



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A  
DÍLCŮ  
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND  
COMPONENTS

## EFEKTIVNÍ VYUŽITÍ PRŮMYSLOVÝCH ODPADŮ VE STAVEBNÍCH MATERIÁLECH

EFFECTIVE USE OF INDUSTRIAL WASTE IN BUILDING MATERIALS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Melinda Klaudia Virág Szép

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. VÍT ČERNÝ, Ph.D.

BRNO 2022



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
<b>Pracoviště</b>	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Melinda Klaudia Virág Szép
<b>Název</b>	Efektivní využití průmyslových odpadů ve stavebních materiálech
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. Vít Černý, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	30. 11. 2021
<b>Datum odevzdání</b>	27. 5. 2022

V Brně dne 30. 11. 2021

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA,  
dr.h.c.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

- Chunbo, Z. et al. (2021) An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition waste management in Europe
  - Alejandro, E. (2020) Compliance with the EU waste hierarchy: A matter of stringency, enforcement, and time
  - Ana, P., Graça, M. (2019) Waste hierarchy index for circular economy in waste management
  - Shamshad, K. at al. (2021) Technologies for municipal solid waste management: Current status, challenges, and future perspectives
  - Pavlů, T. (2021) Katalog výrobků a materiálů s obsahem druhotných surovin
  - Nařízení EP a Rady č.305/2011
  - Zákon č. 541/2020 Sb. Zákon o odpadech
  - Vyhláška 273/2021 Sb. Vyhláška o podrobnostech nakládání s odpady
- Výzkumné zprávy a protokoly ústavu THD, příspěvky ze sborníků konferencí, odborné články, časopisy, normy.

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Zdroje přírodních surovin jsou v současnosti stále vzácnější a skládkování odpadů bude v příštích letech téměř nemožné. Proto je v dnešní době naprosto zásadním tématem využití odpadů jako zdroje surovin nejen pro stavebnictví. Cílem práce je zpracovat metodický postup pro efektivní využití odpadu ve stavebních materiálech.

1. Proveďte rešerši platné legislativy, zaměřené na nakládání s odpady.
2. Studium odborné literatury zpracujte současný stav nakládání s odpady.
3. Z dostupných informačních zdrojů zpracujte problematiku využití odpadů.
4. Sestavte základní soubor možných variant využití odpadů ve stavebních materiálech.
5. Sestavte soubor kritérií pro využití odpadu.
6. Vytvořte metodický postup pro efektivní využití odpadu ve stavebních materiálech.
7. Demonstrujte vytvořený metodický postup na konkrétním vzorku odpadu.

Předpokládaný rozsah bakalářské práce 40-50 stran.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

---

Ing. Vít Černý, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## ABSTRAKT

Bakalářská práce se věnuje jednomu z aktuálních témat, a to efektivnímu využití průmyslových odpadů ve stavebních materiálech. Teoretická část této práce uvádí změny v legislativě České republiky v oblasti odpadového hospodářství, vysvětluje nejdůležitější pojmy a definuje jednotlivé způsoby nakládání s odpadem. Hlavním cílem této práce bylo zpracování metodického postupu pro efektivní využití průmyslových odpadů. Metodický postup byl sestaven na základě vypracovaného základního souboru možných variant využití odpadů ve stavebnictví a souboru příslušných normativních a legislativních kritérií. Pro lepší orientaci v příslušných normách byla také sestavena tabulka elementárních kritérií. Navrhnutá metodika byla demonstrována na konkrétním příkladu, a to na škváre ze spalovny komunálního odpadu. Škvára byla zkoumána ve dvou prostředích – laboratorní a řízené (s 8 % koncentrací oxidu uhličitého a 80 % relativní vlhkostí) – pro lepší pochopení její chování. Očekávané zrychlení procesu odležení v řízeném prostředí se potvrdilo na základě míry karbonatace. Předpokládané snížení objemových změn vzorků vystavené řízenému prostředí se také potvrdilo.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Bakalářská práce, průmyslový odpad, nakládání s odpadem, využití odpadu, hierarchie odpadové hospodářství, škvára ze spalovny komunálního odpadu

## ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with one of current topics, namely to effective use of industrial waste in building materials. The theoretical part of this work presents changes in legislation of the Czech Republic in field of waste management system, explains the most important terms and defines each method of waste management. The main goal of this work was to formulate a methodological procedure for efficient use of industrial waste. The methodological procedure was compiled on the basis of elaborated base set of possible variants of waste utilization in the construction sector and a set of corresponding criteria of standards and legislative criteria. A table of elementary criteria has also been compiled for the better orientation in corresponding standards. The proposed methodological procedure was demonstrated on specific example, in fact on slag from municipal waste incineration. The slag was examined in two environments – one with standard laboratory condition and the second with controlled condition (8 % concentration of carbon dioxide and 80 % of relative humidity) – for better understanding of its behaviour. The expected acceleration of the aging process in the environment with controlled condition was confirmed based on the degree of carbonation. The expected reduction of volume changes of the sample exposed to the controlled condition was also confirmed.

## KEYWORDS

Bachelor's thesis, industrial waste, waste management, waste recovery, waste management hierarchy, slag from municipal waste incineration

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Melinda Klaudia Virág Szép *Efektivní využití průmyslových odpadů ve stavebních materiálech*. Brno, 2022. 89 s., Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Vít Černý, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Efektivní využití průmyslových odpadů ve stavebních materiálech* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 26. 5. 2022

---

Melinda Klaudia Virág Szép  
autor práce

## PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Efektivní využití průmyslových odpadů ve stavebních materiálech* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. 5. 2022

---

Melinda Klaudia Virág Szép  
autor práce

## PODĚKOVÁNÍ

Mé poděkování za vedení bakalářské práce, za vstřícnost a trpělivost během vypracování patří Ing. Vítovi Černému, Ph.D. Také bych chtěla poděkovat prof. Ing. Rostislavovi Drochytzkovi CSc., MBA, dr. h. c. za cenné rady a Ing. Amosovi Dufkovi, Ph.D. za pomoc při zpracování dat.

V neposlední řadě mé poděkování patří rodině, příteli a přátelům za podporu.

# Obsah

Úvod.....	12
Teoretická část .....	13
1    Legislativa .....	13
1.1    Zákon o odpadech .....	13
1.1.1    Zákon č. 541/2020 Sb.....	13
1.1.2    Účel zákona .....	13
1.2    Vyhlášky upravující zákon o odpadech.....	13
1.2.1    Vyhláška č. 273/2021 Sb. Vyhláška o podrobnostech nakládání s odpady .....	13
1.2.2    Vyhláška č. 8/2021 Sb. Vyhláška o katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů (Katalog odpadů).....	13
1.3    Některé důležité změny v legislativě .....	14
1.3.1    Zákaz odkládání využitelných odpadů na skládky .....	14
1.3.2    Nakládání se stavebními a demoličními odpady .....	14
1.3.3    Zasypávání.....	14
1.4    Certifikace.....	14
1.4.1    Postup certifikace .....	14
1.4.2    Stanovený výrobek.....	15
2    Odpad.....	16
2.1    Nejdůležitější pojmy a její definice.....	16
2.1.1    Odpad .....	16
2.1.1    Vedlejší produkt.....	16
2.1.2    Druhotná surovina.....	17
2.1.3    Odpad, který přestává být odpadem.....	17
2.1.4    Zatřídění odpadů .....	17
2.1.5    Vzorkování .....	17
2.2    Průmyslový odpad.....	17
2.2.1    Odpad ze stavebního průmyslu.....	17
2.3    Stavební a demoliční odpad.....	18
3    Odpadové hospodářství.....	18
3.1    Cíle odpadového hospodářství.....	18
3.2    Plány odpadového hospodářství .....	18
3.2.1    Analytická část Plánu odpadového hospodářství.....	18
3.2.2    Závazná část Plánu odpadového hospodářství .....	18
3.2.3    Směrná část.....	18
3.3    Hierarchie odpadového hospodářství .....	19
3.3.1    Lansinkův žebřík.....	19



