dávkování v závislosti na aktuálním zatížení linky, čímž je dosaženo stabilního a rovnoměrného toku materiálu.

Mezi hlavní výhody tohoto řešení patří vysoká provozní spolehlivost, nízké nároky na údržbu a energetická úspornost celého podávacího a drticího systému. Technické údaje jsou uvedeny v tab. 21.

Tab. 21 Technické údaje násypky 4SN [103] a vertikálního drtiče KB 20 [107]

	Příkon [kW]	Objem a rozměry [m ³ ; mm]	Výkon [kg/h]	Hlučnost [dB]
4SN	~3	1,2 m ³	-	-
KB 20	15	1 565 x 1 157 x 1 315 mm	800	70



Obr. 62 Šneková násypka 4SN [103]



Obr. 63 Vertikální drtič třísek KB 20 [107]

Dvoušnekový dopravník

Dvoušnekový dopravník (viz obr. 64 a obr. 65) plynule dodává upravené třísky z drtiče do lisovací komory. Díky dvoušnekovému mechanismu je vhodný pro transport sypkých a tvrdších kovových materiálů, které umožňují přesné dávkování podle aktuálních požadavků lisu. Technické údaje jsou variabilní a závislé na rozpoložení konkrétní zástavby. Příkon se dá odhadnout přibližně na 1,5 kW.



Obr. 64 Dvoušnekový dopravník [108]



Obr. 65 Detail dvoušnekového dopravníku [108]

Briketovací lis

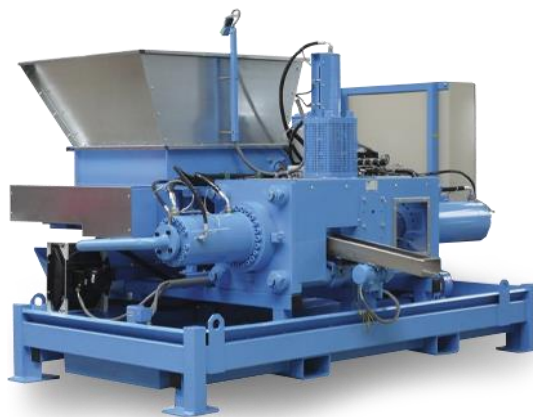
Briketovací lis tvoří klíčové zařízení celého procesu linky. Pro zpracování třísek byl zvolen typ BrikStar M30 (viz obr. 66) od společnosti Brikliis, a to s ohledem na požadavek vysokého lisovacího tlaku a schopnosti pracovat s tvrdými a pevnými materiály, mezi které patří také ocel. Tento typ lisu je navržen tak, aby dosahoval výstupní vlhkosti pod 2 % a zároveň produkoval brikety s vysokou kompaktností a pevností. Zároveň splňuje požadovaný minimální výkon 500 kg/h.

Lis pracuje na principu šnekového podávání a následného axiálního stlačení materiálu v raznici, přičemž lisovací tlak působí rovnoměrně na obě čelní strany brikety. Díky tomuto uspořádání je dosaženo rovnoměrného zhutnění v celém objemu brikety, která má válcový tvar s délkou odpovídající přibližně 1,5násobku průměru. Po opuštění lisovací komory jsou hotové brikety vedeny vibračním žlabem do připravené odběrné bedny.

Součástí zařízení je také sběrná vana na řeznou kapalinu, která vzniká při lisování. Brikety jsou shromažďovány do přepravních kontejnerů typu MARS, které umožňují snadnou manipulaci a stohovatelnost. Technické údaje briketovacího lisu BrikStar M30 jsou uvedeny v tab. 22.

Tab. 22 Technické údaje briketovacího lisu BrikStar M 30 [103]

	Průměr brikety [mm]	Délka brikety [mm]	Lisovací tlak [MPa]	Výkon [kg/h]	Příkon [kW]	hlučnost [dB]	Lisovací tlak [bar]	Rozměry [mm]
BrikStar M 30	70	105	290	500	30	80	260	4 620 x 2 590 x 2 800



Obr. 66 Briketovací lis BrikStar M [109]

Systém odčerpávání řezných kapalin

Pod briketovacím lisem je umístěna sběrná vana, do které stéká vytlačená řezná kapalina jak z procesu lisování, tak i z dopravy třísek pomocí šnekového dopravníku. K odvodu této kapaliny slouží čerpadlo COA o výkonu 0,09 kW, které zajišťuje její automatické přečerpání do připraveného IBC kontejneru (viz obr. 67).



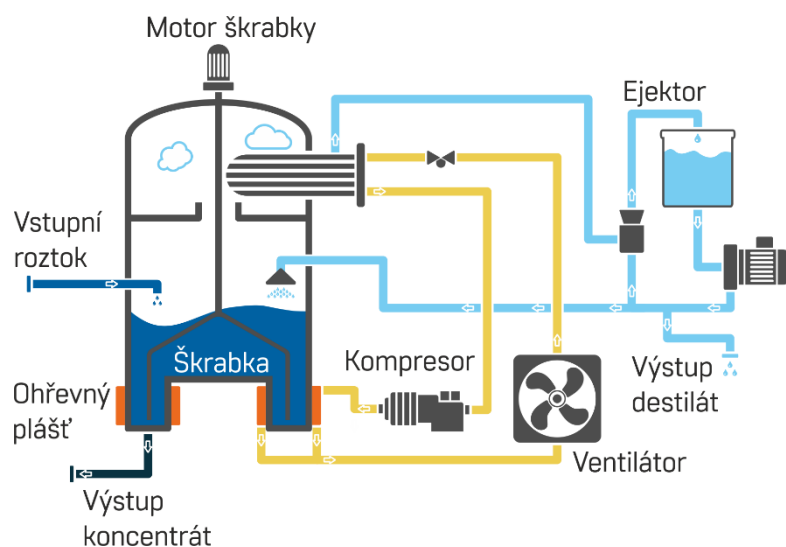
Obr. 67 IBC kontejner[110]

Průmyslová odparka

Během lisování dochází k separaci řezných kapalin z třísek, jež jsou obvykle považovány za odpad, s nimiž se musí patřičně zacházet. Vzhledem k předpokládané roční produkci řezných emulzí ve výši 9 887,8 kg je na místě zvážit možnost jejich lokálního zpracování pomocí průmyslové odparky. Jednou z uvažovaných variant je zařízení typu AQUADEST-KR (viz obr. 68) od společnosti Kovofiniš, které využívá princip vakuového krystalizačního vypařování a v nejmenší dostupné konfiguraci dosahuje výkonu 250 l destilátu za den. Tento způsob separace umožňuje výrazně snížit objem odpadních kapalin na bázi vody (řezných emulzí) až o 95 %. Tím dochází ke snížení nákladů na likvidaci emulzí klasifikovaných jako nebezpečný odpad. Současně lze získaný destilát využít pro technické účely nebo jej ekologicky vypustit do kanalizace. Ačkoliv celkový objem vznikajících kapalin není vysoký, instalace odparky by mohla být z dlouhodobého hlediska ekonomicky výhodná, zejména pokud bude zařízení sdíleno s dalšími provozy nebo pokud náklady na externí likvidaci emulzí výrazně vzrostou. Klíčovým faktorem při rozhodování tak zůstává porovnání pořizovacích a provozních nákladů s náklady na externí likvidaci prostřednictvím certifikovaných firem [111]. Technické údaje průmyslové odparky AQUADEST-KR 250 jsou uvedeny v tab. 23.

Tab. 23 Technické údaje krystalizační odparky AQUADEST-KR 250 [111]

	Výroba destilátu [l/den]	Příkon [kW]	Tlak [kPa]	Dosahovaná teplota [°C]	Energetická náročnost na 1 l destilátu [kWh]
AQUADEST-KR 250	250	3	6-7	35 - 40	0,288



Obr. 68 Krystalizační odparka AQUADESK-KR [111]

Prostorové nároky

Lineární uspořádání celé linky lze přibližně odhadnout jako součet délek jednotlivých zařízení, včetně potřebných provozních mezer pro obsluhu. Výsledná délka linky zahrnuje drtič (~2,2 m), násypku (~1,2 m), lis (4,62 m) a dopravník, jehož délka se přizpůsobuje konkrétnímu rozmístění zařízení, orientačně lze počítat s hodnotou kolem 5 m. Celková délka tak činí přibližně 13 m. Po započtení bezpečnostních a obslužných rezerv se doporučuje vyčlenit prostor o délce minimálně 15 m. Šířka lze odhadnout podle nejširšího zařízení (lis 2,59 m) plus obslužný prostor cca 1,2 m na každé straně, tedy celkem kolem 5 m šířky. Celkem linka vyžaduje zhruba 5×15 m (75 m²) půdorysného prostoru. K tomu se orientačně dle tabulek [104] dopočítávají prostory pro skladování a dopravní cesty, které tvoří 50 % z prostoru linky. Dále se musí připočíst ostatní plochy, jako jsou např. chodby, sociální zázemí apod. Tyto plochy tvoří zhruba 40 % výrobní linky. Teoretické prostorové nároky pro briketovací linku jsou uvedeny v tab. 24.

Tab. 24 Teoretické prostorové nároky pro briketovací linku

	Briketovací linka	Sklady a dopravní cesty	Ostatní plochy	Celkem
Prostorové nároky [m ²]	75	38	30	143

3.3.3 Zjednodušené ekonomické zhodnocení

Vzhledem k tomu, že hlavní zaměření této práce spočívá v technickém návrhu zpracování KO, je následující ekonomické zhodnocení provedeno pouze ve zjednodušené podobě. Hodnocení nezahrnuje např. odpisy zařízení, pojištění, detailní nároky výrobních prostor nebo další finanční položky. Pozornost je zaměřena na přímé provozní náklady a potenciální přínosy navrhované briketovací linky i z hlediska následných úspor při legování. Z nákladové stránky jsou uvažovány personální náklady při dvousměnném provozu, spotřeba elektrické energie, náklady na likvidaci řezných kapalin, pravidelná údržba zařízení a náklady spojené s využíváním výrobních prostor.

Tab. 25 uvádí přímé roční přínosy plynoucí z instalace briketovací linky. Proces briketování zvyšuje tržní hodnotu zpracovaných třísek, přičemž rozdíl mezi výkupní cenou volných třísek a lisovaných briket se pohybuje přibližně na úrovni 2 Kč/kg.⁸ V experimentální části práce (kapitola 3.2.2) byla potvrzena přítomnost legujícího prvku Mo v průměrném množství 1,271 % hmotnosti oceli. Na základě výpočtu byla stanovena přidaná hodnota 14 Kč na každý kilogram třísek obsahujících Mo. Celkové roční množství třísek vychází na 1 212 t, přičemž z toho přibližně 300 t tvoří třísky s obsahem Mo.

Tab. 25 Roční úspory a potenciální výnosy z navrhované briketovací linky

	Roční produkce [kg]	Přidaná hodnota na 1 kg třísek [Kč/kg]	Úspora za rok
Třísky s obsahem Mo	300 000	14	4 200 000 Kč
Celkové množství třísek	1 212 000	2	2 424 000 Kč
Celkový výnos za třísky			6 624 000 Kč

Roční personální náklady na dvousměnný provoz byly stanoveny na základě předpokladu zaměstnání dvou pracovníků. Výchozí hrubá roční mzda ve výši 309 000 Kč byla stanovena na základě průměrné mzdy pro dělnické pozice v ČR za 1. kvartál 2025.⁹ K této částce byly následně připočteny povinné odvody zaměstnavatele ve výši 33,8 % (sociální a zdravotní pojištění),¹⁰ což představuje 104 600 Kč. Celkové roční náklady na jednoho zaměstnance tak dosahují 413 600 Kč. Celkové personální náklady na dvousměnný provoz tedy činí 827 200 Kč ročně, což je zobrazeno v tab. 26. V uvedeném výpočtu nejsou zohledněny další náklady, jako jsou osobní ochranné pracovní prostředky, školení nebo administrativní výdaje.

Tab. 26 Roční personální náklady na dvousměnný provoz

Hrubá mzda zaměstnance	Odvody zaměstnavatele	Celkem na zaměstnance	Personální náklady na dvousměnný provoz
309 000 Kč	104 600 Kč	413 600 Kč	827 200 Kč

⁸ Druhotné suroviny.cz. Ceník kovů [online]. Barko s.r.o. [b.r.]. Dostupné z: <https://druhotnesuroviny.cz/cenik>. [cit. 2025-04-06].

⁹ JOOBLE. Kolik vydělává Dělník v České republice? Online. Cz.jooble.org. [2025]. Dostupné z: <https://cz.jooble.org/salary/d%C4%9Bln%C3%ADk#yearly>. [cit. 2025-05-16].

¹⁰ MANPOWERGROUP S.R.O. Kolik ve skutečnosti stojíte vašeho zaměstnavatele? Online. Manpower.cz. [2025]. Dostupné z: <https://www.manpower.cz/kolik-stojite-zamestnavatele>. [cit. 2025-05-16].

Tab. 27 uvádí instalovaný příkon briketovací linky. Jedná se o součet příkonů jednotlivých navržených zařízení uvedených v kapitole 3.3.2, konkrétně násypky, drtičky, dvoušnekového dopravníku a samotného briketovacího lisu. Celkový příkon linky činí 49,5 kW.