3.3.2	Přizpůsobení hierarchie odpadového hospodářství.....	20
3.4	Oběhové hospodářství .....	21
4	Předcházení vzniku odpadu.....	22
4.1	Předcházení vzniku stavebního odpadu .....	22
5	Nakládání s odpadem.....	23
5.1	Vymezení nejdůležitějších pojmů z oblasti nakládání s odpadem.....	23
5.1.1	Soustředování a oddělené soustředování odpadů .....	23
5.1.2	Zpracovávání odpadu, jeho úprava a odstranění.....	23
5.1.3	Skladování odpadů .....	23
5.1.4	Obchodování s odpadem .....	24
5.1.5	Využití odpadu.....	24
5.1.6	Energetické využití odpadů .....	24
5.1.7	Opětovné použití odpadu.....	24
5.1.8	Materiálové využití odpadu .....	24
5.1.9	Recyklace.....	24
5.1.10	Nakládání se stavebním a demoličním odpadem.....	25
5.2	Statistika současného stavu nakládání s odpadem .....	26
5.2.1	Celková produkce odpadu a nakládání s odpadem .....	26
5.2.2	Produkce a nakládání se stavebním a demoličním odpadem.....	26
5.2.3	Produkce a nakládání s odpady z tepelných procesů .....	27
5.2.4	Produkce a nakládání s odpady dalších skupin.....	27
5.2.5	Produkce a nakládání s odpady všech skupin katalogu odpadů .....	28
5.2.6	Nakládání s odpadem za rok 2020 .....	29
6	Příprava k opětovnému využití a opětovné využití .....	30
6.1	Opětovné použití stavebního a demoličního odpadu .....	30
7	Využití odpadu .....	31
7.1	Současný stav využití průmyslových odpadů.....	31
7.2	Recyklace průmyslového odpadu .....	32
7.3	Zasypávání .....	33
7.3.1	Kritéria pro využití odpadů pro zasypávání .....	33
7.3.2	Odpady využitelné pro zasypávání .....	34
7.4	Solidifikace a stabilizace .....	34
7.5	Rekultivace skládek.....	34
7.5.1	Technologický materiál pro technické zabezpečení skládek.....	34
7.5.2	Odpady, které mohou být technologickým materiálem .....	34
7.6	Energetické využití.....	35

7.7	Dominantní druhotné suroviny a vedlejší produkty využívané ve stavebnictví .....	35
7.7.1	Vedlejší energetické produkty .....	35
7.7.2	Stavební a demoliční odpad.....	37
7.7.3	Odpady z těžby a úpravnictví .....	38
7.7.4	Struska.....	38
7.7.5	Odpady z těžby a úpravy nerostů.....	38
7.7.6	Stabilizovaný odpad.....	39
7.8	Produkce odpadů využitelných v stavebním průmyslu.....	39
8	Odstranění odpadu, skládkování .....	42
8.1	Skládkování .....	42
8.1.1	Obecné podmínky ukládání odpadů na skládku .....	42
8.1.2	Skupiny skládek.....	42
8.1.3	Technické zabezpečení skládky .....	43
8.1.4	Zákaz skládkování.....	43
8.2	Odstranění stavebního a demoličního odpadu .....	43
	Cíl práce.....	45
	Praktická část .....	46
9	Metodika práce .....	46
10	Metodika provádění zkoušek .....	48
10.1	Analýza odpadu pro stanovení využitelnosti .....	48
10.1.1	Zrnitost dle síťového rozboru.....	48
10.1.2	Chemický rozbor.....	48
10.1.3	Nasákavost.....	48
10.1.4	Vlhkost .....	48
10.2	Zkoušky prováděné na zkušebních vzorcích.....	48
10.2.1	Proctorova zkouška .....	48
10.2.2	Objemová hmotnost .....	49
10.2.3	Pevnost v tlaku.....	49
11	Etapa 1: Možnosti a kritéria pro využití odpadu ve stavebních materiálech .....	50
11.1	Základní soubor možných variant využití odpadů.....	50
11.1.1	Náhrada přírodního kameniva .....	50
11.1.2	Náhrada přírodního kameniva – inženýrské stavby.....	52
11.1.3	Náhrada přírodního kameniva – sypané hráze.....	54
11.1.4	Pórovité kameniva.....	56
11.1.5	Aktivní složky do cementových kompozitů .....	56
11.1.6	Výroba cementu.....	57