Tab. 27 Instalovaný příkon briketovací linky

Zařízení	Příkon [kW]
Násypka 4SN	3
Drtička KB 20	15
Dvoušnekový dopravník	1,5
Briketovací lis BrikStar M30	30
Celkem	49,5

Tab. 28 uvádí celkovou roční spotřebu elektrické energie navrhované briketovací linky. Výpočet vychází z efektivního pracovního fondu stroje, který činí 3 024 h/rok (podrobně spočítáno v kapitole 3.3.1, sekce Stanovení časových fondů). Tento časový fond byl vynásoben celkovým instalovaným příkonem linky, který činí 49,5 kW. Výsledná roční spotřeba elektrické energie tak dosahuje hodnoty 149,7 MWh.

Tab. 28 Celková roční spotřeba elektrické energie briketovací linky

Celkový příkon linky [kW]	Efektivní pracovní fond stroje [h]	Roční spotřeba el. energie [kWh]
49,5	3 024	149 688

Tab. 29 shrnuje odhadovanou roční spotřebu elektrické energie potřebnou pro osvětlení výrobního prostoru. Výchozím údajem je tabulková hodnota roční spotřeby elektrické energie na osvětlení 1 m² podlahové plochy (83,7 kWh · m⁻² · rok⁻¹).¹¹ Tato hodnota byla vynásobena navrhovanou provozní plochou pro instalaci linky (143 m²). Výsledkem je odhadovaná roční spotřeba elektrické energie na osvětlení výrobní haly ve výši 11 969 kWh.

Tab. 29 Teoretická roční spotřeba elektrické energie na osvětlení výrobní haly

Provozní plocha [m ²]	Roční spotřeba el. energie na m ² [kWh · m ⁻² · rok ⁻¹]	Roční spotřeba el. energie výrobní haly na osvětlení [kWh]
143	83,7	11 969

Na základě zjištěné roční spotřeby elektrické energie pro samotnou briketovací linku (149,7 MWh) a pro osvětlení výrobní haly (11 969 kWh) byly v tab. 30 vypočteny celkové roční provozní náklady na elektrickou energii. Při průměrné jednotkové ceně 4 Kč/kWh (stav k 1. kvartálu 2025)¹² činí roční náklady 598 752 Kč za provoz linky a 47 876 Kč za osvětlení. Celkové roční náklady na elektrickou energii tedy dosahují 646 628 Kč.

¹¹ TOPINFO S.R.O. *Energetická náročnost osvětlovacích soustav*. Online. Elektro.tzb-info.cz. [2013]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/osvetleni/10162-energeticka-narocnost-osvetlovacich-soustav>. [cit. 2025-05-16].

¹² E.ON. *Jaké budou ceny elektřiny v roce 2025?* Online. Eon.cz. [b.r.]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/blog/jake-budou-ceny-elektriny-v-roce-2025>. [cit. 2025-05-16].

Tab. 30 Celkové roční provozní náklady na elektrickou energii

	Roční spotřeba el. energie [kW]	Cena za kWh	Roční náklady na spotřebu el. energie
Briketovací linka	149 688	4 Kč	598 752 Kč
Osvětlení haly	11 969	4 Kč	47 876 Kč
	Celkové roční provozní náklady na el. energii		646 628 Kč

Tab. 31 uvádí celkové roční náklady na likvidaci řezných kapalin, konkrétně odpadu zařazeného dle Katalogu odpadů pod kódem 12 01 09. Při roční produkci řezných kapalin v objemu 9887,8 kg a sazbě za jejich likvidaci ve výši 10 Kč/kg (dle ceníků z května 2025).¹³ Dosahují celkové náklady na jejich odstranění částky 98 878 Kč.

Tab. 31 Celkové roční náklady na likvidaci řezných kapalin (dle Katalogu odpadů 12 01 09)

Produkované množství řezných kapalin [kg]	cena likvidace 1 kg řezné kapaliny	Celkové roční náklady na likvidaci řezných kapalin
9 887,8	10 Kč	98 878 Kč

Tab. 32 uvádí odhadované roční náklady na údržbu navrhované briketovací linky. Při orientační pořizovací ceně zařízení ve výši 5 mil. Kč a za předpokladu, že roční náklady na údržbu tvoří přibližně 3,5 % z pořizovací hodnoty,¹⁴ lze očekávat celkové roční výdaje na údržbu ve výši přibližně 175 000 Kč.

Tab. 32 Odhadované roční náklady na údržbu

Odhad ceny briketovací linky	Odhad ročních nákladů na údržbu (% z pořizovací ceny)	Odhadované roční náklady na údržbu
5 000 000 Kč	3,5 %	175 000 Kč

Tab. 33 zachycuje orientační roční náklady na pronájem výrobních prostor nezbytných pro provoz briketovací linky. Výpočet vychází z předpokládané potřebné plochy 143 m² a z průměrné tržní ceny pronájmu ve Zlínském regionu pro rok 2025, která činí přibližně 1440 Kč/m² za rok.¹⁵ Celkové roční náklady na pronájem těchto prostor pak dosahují téměř 206 tis. Kč.

Tab. 33 Orientační roční náklady na pronájem výrobních prostor

Navrhovaná výrobní plocha [m ²]	Orientační cena pronájmu [m ² /rok]	Orientační roční náklady na pronájem výrobních prostor
143	1 440 Kč	205 920 Kč

Tab. 34 představuje zjednodušené ekonomické zhodnocení navrhovaného procesu briketování třísek za jeden rok. Z přehledu je patrné, že klíčovou roli v celkové návratnosti

¹³ AVISTA OIL S.R.O. *Ceník likvidace odpadů*. Online. Avista-oil.cz. [2025]. Dostupné z: https://www.avista-oil.cz/fileadmin/avista-oil/Dokumenty/Ceník/Ceník_5_2025.pdf. [cit. 2025-05-16].

¹⁴ UPKEEP. *How much should I budget for maintenance for my equipment?* Online. Upkeep.com. [b.r.]. Dostupné z: <https://upkeep.com/learning/budget-for-equipment-maintenance>. [cit. 2025-05-16].

¹⁵ B3 TECHNOLOGY S.R.O. *Pronájem výrobních prostor, 208 m2*. Online. Realitypro.eu. [b.r.]. Dostupné z: <https://www.realitypro.eu/detail/2459237/pronajem-vyrobnich-prostor-kunovice-208m2>. [cit. 2025-05-16].

schrává proces separace za účelem zajištění homogenního a čistého složení oceli, především u nástrojové oceli z nástrojárny, kde je významný legující prvek Mo (1,271 %). Právě přidaná hodnota nástrojové oceli obsahující tento prvek představuje zásadní část ročních přínosů (4,2 mil. Kč).

Pokud jsou zbriketované třísky prodávány bez předchozí separace a zohlednění jejich chemického složení, je ekonomický přínos procesu výrazně nižší. Výrazně větší potenciál vykazují čisté a homogenní brikety s doloženým složením, které mohou být využity přímo ve slévárenské nebo hutní výrobě.

Možnost separace třísek z řezárny byla v experimentální části práce potvrzena. Přesto je stanovení jejich prodejní ceny ve srovnání s běžně vykupovanými heterogenními trískami obtížné, a to zejména z důvodu specifického chemického složení, které by vyžadovalo individuálního odběratele. Tato skutečnost by mohla výrazně ovlivnit výslednou výkupní cenu. Navíc tyto třísky neobsahují vyšší koncentrace legujících prvků, jako je tomu u třísek z nástrojárny. Orientačně lze uvést, že běžná cena, za kterou slévárny odebírají ocelový šrot od výkupců, se v roce 2025 pohybuje přibližně mezi 12 a 16 Kč/kg v závislosti na kvalitě materiálu. S přihlédnutím ke zbytkovému obsahu olejové složky lze konzervativně odhadnout, že hodnota těchto briket by se mohla teoreticky pohybovat kolem 10 Kč/kg, což je přibližně o 3 Kč více než u běžně vykupovaných briket s nejednotným chemickým složením výkupcům KO. Vzhledem k tomu, že tento materiál představuje ročně zhruba 100 tun, může při vhodné nastaveném obchodním modelu představovat zajímavý zdroj příjmů (cca 300 tis. Kč).

Na základě orientačních výpočtů lze teoretickou návratnost investice odhadnout přibližně na 1 rok.

Tab. 34 Zjednodušené ekonomické zhodnocení procesu briketování ocelových třísek za rok

Výnosová položka	Výnosy	Nákladová položka	Náklady
Úspora při legování Mo	4 200 000 Kč	Energie na provoz	646 628 Kč
Zbriketování třísek	2 424 000 Kč	Údržba linky	175 000 Kč
Přidaná hodnota separovaných třísek z řezárny nad úroveň zbriketování	300 000 Kč	Prostory	205 920 Kč
-	-	Pracovní síla	827 200 Kč
-	-	Likvidace řezných kapalin	98 878 Kč
Celkem	6 924 000 Kč	Celkem	1 953 626 Kč
Teoretický roční přínos	4 970 374 Kč		
Teoretická návratnost	1 rok		

Tab. 35 ukazuje zjednodušenou ekonomiku pořízení krystalizační odparky AQUADEST-KR 250, jež by dokázala redukovat množství odpadu až o 95 % [113]. Při zařazení tohoto zařízení do procesu briketovací linky lze teoreticky očekávat roční úsporu přes 85 tis. Kč. Jelikož však nejsou veřejně dostupné ceníky pro tento typ zařízení, nelze v současnosti stanovit návratnost investice. Ve výpočtu dále není zohledněn vliv snížených nákladů na odvoz odpadu specializovaným firmám ani úspory spojené s nižšími nároky na skladování řezných kapalin. Za úsporu lze považovat i produkci destilované vody, která vzniká při odpařování a může být

dále využita ve výrobě namísto vody z vodovodního řádu, jejíž cena podle ceníku platného od 1.1.2025 činí v průmyslovém areálu Svit 233,6 Kč/m³.¹⁶

Tab. 35 Roční úspora při využití odparky AQUADEST-KR 250

Zdroj úspory	Úspory	Nákladová položka	Náklady
Redukce odpadu	93 934 Kč	El. energie	10 821 Kč
Produkce destilátu	2 194 Kč	-	-
Celková roční úspora	85 307 Kč		

3.3.4 Shrnutí přínosů návrhu

Navržená linka pro briketování třísek je dimenzována na zpracování asi 1124 tun ročně. Hlavní ekonomické přínosy vycházejí ze snížení objemu odpadu a zvýšení tržní hodnoty výstupu. Následující výčet sumarizuje uvažované přínosy.

Níže náklady na přepravu a manipulaci

Briketováním dochází ke zhuštění objemu třísek přibližně na 1/10 jejich původního objemu. Tento výrazný pokles objemu vede k podstatnému snížení frekvence nutnosti odvozu materiálu z podniku, což se pozitivně promítá do snížení nákladů spojených s logistikou a spotřebou paliv. Kompaktní tvar briket zároveň nevyžaduje na přepravu speciální velkoobjemové kontejnery. V praxi to znamená nižší přepravní náklady a vyšší flexibilitu při manipulaci s materiálem.

Zlepšení pracovního a ekologického prostředí

Zajištění přímého transportu třísek z jednotlivých pracovišť k briketovacímu lisu umístěnému v jejich blízkosti snižuje riziko kontaminace životního prostředí, které běžně doprovází manipulaci a přepravu tohoto odpadu. Současně je umožněna rychlá a kontrolovaná separace řezných kapalin, čímž se snižuje pravděpodobnost úniku nebezpečných látek. Tento způsob nakládání s odpadem je navíc zpravidla hodnocen pozitivně v rámci environmentálních auditů.

Očekávaná rychlá návratnost investice

Provozy obdobného charakteru obvykle vykazují návratnost investice do jednoho roku. V tomto případě lze očekávat srovnatelnou dobu návratnosti, a to i vzhledem k tomu, že navržený systém nezahrnuje pouze samotné briketování, ale i separaci třísek a zároveň klade důraz na nízký obsah vlhkosti u konečných briket, což se pozitivně propisuje na ekonomiku provozu [112].

Zlepšení manipulace a bezpečnosti

Kompaktní brikety nevyžadují speciální způsob manipulace. Nedochází u nich k sypání ani ke vzniku objemných a těžko uchopitelných shluků třísek. Tento způsob zpracování významně snižuje riziko pracovních úrazů při manipulaci a přispívá k vyšší bezpečnosti obsluhy.

¹⁶ VODÁRNA ZLÍN A.S. *Cena vodného a stočného 2025*. Online. Vodarnazlin.cz. [b.r.]. Dostupné z: <https://www.vodarnazlin.cz/zakaznici/cena-vody/cena-vodneho-a-stocneho-2025>. [cit. 2025-05-16].

Zvýšení hodnoty odpadu

Díky kompaktnímu tvaru briket, podstatnému snížení obsahu kontaminantů a účinné separaci řezných kapalin pod hranici 2 % se výrazně zvyšuje hodnota tohoto typu KO. V případě správně nastaveného systému separace a garantované chemické čistoty materiálu je možné brikety dodávat přímo hutním nebo slévárenským provozům, a to za podstatně výhodnějších podmínek, než jaké nabízí výkupní ceny prostřednictvím běžných obchodníků se šrotem. U legovaných ocelí, jako je např. ocel 19 552, navíc hraje důležitou roli obsah cenných legujících prvků, např. Mo, jehož cena zásadně ovlivňuje ekonomickou výhodnost recyklace. Dalším přínosem je snížený propal těchto slisovaných briket během tavy, což zvyšuje materiálovou výtěžnost v hutních aplikacích.

Likvidace řezných kapalin průmyslovou odparkou

Alternativní metodou nakládání se separovanými řeznými kapalinami je využití průmyslové krystalizační odparky, která umožňuje výraznou redukci objemu odpadní kapaliny. Tato technologie dokáže zpracovat až 95 % původního objemu ve formě destilátu, který je následně možné recyklovat přímo ve výrobním procesu. Z celkového množství přibližně 9,8 t kapalin by tak vzniklo pouze zhruba 0,5 t koncentrovaného kalu určeného k likvidaci. Použití odparky by vedlo k významnému snížení množství odpadu, potřebné frekvence jeho odvozu i celkových nákladů na likvidaci. Hlavní nevýhodou tohoto řešení zůstávají potenciálně vysoké investiční náklady na odparku, které mohou být zejména pro menší produkci odpadních řezných kapalin limitující. V rámci této práce je proto průmyslová odparka zvažována jako potenciálně perspektivní varianta do budoucna, nikoliv však jako součást aktuálně navržené konfigurace technologie.

4 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce byla zaměřena na návrh systému pro efektivní zpracování třísek, přičemž důraz byl kladen jak na technické, environmentální tak i ekonomické aspekty tohoto řešení. Práce byla členěna do dvou hlavních částí, teoretické a praktické.

V teoretické části byla nejprve zpracována legislativní východiska související s nakládáním s odpady v průmyslovém prostředí, a to jak na národní, tak i evropské úrovni. Pozornost byla věnována zejména povinnostem původců odpadů, systému evidence a hierarchii nakládání s odpady, jak ji definuje zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech. Dále byla popsána základní východiska současného odpadového hospodářství a trendy v oblasti recyklace, zejména s důrazem na zvyšující se význam druhotného využití KO. Zvláštní pozornost byla věnována třískám pocházejícím z třískového obrábění, které představují významný potenciál pro další materiálové využití.

Na obecný teoretický základ následně navázal přehled technologií využívaných při zpracování a úpravě KO. Tato část slouží k seznámení s běžně využívanými metodami a technologickými přístupy, jež se uplatňují při průmyslovém zpracování KO. Popsány byly jak mechanické a fyzikální metody separace odpadu, tak technologie úpravy odpadu a samotné recyklace, včetně metod zhutňování, jako je briketování nebo paketování. Tato část zároveň představuje přirozený přechod k návrhové části práce, neboť poskytla základní přehled dostupných technických řešení, z nichž následně vycházelo konkrétní navržené řešení úpravy třísek.

Praktická část se zaměřila na konkrétní návrh systému pro nakládání s třískami ve vybraném průmyslovém podniku nacházejícím se v areálu Svit ve Zlíně. Nejprve byl detailně popsán stávající způsob nakládání s třískami v podniku. Okrajově se práce se rovněž zaměřila na problematiku okujů, které představují další typ KO vznikajícího při výrobě. Tyto odpady však nebyly dále detailně analyzovány, a to především z důvodu jejich menšího objemu a specifického charakteru, který si vyžaduje odlišný technologický přístup. Následovala bilance produkce jednotlivých typů třísek a jejich rozdělení podle původu, morfologie a míry znečištění. Tento krok byl zásadní pro posouzení celkové efektivity navrhovaného řešení a pro posouzení, zda je separace a následné oddělené nakládání jednotlivých třísek podle chemického složení technologicky i ekonomicky smysluplná.

Na analytickou část navázaly laboratorní experimenty, které měly přímý vliv na návrh samotné linky. Prvním krokem bylo stanovení chemického složení třísek pomocí rentgenové fluorescenční spektrometrie. Tato analýza prokázala, že zejména vzorky z nástrojárny a řezárny vykazují dostatečně homogenní chemické složení, čímž se potvrdil jejich potenciál pro oddělený sběr a využití v hutních a slévárenských provozech. Naopak třísky z obrobny byly složeny z různorodých materiálových skupin, což výrazně snižovalo jejich využitelnost s přidanou hodnotou homogenního materiálu.

V další fázi byla provedena analýza vlhkosti třísek, která je důležitá z hlediska produkce řezných kapalin během zpracování v briketovací lince a výsledné kvality brikety. Následovalo stanovení obsahu zbytkových řezných kapalin, které má přímý dopad na environmentální a provozní parametry převážně pro hutní provozy. Součástí praktické části bylo rovněž stanovení sypné hmotnosti, která ovlivňuje návrh manipulace, dimenzování zařízení i celkový provozní objem.

Na základě těchto experimentálních zjištění byla navržena technologie úpravy třísek formou briketování. Byly stanoveny vstupní parametry pro provoz, navrženo technické uspořádání linky, výběr jednotlivých zařízení (násypka, drtič, dopravník a briketovací lis) a jejich prostorové rozvržení. Důraz byl kladen na to, aby celá linka byla provozně realistická, kapacitně

odpovídající reálné výrobě a zároveň umožňovala snadnou integraci do stávajících provozních podmínek podniku. Byla rovněž vypracována orientační ekonomická analýza provozu, která zohledňovala jak výrobní kapacitu, tak provozní náklady a očekávané výnosy z prodeje briket.

Celkově navržená technologie zpracování třísek přináší výrazné úspory v oblasti logistiky a likvidace odpadu. Zároveň zajišťuje recyklaci cenných surovin a umožňuje zvýšit tržní hodnotu výsledných briket. Tyto přínosy společně vytvářejí předpoklady pro ekonomicky profitabilní provoz i bez přesného vyčíslení pořizovacích nákladů. S přihlédnutím ke snížení provozních nákladů a očekávaným výnosům z prodeje briket lze oprávněně předpokládat ekonomicky příznivou návratnost investice, která se dle orientačního výpočtu pohybuje kolem 1 roku. Navržený systém tak představuje dlouhodobě ekonomicky výhodné řešení pro daný výrobní podnik.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] INSTITUT CÍRKULÁRNÍ EKONOMIKY. *Příležitosti cirkulární ekonomiky pro dekarbonizaci českého průmyslu*. Online. Incien.org. [2023]. Dostupné z: <https://incien.org/wp-content/uploads/2023/11/Prilezitosti-cirkularni-ekonomiky-pro-dekarbonizaci-ceskeho-prumyslu-OCEL.pdf>. [cit. 2025-03-01].
- [2] BORGA. *Ocel jako nejrecyklovatelnější materiál na světě. Je řešením nedostatku stavebnin*. Online. Montované haly BORGA. [b.r.]. Dostupné z: <https://www.montovane-haly-borga.cz/ocel-jako-nejrecyklovatelnejsi-material-na-svete-je-remenim-nedostatku-stavebnin>. [cit. 2025-04-18].
- [3] *Odpadové hospodářství*. Chrudim: Ekomonitor, 2008. ISBN 978-80-86832-34-0.
- [4] *Zákon č. 541/2020 Sb. Zákon o odpadech*. Online. Zákony pro lidi. 2024. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-541>. [cit. 2025-03-01].
- [5] *Vyhláška č. 273/2021 Sb. Vyhláška o podrobnostech nakládání s odpady*. Online. Zákony pro lidi. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-273>. [cit. 2025 03-01].
- [6] *Zákon č. 477/2001 Sb. Zákon o obalech a o změně některých zákonů (zákon o obalech)*. Online. *Zákony pro lidi*. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-477>. [cit. 2025-03-01].
- [7] EVROPSKÝ PARLAMENT; RADA EU. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES: O odpadech a o zrušení některých směrnic. In: *Úřední věstník EU (L)*. 2008. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=celex%3A32008L0098>. [cit. 2025-03-24].
- [8] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ČR. *Akční plán Cirkulární Česko 2040*. 2021. Praha, 2021. Dostupné také z: https://www.mzp.cz/sites/mzp.cz/files/tiskove-zpravy/AP_CČ_2040.pdf.
- [9] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Akční plán Cirkulární Česko 2040 pro období 2022-2027*. Online. 2021. Dostupné z: https://www.mzp.cz/sites/mzp.cz/files/tiskove-zpravy/AP_CČ_2040.pdf. [cit. 2025-03-01].
- [10] LINDSTRÖM. *Průvodce na téma: Cirkulární ekonomika*. Online. LINDSTRÖM CZECH. *Průvodce na téma: Cirkulární ekonomika*. [b.r.]. Dostupné z: <https://lindstromgroup.com/cz/article/cirkularni-ekonomika-aneb-odpad-jako-hodnotny-zdroj-surovin/>. [cit. 2025-03-01].
- [11] EU. *Nový akční plán pro oběhové hospodářství*. Online. Nový akční plán pro oběhové hospodářství. 2020. Dostupné z: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar%3A9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0001.02%2FDOC_1&format=PDF. [cit. 2025-03-01].
- [12] MCDONOUGH. *Cradle to Cradle*. Online. McDonough. 2002. Dostupné z: <https://mcdonough.com/cradle-to-cradle/>. [cit. 2025-03-24].

- [13] VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. *Odpadové hospodářství*. Výukový program. Ostrava: VŠB-TUO, [b.r.]. Dostupné také z: <https://www.hgf.vsb.cz/export/sites/hgf/546/.content/galerie-souboru/Studijni-materialy/EV-modul6.pdf>. [cit. 2025-04-06].
- [14] EVROPSKÁ UNIE. *Waste hierarchy*. Online. EVROPSKÁ UNIE. *Waste hierarchy*. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/glossary/waste-hierarchy.html>. [cit. 2025-03-24].
- [15] MĚSTO PELHŘIMOV. *Předcházíme vzniku odpadů*. Online. Mestopelhrimov.cz. [2024]. Dostupné z: <https://www.mestopelhrimov.cz/predchazejme-vzniku-odpadu/d-25304>. [cit. 2025 05-01].
- [16] ODPADOVÝ HOSPODÁŘ. *Recyklace kovů*. Online. ODPADOVÝ HOSPODÁŘ. *Recyklace kovů*. B.r. Dostupné z: <http://odpadovy-hospodar.cz/recyklace/recyklace-kovu>. [cit. 2025-03-24].
- [17] BIR. *World Steel Recycling in Figures 2017–2021*. Online. Bureau of International Recycling, 2022. Dostupné také z: https://www.bir.org/images/BIR-pdf/Ferrous_report_2017-2021_lr.pdf.
- [18] *GLOBAL NON-FERROUS SCRAP FLOWS 2000-2015*. Online. Brusel: Bureau of International Recycling, 2016. Dostupné z: <https://www.bir.org/images/uploads/publications/170622-Non-ferrous-report-2017-V03-FINAL-3.pdf>. [cit. 2025-03-24].
- [19] OCELÁŘSKÁ UNIE. *Ocel jako recyklovatelný materiál*. Online. OCELÁŘSKÁ UNIE. *Ocel jako recyklovatelný materiál*. 2018. Dostupné z: <https://www.ocelarskaunie.cz/ocel-jako-recyklovatelny-material/>. [cit.2025-03-24].
- [20] EURIC. *Boosting steel scrap recycling in the EU*. Online. EURIC. *Boosting steel scrap recycling in the EU*. 2023. Dostupné z: https://euric-aisbl.eu/images/Position-papers/feb-2023---boosting-steel-scrap-recycling_positionpaper_final.pdf. [cit. 2025-03-24].
- [21] OCELÁŘSKÁ UNIE. *Data o výrobě a obchodu s ocelí ve světě*. Online. Ocelarskaunie.cz. [2025]. Dostupné z: <https://www.ocelarskaunie.cz/statistiky/svet>. [cit. 2025-05-01].
- [22] KATALOG ODPADU. *Katalog odpadů - wiki*. Online. KATALOG ODPADU. *Katalog odpadů - wiki*. B.r. Dostupné z: <https://www.katalogodpadu.cz/katalog-odpadu/>. [cit. 2025-03-24].
- [23] Vyhláška č. 8/2021 Sb.: o Katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů (Katalog odpadů). In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2021, částka 5. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-8>.
- [24] KATALOG ODPADU. *Katalog odpadů 2025*. Online. Katalogodpadu.cz. [2025]. Dostupné z: <https://www.katalogodpadu.cz/odpad/odpady-z-tvareni-a-z-fyzikalni-a-mechanicke-povrchove-upravy-kovu-a-plastu-2>. [cit. 2025-05-01].
- [25] MŽP ČR. *Prognóza*. Online. Tiramiso. [b.r.]. Dostupné z: https://tiramiso.mzp.cz/casove_a.html. [cit. 2025-04-23].