11.1.7	Vápno .....	58
11.1.8	Sádra a výrobky na bázi sádry .....	59
11.1.9	Složky pórobetonu .....	60
11.1.10	Suroviny pro přípravu keramiky .....	61
11.2	Kritéria využití odpadů ve stavebnictví.....	62
11.3	Metodický postup pro využití odpadů.....	66
12	Etapa 2: Využití škváry ze spalovny komunálního odpadu .....	67
12.1	Škvára ze spalování komunálního odpadu .....	67
12.1.1	Zatřídění a označení .....	67
12.1.2	Produkce .....	67
12.2	Základní analýza škváry .....	68
12.2.1	Zrnitost škváry .....	68
12.2.2	Chemický rozbor škváry.....	68
12.2.3	Nasákavost škváry.....	69
12.2.4	Vlhkost škváry .....	69
12.3	Kritéria pro využití a stanovení doplňujících parametrů.....	69
12.3.1	Technické požadavky .....	69
12.3.2	Limitní hodnoty koncentrace škodlivin.....	69
12.4	Experimentální ověření použitelnosti škváry pro stmelené směsi .....	70
12.4.1	Ošetření škváry a zkušebních vzorků:.....	70
12.4.2	Čerstvá škvára.....	71
12.4.3	Škvára uložena v řízeném prostředí .....	71
12.4.4	Receptura.....	72
12.4.5	Vyhotovení zkušebních vzorků .....	73
12.4.6	Výsledky zkoušky provedené na vzorky vyhotovené z čerstvé škváry ....	73
12.4.7	Výsledky zkoušky provedené na vzorky vyhotovené ze škváry vystavené řízenému prostředí.....	76
12.4.8	Porovnání jednotlivých výsledků.....	78
13	Závěr .....	83
14	Literatura .....	85
15	Seznam tabulek.....	88
16	Seznam obrázků.....	89

## Úvod

Využití odpadu je jedním z klíčových kroků přechodu lineární odpadové hospodářství na cirkulární. Směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES definuje hierarchii odpadové hospodářství, který má napomáhat tomuto přechodu. Vydání této směrnice vedlo k změně legislativy v České republice koncem roku 2020, kdy byl vydán nový zákon o odpadech. Na základě směrnice udávají nově vzniklé právní předpisy největší prioritu předcházení vzniku odpadu. Není-li možné vzniku odpadu předjet, má se využít opětovně, materiálově, energeticky. Hierarchie odpadového hospodářství připouští i odstranění odpadu např. skládkováním, avšak legislativně je čím dál tím víc omezován, a v roce 2030 nastává úplný zákaz skládkování využitelného odpadu.

V České republice je ročně vyprodukováno kolem 35 Mt odpadu, přičemž stavební průmysl má podíl kolem 20 Mt. V roce 2020 produkce všech odpadů přesáhla 38 Mt, z čehož 25 Mt bylo stavebním a demoličním odpadem. Ačkoliv stavební průmysl produkuje nejvíc odpadu, také ho nejvíc využívá zpět do výroby stavebních materiálů a dílců nebo na vyhotovení různých konstrukcí. V roce 2020 materiálové využití tohoto druhu odpadu bylo vyšší než jeho produkce. Navíc stavební průmysl dlouhodobě využívá odpady vyprodukované z dalších odvětví průmyslu jako například odpady z tepelných procesů nebo z metalurgie. Zpřísněním legislativy však nastává otázka, jak by bylo možné odpady z dalších odvětvích průmyslu případně odpady mimo ně efektivně využít ve stavebnictví.

Využití druhotných surovin a vedlejších produktů má za následek snížení využití neobnovitelných zdrojů. Stavební průmysl je velmi úzko spjatý s těžbou surovin, a proto využití druhotných surovin a vedlejších produktů v tomto odvětví průmyslu by mělo mít příznivý vliv i na hospodaření s nerostným bohatstvím Země. Avšak nesmíme zapomenout na to, že klíčové je efektivní využívání a také se nesmí stát, že použití druhotných surovin ve stavebních materiálech a konstrukcích bude mít nepříznivý vliv na statiku dané konstrukce a použitelnost stavby.

Klíčové pro vypracování této práce je seznámení se s platnou legislativou, kdy budou vyzdvihnuté nejvýraznější změny v platném legislativě oproti předchozímu, definované nejdůležitější pojmy a uvedené zákonem umožněné způsoby nakládání s odpadem, následně budou vysvětleny jednotlivé body hierarchie odpadové hospodářství a také uvedeny její různé varianty pro lepší pochopení problematiky přechodu lineární odpadové hospodářství na cirkulární. Dále v této části bude zpracován současný stav nakládání s odpadem se zaměřením na problematické sektory.