- [26] PROFI PRESS S.R.O. *Okuje a konvertorové kaly*. Online. Odpady-online.cz. [b.r.]. Dostupné z: <https://odpady-online.cz/okuje-a-konvertorove-kaly>. [cit. 2025- 04-20].
- [27] *Průručka obrábění: kniha pro praktiky*. Praha: Sandvik, 1997. ISBN 91-972-2994-6.
- [28] VTEI. *Možnosti kombinovaných způsobů úpravy vybraných druhů odpadů za pomoci experimentálního zařízení pro fyzikální zpracování odpadů za účelem jejich dalšího využití*. Online. VTEI. Možnosti kombinovaných způsobů úpravy vybraných druhů odpadů za pomoci experimentálního zařízení pro fyzikální zpracování odpadů za účelem jejich dalšího využití. 2020. Dostupné z: <https://www.vtei.cz/2020/12/moznosti-kombinovanych-zpusobu-upravy-vybranych-druhu-odpadu-za-pomoci-experimentalniho-zarizeni-pro-fyzikalni-zpracovani-odpadu-za-ucelem-jejich-dalsiho-vyuziti>. [cit. 2025-03-24].
- [29] ALFUN. *Recyklace kovů aneb metal z kontejnerů*. Online. ALFUN. Recyklace kovů aneb metal z kontejnerů. B.r. Dostupné z: <https://www.alfun.cz/recyklace-kovu-aneb-metal-z-kontejneru/>. [cit. 2025-03-24].
- [30] GLE SCRAP METAL. *Sorting Scrap Metal: A Guide to Different Types of Metal*. Online. GLE SCRAP METAL. How to Get The Best Value When Sorting Scrap Metal. B.r. Dostupné z: <https://glescrap.com/blog/sorting-scrap-metal/>. [cit. 2025- 04-06].
- [31] *Sorting and Processing of Mixed Metal Waste*. Online. 2020. Dostupné také z: https://prevent-waste.net/wp-content/uploads/2023/06/FS07_Sorting.pdf.
- [32] VERICHEK. *Scrap Metal Recycling*. Online. VERICHEK. Scrap Metal Recycling. B.r. Dostupné z: <https://verichek.net/scrap-metal-recycling.html>. [cit. 2025-04-06].
- [33] MENDELOVA UNIVERZITA. *Technika pro zpracování odpadů*. Online. 2015. Dostupné také z: https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty/files/23/23-technika-pro-zpracovani-odpadu-1-junga-a.pdf.
- [34] WAMAG. *Závěsné magnetické separátory*. Online. Wamag.cz. [b.r.]. Dostupné z: <https://www.wamag.cz/produkty/zavesne-magneticke-separatory>. [cit. 2025- 05- 01].
- [35] SVOBODA, Jan. *Magnetic Techniques for the Treatment of Materials*. Online. 2004. Dostupné také z: <https://ukrms.com.ua/wp-content/uploads/2020/05/jan-svoboda-magnetic-techniques-for-the-treatment-of-materials.pdf>. [cit. 2025- 05- 01].
- [36] GTEK. *Working Principle of Eddy Current Separator*. Online. Gtekmagnet.com. [b.r.]. Dostupné z: <https://gtekmagnet.com/how-does-an-eddy-current-separator-work>. [cit. 2025-05-01].
- [37] STEINERT. *Induction sorting system*. Online. STEINERT. STEINERT Global. B.r. Dostupné z: <https://steinertglobal.com/sorting-systems/sensor-sorting/induction-sorting-system/>. [cit. 2025-04-06].

- [38] PFAFF, Florian; BAUM, Marcus; NOACK, Benjamin; HANEBECK, Uwe D.; GRUNA, Robin et al. TrackSort: Predictive tracking for sorting uncooperative bulk materials. Online. *2015 IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI)*. 2015, roč. 1, č. 1, s. 7-12. ISBN 978-1-4799-7772-7. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/MFI.2015.7295737>. [cit. 2025- 05-01].
- [39] MEYER EUROPE. *What is Optical Sorting and How It Works?* Online. MEYER EUROPE. MEYER Europe. 2024. Dostupné z: <https://meyer-corp.eu/article/what-is-optical-sorting-and-how-it-works/>. [cit. 2025-04-06].
- [40] STOKKERMILL. *Copper cable wires granulator*. Online. [b.r.]. Dostupné z: <https://www.stokkermill.com/en/copper-cable-wires-granulator>. [cit. 2025-04-12].
- [41] LOYAL MACHINERY. *Jak fungují gravitační separátory: pohledy na hustotní separaci a další*. Online. LOYAL MACHINERY. LOYAL MACHINERY. B.r. Dostupné z: <https://loyal-machine.com/cs/blog/gravity-separator>. [cit. 2025-04-12].
- [42] RECYCLING INSIDE. *What is the Shaking Table?* Online. RECYCLING INSIDE. [b.r.]. Dostupné z: <https://recyclinginside.com/recycling-technology/separation-and-sorting-technology/what-is-the-shaking-table/>. [cit. 2025-04-12].
- [43] JUNGA A. *Technika pro zpracování odpadů: část 1*. Online. Brno: Mendelova univerzita v Brně, [b.r.]. Dostupné z: https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty/files/23/23-technika_pro_zpracovani_odpadu_1_junga_a.pdf. [cit. 2025-04-12].
- [44] BUNTING. *ElectroStatic Separation of Minerals*. Online. Bunting-redditch.com. [2020]. Dostupné z: <https://www.bunting-redditch.com/electrostatic-separation-of-minerals>. [cit. 2025-05-01].
- [45] PRŮMYSLOVÁ EKOLOGIE. *Elektrostatický separátor umí kromě třídění plastů také čistit zemědělské plodiny*. Online. PRŮMYSLOVÁ EKOLOGIE. Prumyslovaekologie.cz. 2023. Dostupné z: <https://www.prumyslovaekologie.cz/info/elektrostaticky-separator-umi-krome-trideni-plastu-take-cistit-zemedelske-plodiny>. [cit. 2025-04-12].
- [46] DASCALESCU, Lucian; MIHALCIOIU, Adrian; TILMATINE, Amar; IUGA, Alexandru; SAMUILA, Adrian et al. *Electrostatic Separation Processes*. Online. *IEEE Industry Applications Magazine*. 2004. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1353043>. [cit. 2025-04-12].
- [47] DEOS TECHNOLOGIES S.R.O. *Dvouhřídelové drtiče*. Online. Deostech.cz. [b.r.]. Dostupné z: <https://www.deostech.cz/drtice/dvouhridelove-drtice>. [cit. 2025- 04-12].
- [48] BOCO PARDUBICE MACHINES, S.R.O. *Dvouhřídelový drtič pro velká zatížení DGD*. Online. Boco.cz. [b.r.]. Dostupné z: <https://www.boco.cz/dvouhridelovy-drtic-pro-velka-zatizeni-dgd>. [cit. 2025- 04- 12].
- [49] AGRO CS A. S. *Drtič dvouhřídelový s jedním pohonem – SDS*. Online. Engineering.cz. [b.r.]. Dostupné z: <https://www.engineering.cz/cs/produkty/drceni->

- [a-separace/drtice/drtic-dvouhridelovy-s-jednim-pohonem-sds/c-34/](#).
[cit. 2025- 05- 18].
- [50] LIEWALD, M.; BOLAY, C. a THULLNER, S. Shear cutting and counter shear cutting of sandwich materials. Online. *Journal of Manufacturing Processes*. 2013, roč. 15, č. 3. ISSN 1526-6125. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2013.03.001>. [cit. 2025-04-13].
- [51] ŠMERAL BRNO A.S. *Stroje pro přesné stříhání*. Online. Smeral.cz. [b.r.]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/57/fmb-440>. [cit. 2025-04-13].
- [52] E-LUC. *Co je to stříhání?* Online. E-LUC. Eluc.ikap.cz. [b.r.]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/lekce/co-je-to-strihani>. [cit. 2025-04-13].
- [53] MACHINEMFG. *Comprehensive Guide to Flame Cutting Processes*. Online. Shop.machinemfg.com. [2025]. Dostupné z: <https://shop.machinemfg.com/comprehensive-guide-to-flame-cutting-processes>. [cit. 2025-04-13].
- [54] SOLIK S.R.O. *Co je řezání plazmou a jak funguje?* Online. Solik.cz. [b.r.]. Dostupné z: <https://www.solik.cz/blog/co-je-rezani-plazmou-jak-funguje>. [cit. 2025-04-13].
- [55] PROFI PRESS S.R.O. *Briketování kovových odpadů*. Online. Odpady-online.cz. [b.r.]. Dostupné z: <https://odpady-online.cz/briketovani-kovovych-odpadu/>. [cit. 2025-04-13].
- [56] MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Mechanické zpracování pevných odpadů technologií briketováním*. Online. Mmspektrum.com. 2003. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/mechanicke-zpracovani-pevnych-odpadu-technologiei-briketovanim>. [cit. 2025-04-13].
- [57] BRIKLIS, SPOL. S.R.O. *Briketování kovových odpadů*. Online. Briklis.cz. [b.r.]. Dostupné z: <https://briklis.cz/briketovani-kovovych-odpadu>. [cit. 2025-04-13].
- [58] WIKIPEDIE. *Briketa*. Online. Wikipedia.org. [b.r.]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Briketa>. [cit. 2025-05-03].
- [59] RAHMAN, A.N.E.; MASOOD, Aziz; PRASAD, C.S.N. a VENKATESHAM, M. Influence of size and shape on the strength of briquettes. Online. *Indian Institute of Chemical Technology*. [1989], roč. 23, č. 3, s. 185-195. ISSN 0378-3820. Dostupné z: [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0378-3820\(89\)90018-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0378-3820(89)90018-0). [cit. 2025-05-03].
- [60] PROFI PRESS S.R.O. *Paketování kovového šrotu*. Online. Odpady-online.cz. [b.r.]. Dostupné z: <https://odpady-online.cz/paketovani-kovoveho-srotu/>. [cit. 2025- 04-13].
- [61] PROFI PRESS S.R.O. *Průmyslové využití hliníkových stěrů*. Online. Odpady-online.cz. [b.r.]. Dostupné z: <https://odpady-online.cz/prumyslove-vyuziti-hlinikovych-steru/>. [cit. 2025-04-13].

- [62] RUF. *Metal briquetting press*. Online. Briquetting.com. [b.r.]. Dostupné z: <https://www.briquetting.com/briquette-presses/metal-briquetting-press>. [cit. 2025- 05-18].
- [63] MORECAMBE METALS. *The Importance of Scrap Metal Baling*. Online. Morecambemetals.co.uk. [2020]. Dostupné z: <https://www.morecambemetals.co.uk/the-importance-of-scrap-metal-baling>. [cit. 2025-05-18].
- [64] GREEN STEEL WORLD. *New HYBRIT research shows hydrogen-reduced iron has superior properties*. Online. Greensteelworld.com. [2022]. Dostupné z: <https://greensteelworld.com/new-hybrit-research-shows-hydrogen-reduced-iron-has-superior-properties>. [cit. 2025-04-13].
- [65] OCELÁŘSKÁ UNIE. *Jak se vyrábí a zpracovává ocel*. Online. Ocelarskaunie.cz. [2018]. Dostupné z: <https://www.ocelarskaunie.cz/jak-se-vyrabi-a-zpracovava-ocel>. [cit. 2025-04-13].
- [66] EUROPA, Bellona. *Cirkulární využití oceli*. Online. Energetika.tzb-info.cz. [2022]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/nakladani-s-odpady/24221-cirkularni-vyuziti-oceli>. [cit. 2025-04-13].
- [67] OCELÁŘSKÁ UNIE. *Jan Czudek: Část primární výroby oceli v Česku zřejmě zanikne*. Online. Ocelarskaunie.cz. [2018]. Dostupné z: <https://www.ocelarskaunie.cz/jan-czudek-cast-primarni-vyroby-oceli-v-cesku-zrejme-zanikne>. [cit. 2025-04-13].
- [68] MRS STEEL. *Where does steel come from - Overview steel making process*. Online. Mrssteel.com.vn. [2024]. Dostupné z: <https://mrssteel.com.vn/blogs/steel-blog/where-does-steel-come-from>. [cit. 2025-05-18].
- [69] MPO ČR. *Výroba železa a oceli: Směrnice 2010/75/EU o průmyslových emisích*. [online]. 2. Praha, 2016. Dostupné také z: https://mpo.gov.cz/assets/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/ippc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecisteni/aktuality/2016/12/BREF_Zelezo_final_v2.pdf. [cit. 2025- 05- 01].
- [70] ŠENBERGER, Jaroslav; BŮŽEK, Zdeněk; ZÁDĚRA, Antonín; STRÁNSKÝ, Karel a KAFKA, Václav. *Metalurgie oceli na odlitky*. Brno: VUTIU, 2008. ISBN 978-80-214-3632-9.
- [71] OCELÁŘSKÁ UNIE. *Jak úspěšně dekarbonizovat ocelářství?* Online. Ocelarskaunie.cz. [2022]. Dostupné z: <https://www.ocelarskaunie.cz/jak-uspesne-dekarbonizovat-ocelarstvi/>. [cit. 2025-04-14].
- [72] KRESCHL, Thilo a VOLKOVA, Olena. *Steel*. Online. In: *Handbook of Recycling*. 2. Amsterdam: Elsevier, [2024], s. 1. ISBN 978-0-323-85514-3. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780323855143000233>. [cit. 2025-04-14].