# **Teoretická část**

## **1 Legislativa**

### **1.1 Zákon o odpadech**

#### **1.1.1 Zákon č. 541/2020 Sb.**

Zákon č. 541/2020 Sb. Zákon o odpadech je platný od 21.12.2020 a účinný od 01.01.2021 a zpracovává příslušné předpisy Evropské unie. Je prováděn předpisem 8/2021 Sb. Katalog odpadů. Vymezuje zejména pravidla pro předcházení vzniku odpadu, nakládání s odpadem, práva a povinnosti osob v odpadovém hospodářství a působnost orgánů veřejné správy. (Zákon o odpadech § 1) [1]

#### **1.1.2 Účel zákona**

Účelem zákona je, aby se zajistilo ochrana životního prostředí a udržitelné využívání přírodních zdrojů v smysle hierarchie odpadového hospodářství, zejména pomocí omezení vzniku odpadů, recyklací a opětovným využitím vzniklých odpadů. Cílem je zvýšení opětovné využití a recyklace odpadů a tím zabezpečení přechodu na oběhové hospodářství. (Zákon o odpadech § 1) [1]

### **1.2 Vyhlášky upravující zákon o odpadech**

Vedle zákona č. 541/2020 Sb. Zákon o odpadech jsou taky důležité vyhlášky, který tento zákon doplňují a upravují. Vzhledem k tématu této práce jsou důležité zejména vyhlášky č. 273/2021 Sb. Vyhláška o podrobnostech nakládání s odpady a vyhláška č. 8/2021 Sb. Vyhláška o katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů (Katalog odpadů).

#### **1.2.1 Vyhláška č. 273/2021 Sb. Vyhláška o podrobnostech nakládání s odpady**

Tato vyhláška nejen upravuje jednotlivé činnosti spojené s nakládání s jednotlivými druhy odpadů, ale také upravuje požadavky na zařízení určená pro nakládání s odpady, technické podmínky pro soustředování a další. K vypracování této práci jsou důležité zejména následující části vyhlášky: Hlava II Využití odpadu Díl 1 Zасыpávání § 6 dále Hlava IV Stavební a demoliční odpad § 42 a také přílohy 4, 5, 6, 10, 11, 24 a 52 této vyhlášky. [2]

#### **1.2.2 Vyhláška č. 8/2021 Sb. Vyhláška o katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů (Katalog odpadů)**

Nejdůležitější částí této vyhlášky je příloha č. 1 samotný katalog odpadů, přičemž vyhláška udává postup pro zařazování odpadu podle tohoto katalogu. [3]

Vyhláška dále upravuje obsah školení pro hodnocení nebezpečných odpadů, také metody a postup hodnocení nebezpečných odpadů apod. V příloze č. 2 jsou uvedeny doplňující limitní hodnoty a kritéria pro hodnocení nebezpečných vlastností odpadu. [3]

## **1.3 Některé důležité změny v legislativě**

Nejdůležitější změny se týkají omezení vzniku odpadu a využití vzniklého odpadu v souladu s hierarchií odpadové hospodářství. Některé z nich, zejména ty, které jsou důležité pro vypracování této práce, jsou vyjmenované níže v této části.

### **1.3.1 Zákaz odkládání využitelných odpadů na skládky**

Od 01.01.2030 bude zakázáno skládkování využitelných odpadů. Jsou to zejména odpady, které lze energeticky využít, přičemž energeticky využitelným odpadem se rozumí odpad, který má výhřevnost vyšší, než 6,5 MJ/kg v sušině. Dále se nebude moct skládkovat odpad, který překročuje stanovené hodnoty biologické stability AT4, a taky se nebude moct ukládat na skládku takový nebezpečný odpad, které jsou možné zpracovat. (Zákon o odpadech § 40 a 41) [1]

### **1.3.2 Nakládání se stavebními a demoličními odpady**

Stavební a demoliční odpad, který lze opětovně využít, recyklovat, využít jako druhotnou surovinu nebo vedlejší produkt je potřebné při provádění stavebních a demoličních prací odděleně soustřeďovat. Stavební materiály, na které se tato povinnost vztahuje, jsou vymezeny v bodech 1 až 3 přílohy č. 24 vyhlášky č. 273/2021 Sb. Vyhláška o podrobnostech nakládání s odpady. (Vyhláška č. 273/2021, část 7., hlava IV) [2]