- [73] EASTCARBON. *Electric Arc Furnace 101: A Complete Guide for Beginners and Experts*. Online. Eastcarb.com. [2024]. Dostupné z: <https://www.eastcarb.com/electric-arc-furnace/>. [cit. 2025-04-14].
- [74] LMM GROUP. *One stop service for steel industry*. Online. Lmmgroupcn.com. [2020]. Dostupné z: <https://www.lmmgroupcn.com/electric-arc-furnace>. [cit. 2025- 05-18].
- [75] ELEKTRO. *Indukční ohřev*. Online. Odborné časopisy CZ. [b.r.]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/indukcni-ohrev-3--14655>. [cit. 2025-04-14].
- [76] HLQ INDUCTION EQUIPMENT CO. *Elektrické indukční pece*. Online. DW-Induction Heater. [b.r.]. Dostupné z: <https://cs.dw-inductionheater.com/product/electric-induction-furnace>. [cit. 2025-04-14].
- [77] STRONER, Martin. *Technologické projektování: kapacitní propočet slévárny*. Brno: VUT, [b.r.]. Dostupné z: https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/ht1_tecnologicke_projektovani_ka_pacitni_propocet_slevarny_stroner.pdf. [cit. 2025-04-13].
- [78] ELECTROHEAT INDUCTION. *Why an Induction Furnace is an Optimal Choice to Melt Copper*. Online. Electroheatinduction.com. [2013]. Dostupné z: <https://electroheatinduction.com/why-an-induction-copper-furnace-is-an-optimal-choice>. [cit. 2025-05-18].
- [79] KONVIČKA, Vladislav. *Výroba oceli v kyslíkových konvertorech a odlévání*. Online. Podzemi.solvayovylomy.cz. [b.r.]. Dostupné z: <http://podzemi.solvayovylomy.cz/prirucka/zprac/ocel/ocel.htm>. [cit. 2025-04-14].
- [80] RESEARCHGATE. *Dynamic Modeling and Simulation of Basic Oxygen Furnace (BOF) Operation*. Online. Researchgate.net. 2020. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/340836714_Dynamic_Modeling_and_Simulation_of_Basic_Oxygen_Furnace_BOF_Operation. [cit. 2025-05-18].
- [81] STUDENTSKÉ.CZ. *Tavení a lití slévárenských slitin*. Online. Studentské.cz. [b.r.]. Dostupné z: <https://strojirenstvi.studentske.cz/2008/10/taven-lit-slvrenskch-slitin.html>. [cit. 2025-04-14].
- [82] GIESSEREI LEXIKON. *Cupola furnace*. Online. Giesserei Lexikon. [b.r.]. Dostupné z: <https://www.giessereilexikon.com/en/foundry-lexicon/Encyclopedia/show/cupola-furnace-4578/?cHash=96d0611d70d0e28120d70c41c5edd72f>. [cit. 2025-04-14].
- [83] *Technológia 1*. Online. Košice: Strojnícka fakulta Technickej univerzity v Košiciach, [b.r.]. Dostupné z: https://www.sjf.tuke.sk/ktmappv/images/E_materialy/Prednky-Technologia-1.pdf. [cit. 2025-04-14].
- [84] HAMPL, Jiří. *METALURGIE SLÉVÁRENSKÝCH SLITIN*. Studijní opora. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, [2013]. Dostupné také z: http://katedry.fmfi.vsb.cz/Modin_Animace/Opory/02_Metalurgicke_inzenyrstvi/09_Metalurgie_slevarenskych_slitin/Hampl_Metalurgie_slevarenskych_slitin.pdf.

- [85] ENGG-TRIBE. *What is a cupola furnace and how does it work?* Online. Engineeringtribe.com. [b.r.]. Dostupné z: <https://www.engineeringtribe.com/cupola-furnace>. [cit. 2025-05-18].
- [86] BROŽOVÁ, Soňa; a kol. Využití hydrometalurgických postupů pro získání vybraných kovů z elektroodpadu. Online. *Hutnické listy*. 2016, roč. 69, č. 6, s. 1-4. Dostupné z: <https://www.hutnickelisty.cz/wp-content/uploads/2019/10/BrozovaHL6-2016.pdf>. [cit. 2025-04-14].
- [87] MALCHARCZIKOVÁ, Jitka. *Recyklace specifických odpadů*. [online], učební text. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2018. Dostupné také z: http://katedry.fmmi.vsb.cz/Opory_FMMI/637/637-Recyklace_specifickych_odpadu.pdf.
- [88] PROFI PRESS S.R.O. *Plazma znamená přelom v recyklaci drahých kovů*. Online. Odpady-online.cz. [b.r.]. Dostupné z: <https://odpady-online.cz/plazma-znamená-prelom-v-recyklaci-drahych-kovu/>. [cit. 2025-04-14].
- [89] SAFINA A.S. *Záměr zařízení pro zpracování kovového odpadu včetně elektroodpadů – oznámení: Záměr zařízení pro zpracování kovového odpadu včetně elektroodpadů – oznámení*. [online]. 2005. Dostupné také z: https://portal.cenia.cz/eiasea/download/RUIBX09WMTA1MV9vem5hbWVuaURPQ18xLnBkZg/OV1051_oznameni.pdf.
- [90] AIR PRODUCTS. *Cryogenic Material Separation*. Online. Air Products. [b.r.]. Dostupné z: <https://www.airproducts.com/applications/cryogenic-material-separation>. [cit. 2025-04-14].
- [91] HIR LTD. *Revolutionising Scrap Metal Recycling: How AI & Technology Are Changing the Game*. Online. [2025]. Dostupné z: <https://hirltd.co.uk/2025/02/04/revolutionising-scrap-metal-recycling-how-ai-technology-are-changing-the-game>. [cit. 2025-04-14].
- [92] SADIA, Ilyas a JAE-CHUN, Lee. Biometallurgical Recovery of Metals from Waste Electrical and Electronic Equipment: a Review. Online. *ChemBioEng Reviews*. [2014], roč. 1, č. 4, s. 148-169. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/cben.201400001>. [cit. 2025-04-23].
- [93] CEVOOH. *Studie pro možnosti využití chemické recyklace pro zpracování plastů – operativní výzkum*. S. 77. Praha, [2023]. Dostupné také z: <https://cevooh.cz/wp-content/uploads/2024/02/V165.pdf>.
- [94] NUTEC BICKLEY. *Efficient and Reliable Heat Treating Solutions with Top-class Performance*. Online. Nutecbickley.com. [b.r.]. Dostupné z: <https://www.nutecbickley.com/processes/heat-treating>. [cit. 2025-05-18].
- [95] BAS RUDICE S.R.O. *Ruční rentgenový analyzátor alpha*. Online. Spektrometry.cz. [b.r.]. Dostupné z: https://www.spektrometry.cz/analyzatory/rucni_analyzator_alpha_kovy.php. [cit. 2025-05-14].
- [96] EUROPEAN STEEL AND ALLOY GRADES. *25CrMoS4 (1.7213)*. Online. Steelnumber.com. [b.r.]. Dostupné z:

- https://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=194.
[cit. 2025-05-18].
- [97] KOVINTRADE PRAHA SPOL. S R.O. *Materiálový list oceli 1.2343*. Online. Kovintrade.cz. [b.r.]. Dostupné z: <https://www.kovintrade.cz/1-2343>. [cit. 2025- 05- 18].
- [98] HÁJKOVÁ, Kateřina. *Laboratorní návody k chemickým analýzám dřeva*. Učební materiál. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, [2024]. Dostupné také z: https://www.fld.czu.cz/cache/article-data/FLD/Laboratni%20navody-blok_e-verze.pdf.
- [99] COUNCIL REGULATION (EU) No 333/2011: establishing criteria determining when certain types of scrap metal cease to be waste under Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council. Úřední věstník Evropské unie (L). In: . Brusel, Evropská komise, [2011]. Dostupné také z: <https://www.legislation.gov.uk/eur/2011/333/annexes/data.xht>.
- [100] *METHOD 9071B: n-HEXANE EXTRACTABLE MATERIAL (HEM) FOR SLUDGE, SEDIMENT, AND SOLID SAMPLES*. Washington, 1998. Dostupné také z: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/9071b.pdf#:~:text=Freon,judged%20to%20be%20the%20best>.
- [101] HIELSCHER ULTRASONICS. *Soxhletova extrakce – Co to je? Jak to funguje?* Read more: <https://www.hielscher.com/cs/soxhlet-extraction-setup-and-function.htm>. Online. Hielscher. [b.r.]. Dostupné z: <https://www.hielscher.com/cs/soxhlet-extraction-setup-and-function.htm>. [cit. 2025-04-27].
- [102] ELUC. *Vznik třísky a její druhy*. Online. Eluc.ikap. [b.r.]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/lekce/vznik-trisky-a-jeji-druhy>. [cit. 2025-04-27].
- [103] BRIKLIS S.R.O. *Briketovací lisy pro lisování kovů*. [2015]. Dostupné také z: https://briklis.cz/wp-content/uploads/2021/10/PROSPEKT-LISY-NA-KOVY-CZ_2015.pdf. [cit. 2025- 05- 01].
- [104] *Technologické projekty*. Brno: VUT Brno, 1991. ISBN 80-214-0385-3.
- [105] PK TECHNIK S.R.O. *Univerzální nákladní přívěs Brian James Connect, 505x213x30, 3500 kg*. Online. Pktechnik-trailers.com. [b.r.]. Dostupné z: https://www.pktechnik-trailers.com/univerzalni-nakladni-privesy-brian-james/univerzalni-nakladni-prives-brian-james-connect--500x210--3500-kg/?gad_source=1&gad_campaignid=22182573749&gbraid=0AAAAADr3hxHq55JonQACFq-5UGJIpLZ8c&gclid=CjwKCAjwz_bABhAGEiwAm-P8Yb4pmhSjVeb5S5Exme-7tDAIGHHCfxfvbbB3i-64InD4slH6LEEBTBoCOJsQAvD_BwE. [cit. 2025-05-09].
- [106] PTC BRNO SPOL. S R.O. *Gitterboxy a MARS bedny*. Online. Ptcbrno.cz. [b.r.]. Dostupné z: <https://www.ptcbrno.cz/produkty/gitterbox-mars-bedny>. [cit. 2025- 05- 09].
- [107] NEDERMAN. *Vertikální drtič kovů, typ KB, pro třísky a špony*. [2020]. Dostupné také z: www.nederman.com/catalog-images/product/169234/original/cs-

cz/technicaldatasheet_vertikální_drtič_kovů_typ_kb_pro_třísky_a_špony_16923_4.pdf.

- [108] BRIKLIS S.R.O. *Dopravníky*. Online. Brikliis.cz. [b.r.]. Dostupné z: <https://brikliis.cz/kovove-odpady/dopravniky>. [cit. 2025-05-11].
- [109] BRIKLIS S.R.O. *BrikStar M a MD*. Online. Brikliis.cz. [b.r.]. Dostupné z: <https://brikliis.cz/kovove-odpady/briketovaci-lisy/brikstar-m-a-md>. [cit. 2025- 05- 11].
- [110] BAUHAUS. *IBC kontejner s novou nádobou*. Online. Bauhaus.cz. [b.r.]. Dostupné z: <https://www.bauhaus.cz/ibc-kontejner-s-novou-nadobou-29369487>. [cit. 2025-05-11].
- [111] KOVOFINIŠ. *AQUADEST vakuové odparky*. Online. Aquadest.cz. [b.r.]. Dostupné z: <https://aquadest.cz/krystalizacni-odparky>. [cit. 2025-05-11].
- [112] BRIKLIS S.R.O. *Zájem o briketování kovů v ČR začal stoupat*. [2015]. Dostupné také z: <https://brikliis.cz/wp-content/uploads/2021/10/Zajem-o-briketovani-zacal-stoupat-2-2015-MT.pdf>.
- [113] KOVOFINIŠ A.S. *Vakuové odpařování*. Online. Aquadest.cz. [b.r.]. Dostupné z: <https://aquadest.cz/vakuove-odparovani>. [cit. 2025-05-16].

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

KO	Kovový odpad
CEAP	Circular economy action plan (v překladu Akční plán pro oběhové hospodářství)
CEP	Circular economy package (v překladu Balíček oběhového hospodářství)
EOP	Elektrická oblouková pec
LME	London Metal Exchange (v překladu Londýnská burza kovů)
ČR	Česká republika
EU	Evropská unie
AI	Artificial Intelligence (v překladu umělá inteligence)

SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 1 Rozdíl mezi cirkulární a lineární ekonomikou [10]	5
Obr. 2 Hierarchie nakládání s odpady [15]	6
Obr. 3 Světová výroba surové oceli v letech 1950 až 2024 [21].....	8
Obr. 4 Ukázka části KO v Katalogu odpadů [24]	9
Obr. 5 Princip nakládání s KO v souladu s cirkulární ekonomikou.....	11
Obr. 6 Zjednodušený princip fungování magnetické separace metodou magnetických pásů [34]	14
Obr. 7 Zjednodušený princip fungování separace vířivými proudy [36]	15
Obr. 8 Schematické znázornění principu činnosti senzorového separátoru [38]	16
Obr. 9 Zjednodušený princip fungování mokrého vibračního stolu	17
Obr. 10 Zjednodušený princip fungování elektrostatické separace [44].....	18
Obr. 11 Dvouhřídelový drtič [49]	19
Obr. 12 Hydraulické nůžky na kovové materiály.....	19
Obr. 13 Různé tvary a materiály briket [62]	21
Obr. 14 Kompaktní paketrované balíky plechovek [63]	21
Obr. 15 Schéma výrobních procesů primární a sekundární výroby oceli [68].....	22
Obr. 16 Zjednodušené schéma EOP [74]	23
Obr. 17 Popis elektrické indukční pece [78]	24
Obr. 18 Schéma kyslíkového konvertoru [80]	25
Obr. 19 Schématické znázornění kuplové pece pro tavení litiny [85]	25
Obr. 20 Vozík na třísky o objemu 1 m ³	29
Obr. 21 Kontejner na třísky o objemu 25 m ³	29
Obr. 22 Sekundární separace zbytkové řezné emulze	29
Obr. 23 Kovací lis	30
Obr. 24 Kontinuální žíhací pec [94].....	30
Obr. 25 Tryskací zařízení	30
Obr. 26 Kovová bedna typu USB-1	30

Obr. 27 Vanový kontejner 10 m ³	30
Obr. 28 Znečištěné okuje z výroby	31
Obr. 29 Třísky krátké z obrobny (elementární).....	34
Obr. 30 Třísky dlouhé z obrobny (zejména vinuté dlouhé)	34
Obr. 31 Třísky z řezárny (spirálové ploché)	34
Obr. 32 Třísky dlouhé z nástrojárny (stužkové smotané)	34
Obr. 33 Třísky krátké z nástrojárny (elementární).....	34
Obr. 34 Prachové okuje z tryskačů.....	35
Obr. 35 Šupinkovité okuje	35
Obr. 36 Roční materiálová bilance KO v podniku.....	36
Obr. 37 Ukázka průběhu měření chemického složení třísek.....	37
Obr. 38 Pravděpodobnostní graf pro test normality obsahu prvku Cr z obrobny – výstup ze softwaru Minitab.....	38
Obr. 39 Neparametrický Wilcoxonův test pro obsah Cr v oceli z obrobny – výstup ze softwaru Minitab	38
Obr. 40 Pravděpodobnostní graf pro test normality obsahu prvku Ni z obrobny – výstup ze softwaru Minitab.....	39
Obr. 41 Souhrnná statistická analýza obsahu Ni z obrobny – výstup ze softwaru Minitab.....	40
Obr. 42 Pravděpodobnostní graf pro test normality obsahu prvku Cr z nástrojárny – výstup ze softwaru Minitab.....	41
Obr. 43 Souhrnná statistická analýza obsahu Cr z nástrojárny – výstup ze softwaru Minitab	42
Obr. 44 Pravděpodobnostní graf pro test normality obsahu prvku Cr z řezárny – výstup ze softwaru Minitab.....	43
Obr. 45 Souhrnná statistická analýza obsahu Cr z řezárny – výstup ze softwaru Minitab	44
Obr. 46 Neparametrický Wilcoxonův test pro obsah Mo v oceli z řezárny – výstup ze softwaru Minitab	44
Obr. 47 Odebrané vzorky připravené k měření	47
Obr. 48 Vážení vzorku z nástrojárny po vysušení	47
Obr. 49 Srovnání obsahu vlhkosti ve vzorcích ocelových třísek z nástrojárny, obrobny a řezárny vyjádřené pomocí boxplotu. Graf znázorňuje rozptyl, medián a směrodatnou odchylku naměřených hodnot.	48

Obr. 50 Odebrané vzorky z řezárna-olej při sušení.....	50
Obr. 51 Vážení vzorku z řezárna-olej po vysušení	50
Obr. 52 Boxplot znázorňující rozptyl, medián a směrodatnou odchylku obsahu olejové složky naměřených hodnot z řezárna-olej	51
Obr. 53 Objemová hmotnost třísek podle jejich tvaru [102].....	52
Obr. 54 Přehled měřených vzorků pro sypnou hmotnost.....	53
Obr. 55 Ukázka měření sypné hmotnosti	53
Obr. 56 Měsíční produkce ocelových třísek za období srpen 2023 až říjen 2024	57
Obr. 57 Zjednodušené schéma systému sběru třísek.....	59
Obr. 58 Rozměrový náčrt vozíku na třísky používaného u jednotlivých obráběcích strojů. ...	60
Obr. 59 Rozměrové uspořádání přívěsného vozíku určeného pro převoz ocelových třísek. ...	61
Obr. 60 3D vizualizace návrhu uspořádání deseti kontejnerů na třísky umístěných na dvounápravovém přívěsném vozíku.....	61
Obr. 61 Schéma briketovací linky	62
Obr. 62 Šneková násypka 4SN [103]	63
Obr. 63 Vertikální drtič třísek KB 20 [107]	63
Obr. 64 Dvoušnekový dopravník [108].....	64
Obr. 65 Detail dvoušnekového dopravníku [108]	64
Obr. 66 Briketovací lis BrikStar M [109]	65
Obr. 67 IBC kontejner[110]	65
Obr. 68 Krystalizační odparka AQUADESK–KR [111]	66
Obr. 69 Pravděpodobnostní graf pro test normality obsahu prvku Mn z obrobny – výstup ze softwaru Minitab.....	93
Obr. 70 Neparametrický Wilcoxonův test pro obsah Mn v oceli z obrobny – výstup ze softwaru Minitab	93
Obr. 71 Pravděpodobnostní graf pro test normality obsahu prvku Mn z nástrojárny – výstup ze softwaru Minitab.....	94
Obr. 72 Souhrnná statistická analýza obsahu Mn z nástrojárny – výstup ze softwaru Minitab	94

Obr. 73 Pravděpodobnostní graf pro test normality obsahu prvku Mo z nástrojárny – výstup ze softwaru Minitab.....	95
Obr. 74 Souhrnná statistická analýza obsahu Mo z nástrojárny – výstup ze softwaru Minitab	95
Obr. 75 Pravděpodobnostní graf pro test normality obsahu prvku V z nástrojárny – výstup ze softwaru Minitab.....	96
Obr. 76 Souhrnná statistická analýza obsahu V z nástrojárny	96
Obr. 77 Pravděpodobnostní graf pro test normality obsahu Mn z nástrojárny – výstup ze softwaru Minitab.....	97
Obr. 78 Souhrnná statistická analýza obsahu Mn z řezárny	97
Obr. 79 Pravděpodobnostní graf pro test normality obsahu prvku Mo z řezárny – výstup ze softwaru Minitab.....	98

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Produkce okují v ČR v letech 2013-2022 [25]	10
Tab. 2 Produkce řezných kapalin v ČR v letech 2013-2022	10
Tab. 3 Přehled procentuálního podílu dlouhých, krátkých třísek a stanovení procentuálního podílu třísek s vodou ředitelnou řeznou emulzí a třísek s minerálním řezným olejem podle jednotlivých stanovišť	32
Tab. 4 Přehled zpracovávaných ocelí podle skupin, norem a pracovišť	33
Tab. 5 Chemické složení ocelí 25CrMoS4 [96] a 19 552 [97] dle příslušných norem a stanovišť odběru vzorků.....	37
Tab. 6 Přehled výsledků vyhodnocení legujících prvků Cr, Mn a Ni u oceli z obrobny	40
Tab. 7 Přehled výsledků vyhodnocení legujících prvků Cr, Mn, Mo a V u oceli z nástrojárny	42
Tab. 8 Přehled výsledků vyhodnocení legujících prvků Cr, Mn a Mo u oceli z řezárny	45
Tab. 9 Rozmezí chemického složení třísek podle pracovišť a shoda s normovanými ocelemi	45
Tab. 10 Naměřené hodnoty vlhkosti ocelových třísek z obrobny.....	48
Tab. 11 Naměřené hodnoty vlhkosti ocelových třísek z nástrojárny.	48
Tab. 12 Naměřené hodnoty vlhkosti ocelových třísek z řezárny s vodou ředitelnou emulzí...	48
Tab. 13 Naměřené hodnoty obsahu olejové složky v ocelových třískách z řezárny s minerálním olejem za druhé varianty s úbytkem oleje na třískách.....	51
Tab. 14 Výsledky měření sypné hmotnosti	54
Tab. 15 Průměrné hodnoty sypné hmotnosti z jednotlivých stanovišť	54
Tab. 16 Teoretická roční produkce řezných kapalin	55
Tab. 17 Průměrná očekávaná produkce třísek podle časových intervalů.....	57
Tab. 18 Očekávaná produkce třísek podle časových intervalů při započtení časových fondů	59
Tab. 19 Výpočet teoretického a navrženého intervalu svozu ocelových třísek obrobny a nástrojárny na základě denní objemové produkce a využitelného objemu kontejneru.....	60
Tab. 20 Výpočet teoretického a navrženého intervalu svozu ocelových třísek z řezárny na základě denní objemové produkce a využitelného objemu přívěsného vozíku.	61
Tab. 21 Technické údaje násypky 4SN [103] a vertikálního drtiče KB 20 [107].....	63
Tab. 22 Technické údaje briketovacího lisu BrikStar M 30 [103].....	64

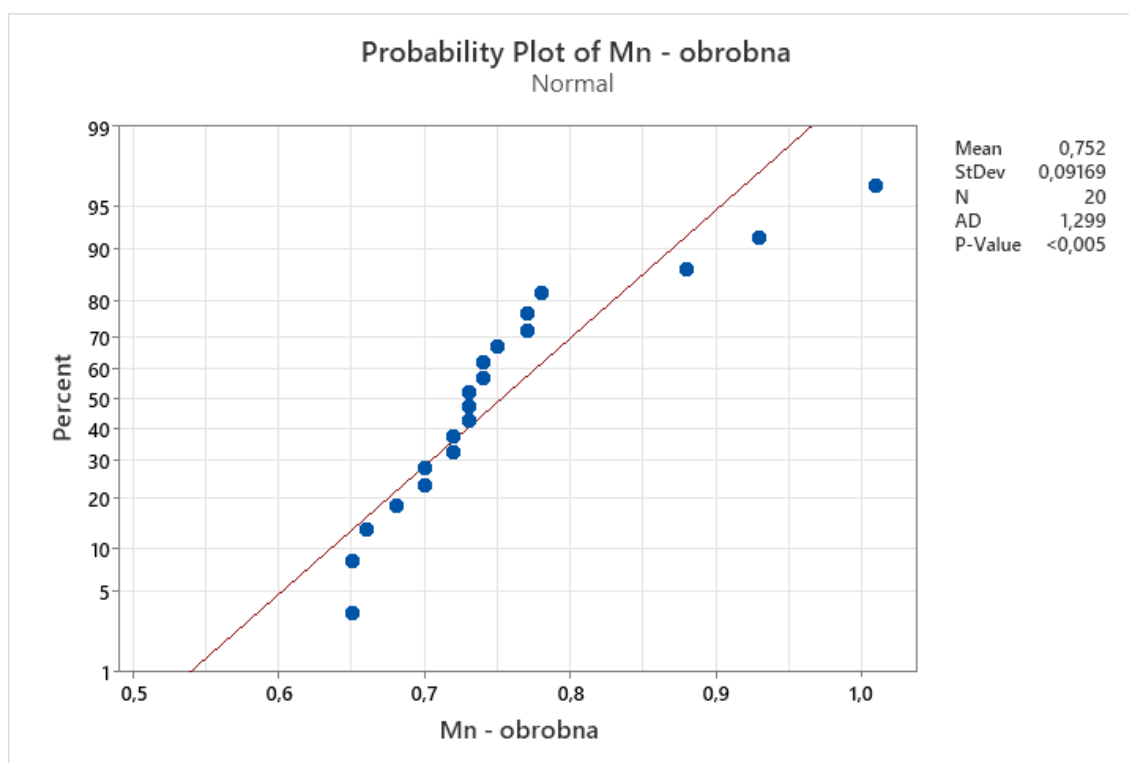
Tab. 23 Technické údaje krystalizační odparky AQUADEST-KR 250 [111].....	66
Tab. 24 Teoretické prostorové nároky pro briketovací linku	66
Tab. 25 Roční úspory a potenciální výnosy z navrhované briketovací linky.....	67
Tab. 26 Roční personální náklady na dvousměnný provoz	67
Tab. 27 Instalovaný příkon briketovací linky	68
Tab. 28 Celková roční spotřeba elektrické energie briketovací linky	68
Tab. 29 Teoretická roční spotřeba elektrické energie na osvětlení výrobní haly	68
Tab. 30 Celkové roční provozní náklady na elektrickou energii	69
Tab. 31 Celkové roční náklady na likvidaci řezných kapalin (dle Katalogu odpadů 12 01 09)	69
Tab. 32 Odhadované roční náklady na údržbu.....	69
Tab. 33 Orientační roční náklady na pronájem výrobních prostor	69
Tab. 34 Zjednodušené ekonomické zhodnocení procesu briketování ocelových třísek za rok 70	
Tab. 35 Roční úspora při využití odparky AQUADEST-KR 250	71

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Metodika vyhodnocení pro chemické složení třísek ze stanovišť obrobna, nástrojárna a řezárna - výstup ze softwaru Minitab

PŘÍLOHA A: METODIKA VYHODNOCENÍ CHEMICKÉHO SLOŽENÍ TRÍSEK

Obrobna



Obr. 69 Pravděpodobnostní graf pro test normality obsahu prvku Mn z obrobny – výstup ze softwaru Minitab

Wilcoxon Signed Rank CI: Mn - obrobna

Method

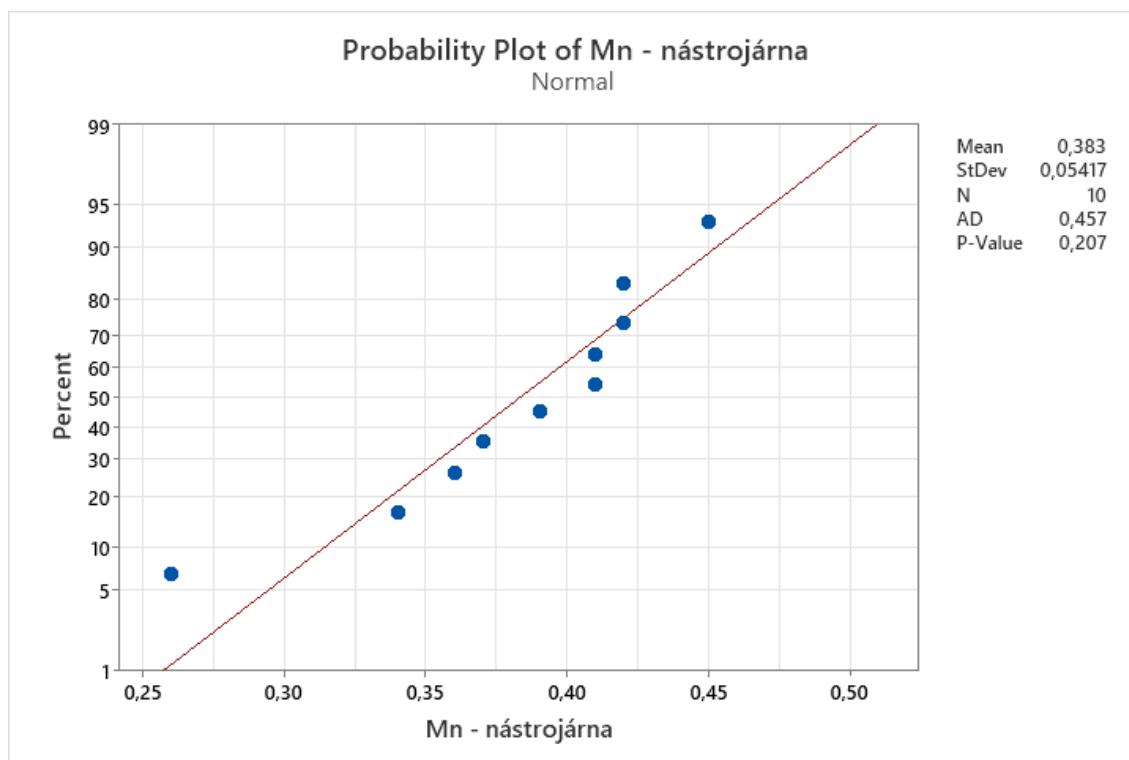
η : median of Mn - obrobna

Descriptive Statistics

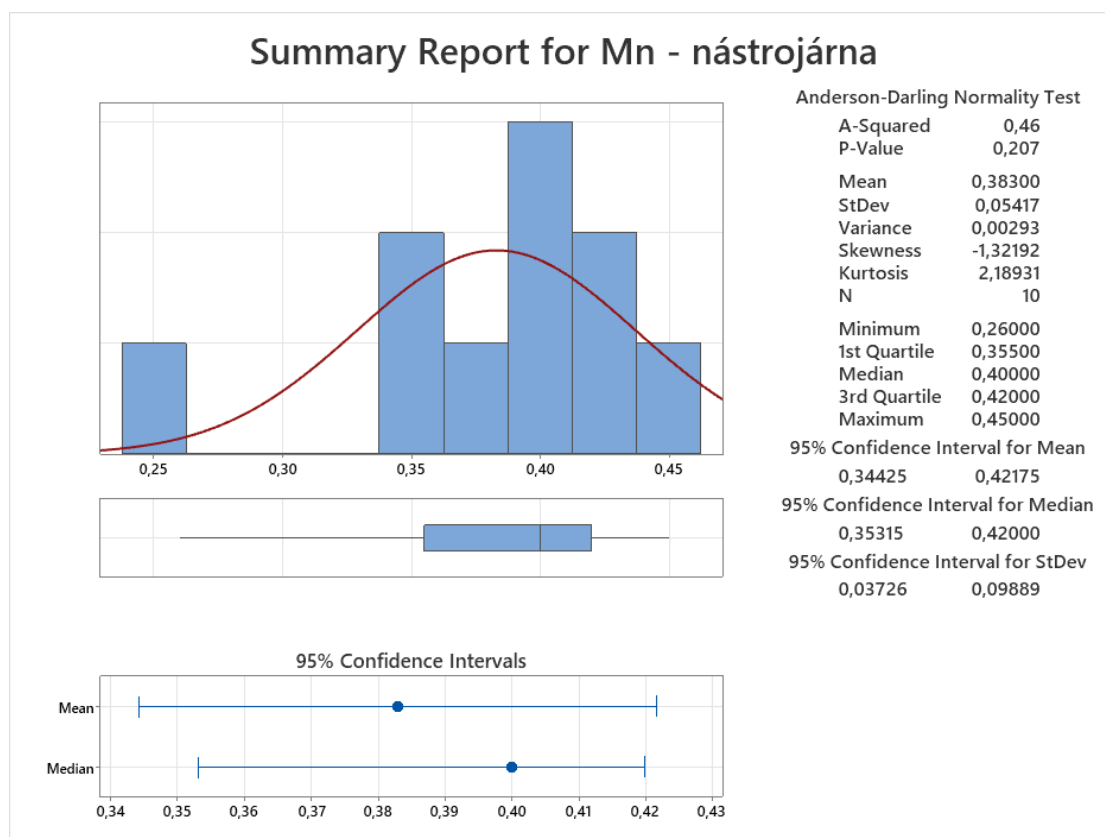
Sample	N	Median	CI for η	Achieved Confidence
Mn - obrobna	20	0,735	(0,71; 0,79)	95,00%

Obr. 70 Neparametrický Wilcoxonův test pro obsah Mn v oceli z obrobny – výstup ze softwaru Minitab

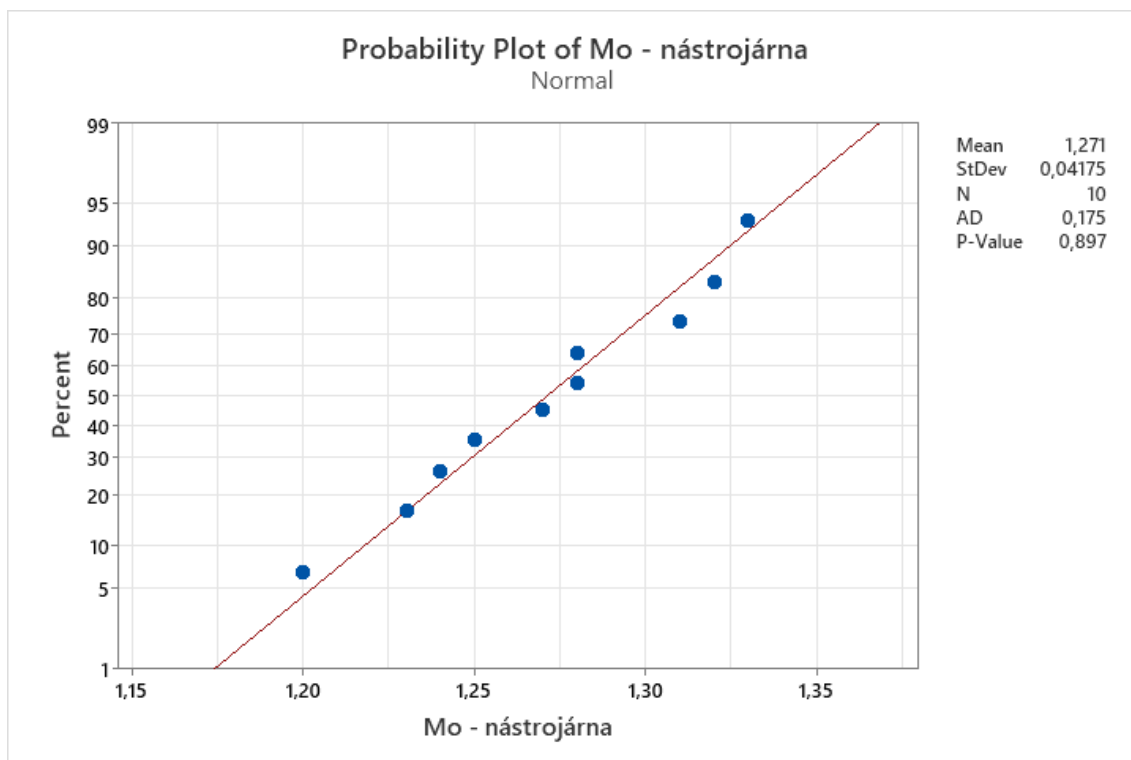
Nástrojárna



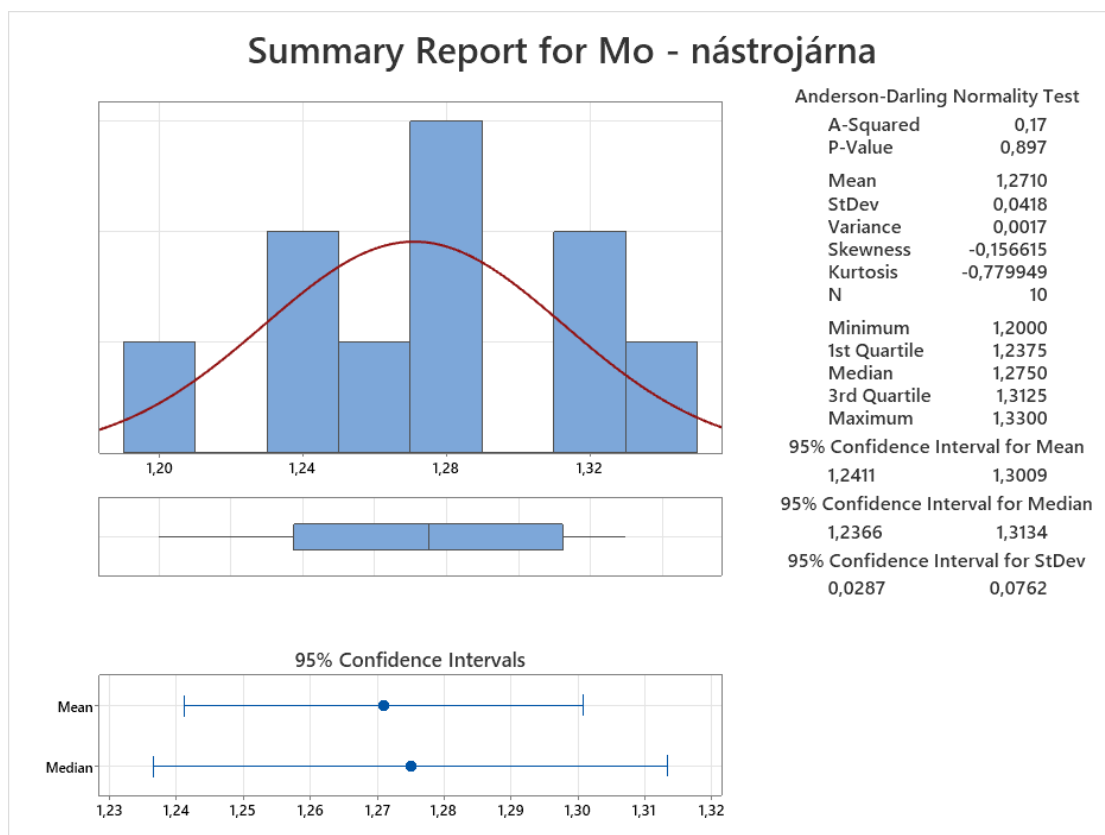
Obr. 71 Pravděpodobnostní graf pro test normality obsahu prvku Mn z nástrojárny – výstup ze softwaru Minitab



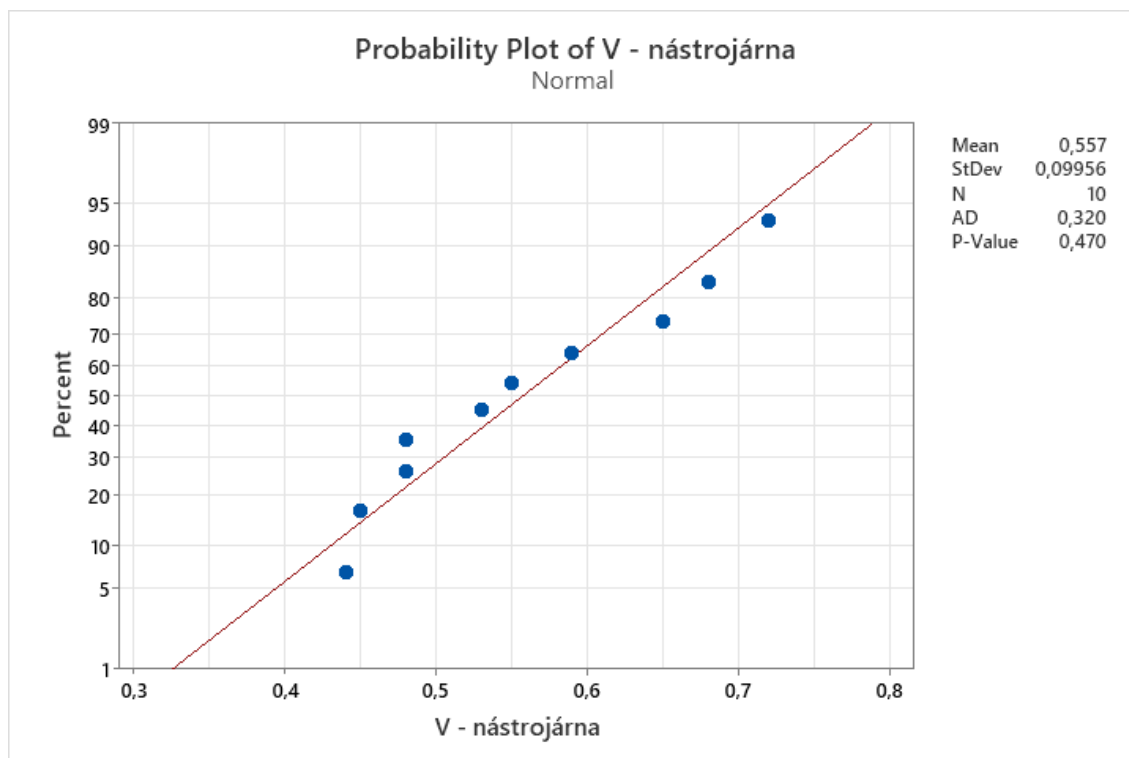
Obr. 72 Souhrnná statistická analýza obsahu Mn z nástrojárny – výstup ze softwaru Minitab



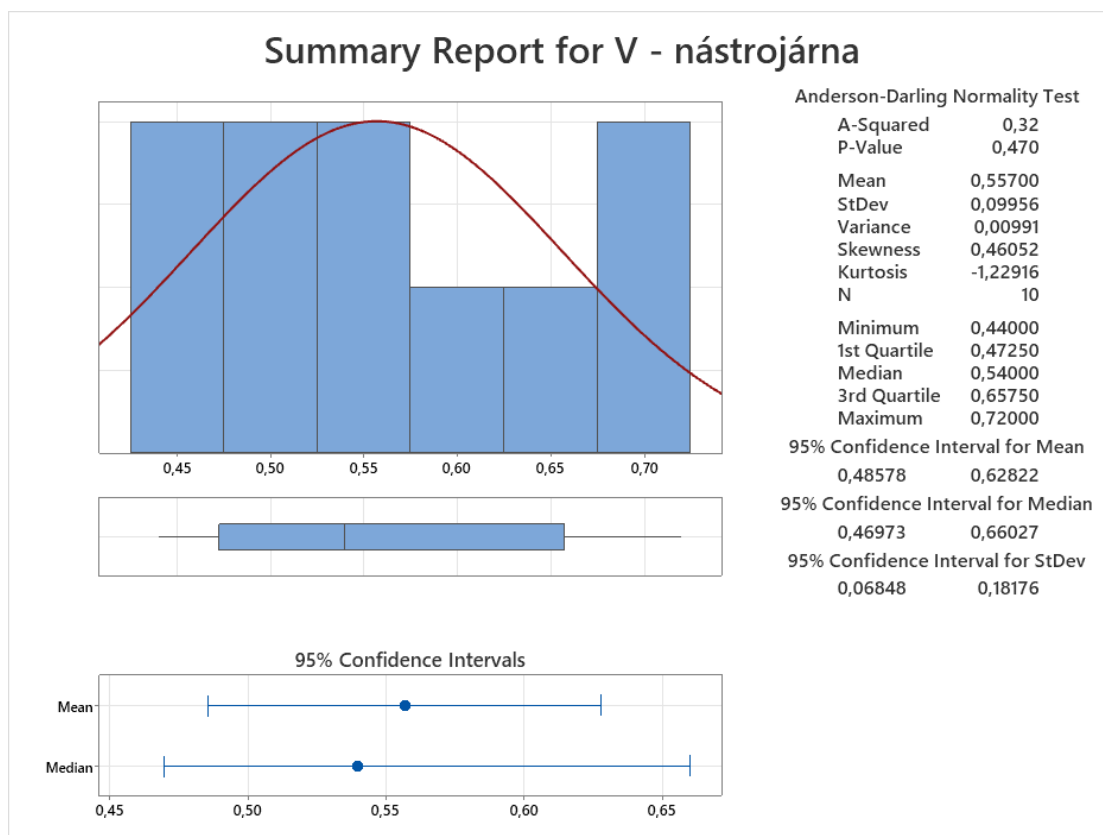
Obr. 73 Pravděpodobnostní graf pro test normality obsahu prvku Mo z nástrojárny – výstup ze softwaru Minitab



Obr. 74 Souhrnná statistická analýza obsahu Mo z nástrojárny – výstup ze softwaru Minitab

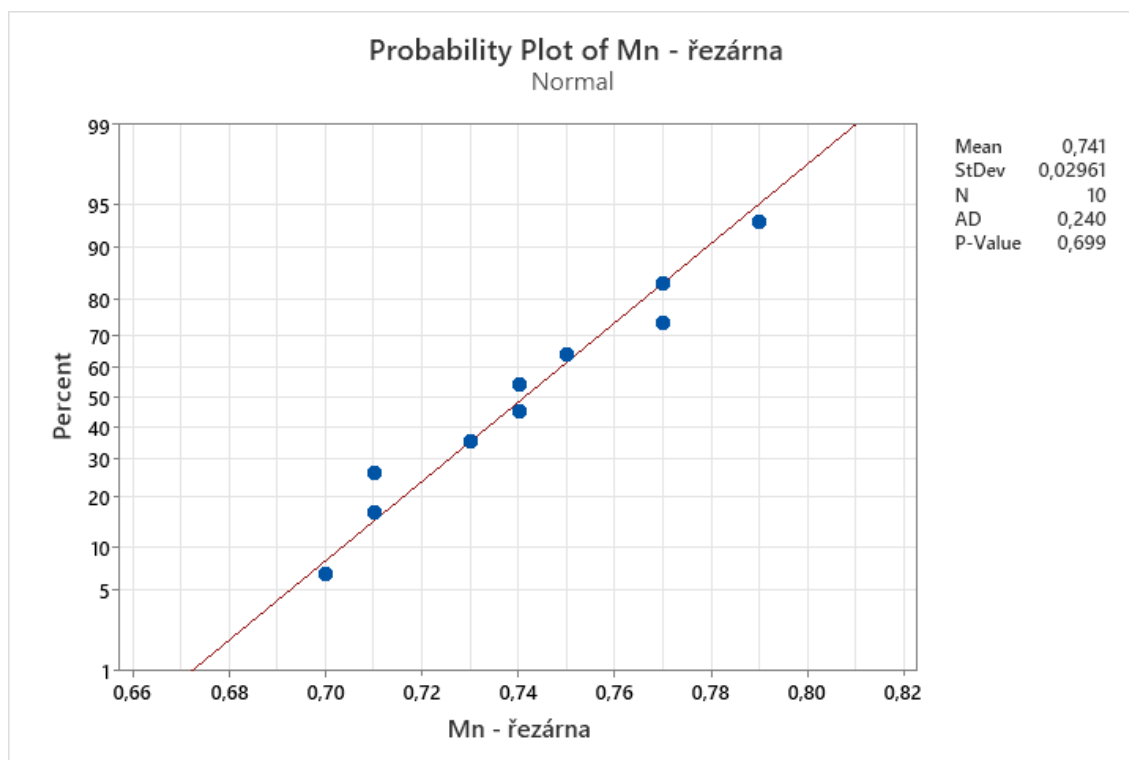


Obr. 75 Pravděpodobnostní graf pro test normality obsahu prvku V z nástrojárny – výstup ze softwaru Minitab

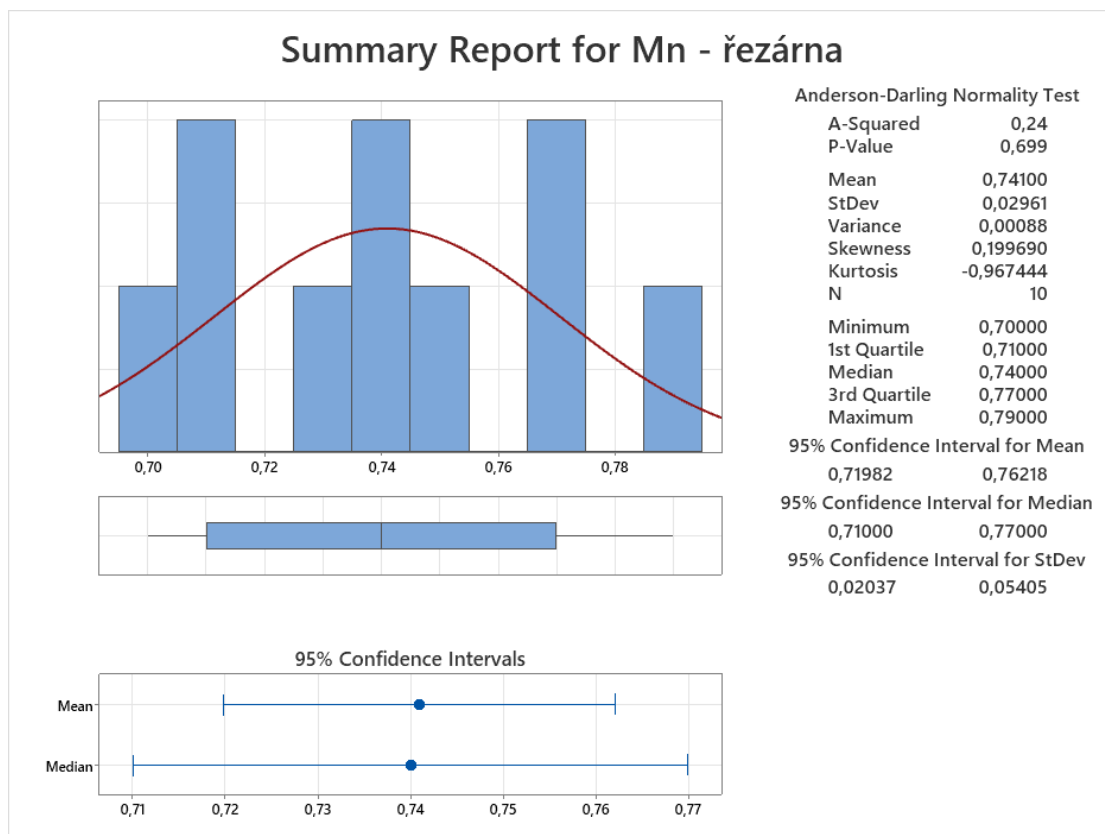


Obr. 76 Souhrnná statistická analýza obsahu V z nástrojárny

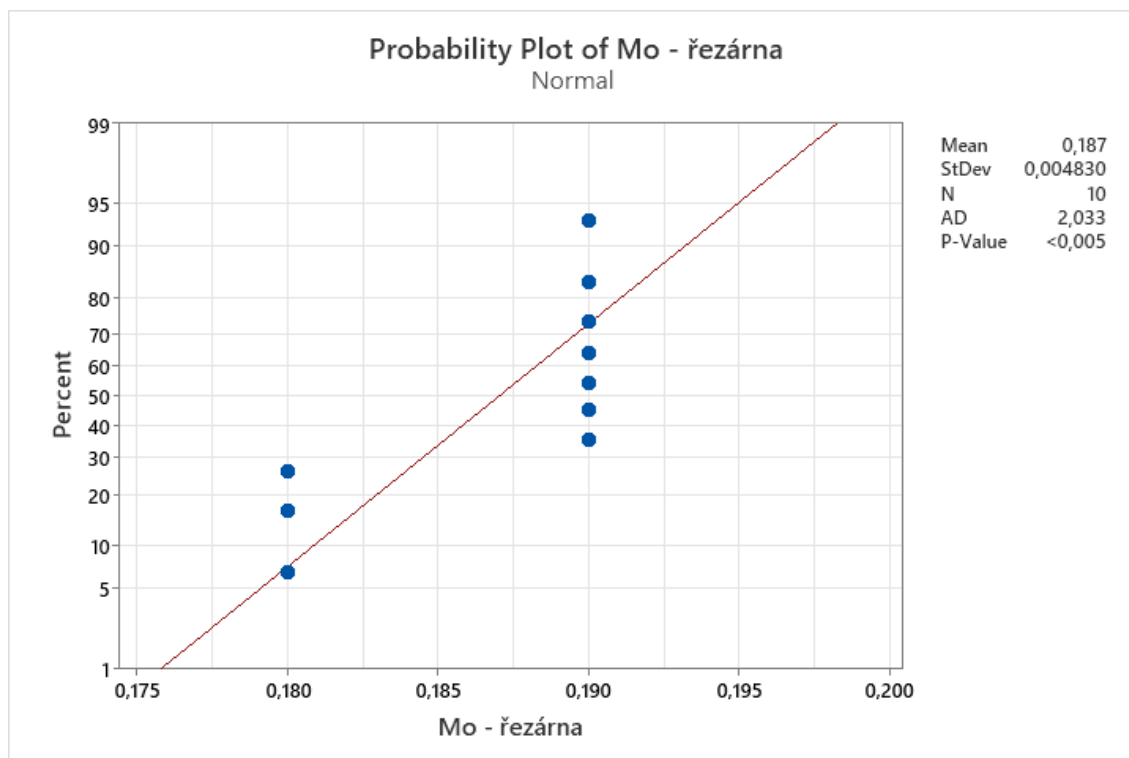
Řezárna



Obr. 77 Pravděpodobnostní graf pro test normality obsahu Mn z nástrojárny – výstup ze softwaru Minitab



Obr. 78 Souhrnná statistická analýza obsahu Mn z řezárny



Obr. 79 Pravděpodobnostní graf pro test normality obsahu prvku Mo z řezárny – výstup ze softwaru Minitab