### **1.3.3 Zasypávání**

Vyhláška 273/2021 Sb. vymezuje podmínky pro zasypávání a speciálně i využití škváry ze spalování komunálního odpadu k zasypávání – vyhláška přesně definuje oblast použití, jakost použitelné škváry a limitní hodnoty škodlivin obsažené v sušině a ve výluhu. K vzniku této paragrafu přispěl Michal Šyc z ústavu chemických procesů AV ČR. Cílem bylo přesně definovat využití vyprodukované škváry. [4]

## **1.4 Certifikace**

### **1.4.1 Postup certifikace**

Stavební výrobek je označení pro výrobky určené pro trvalé zabudování do staveb. Jedná se o takové výrobky, které svým charakterem mohou ovlivnit základní vlastnosti na stavby. Z této podstaty plyne, že pro každý stavební výrobek musí být posouzena shoda, jelikož se jedná o stanovený výrobek. [5]

Existuje-li harmonizovaná oblast pro daný stanovený výrobek, tak se uvedení na trh dle nařízení č. 305/2011/EU (CPR) uskutečňuje podle jednoho z následujících postupů:

- Existuje-li harmonizovaná evropská norma a je účinná, tak se shoda stanoveného výrobku posuzuje dle Evropského systému, Nařízení vlády (NV) č. 190/2002 Sb. v souladu s danou harmonizovanou normou. Vystaví se evropské prohlášení o vlastnostech a výrobek se označí znakem CE. Následně je možné výrobek uvést na trh.
- Další možnost je posouzení shody dle ETA na základě ETAG nebo EAD. Výsledkem je prohlášení o vlastnostech. Následně je možné výrobek označit značkou CE a uvést na trh.
- Nařízení č. 305/2011/EU umožňuje pro některé výrobky zjednodušené postupy certifikace dle článku 36-38. Výsledkem je prohlášení o vlastnostech. Následně je možné výrobek označit značkou CE a uvést na trh.

- Nařízení č. 305/2011/EU v článku 5 CPR uvádí výjimky z vypracování prohlášení o vlastnostech. [5]

Označení CE je zárukou, že výrobky splňují technické požadavky, které jsou na ně kladeny. Označení CCZ je českým znakem shody. Má obdobný charakter, jako značka CE. Se znakem CCZ mohou být značeny výrobky, které splňují technické požadavky, ale nevztahují se na ně Evropské předpisy.

Jestli neexistuje harmonizovaná oblast tak se uplatňuje národní systém posuzování shody podle NV 163/2002 Sb. Výsledkem je prohlášení o shodě a výrobek je označen značením CCZ. Následně je ho možné uvést na trh.

Další možností uvádění výrobku na trh je možnost volného pohybu zboží dle § 13 b zákona č. 22/1997 Sb.

Jestli se jedná o nestanovený výrobek tak certifikace není požadovaná, je pouze dobrovolná. Výsledkem je prohlášení dodavatele o shodě dle ČSN EN ISO/IEC 17050-1. Následně se výrobek může uvést na trh.

#### **1.4.2 Stanovený výrobek**

Výčet skupiny stanovených stavebních výrobků, které musí mít posouzení shody, je uvedený v příloze 2 k nařízení vlády č. 163/2002 Sb. Tyto skupiny jsou následovné:

1. Stavební výrobky pro betonové a železobetonové části staveb,
2. Stavební výrobky pro zděné stavby
3. Stavební výrobky ze dřeva a dřevěné konstrukce
4. Stavební výrobky pro kovové konstrukce
5. Ochranné, tepelně a zvukově-izolační materiály a výrobky, hydroizolační materiály, střešní krytiny a lepidla
6. Stavební výrobky ze skla
7. Stavební výrobky pro kanalizační systémy a rozvody kapalin a plynů
8. Stavební výrobky pro otvorové výplně
9. Zvláštní materiály, výrobky, konstrukce a zařízení
10. Technická zařízení staveb
11. Stavební výrobky pro vnitřní a vnější povrchové úpravy stěn, stropů, podlah
12. Stavební výrobky pro hygienická zařízení a ostatní speciální výrobky. [6]

(Příloha č. 2 k NV ČR č. 163/2002 Sb.)

Pro to, aby stavební výrobek mohlo být uvedeno na trh, potřebuje splnit na ně kladené základní požadavky, které vychází ze základních požadavek na stavbu, které jsou následující:

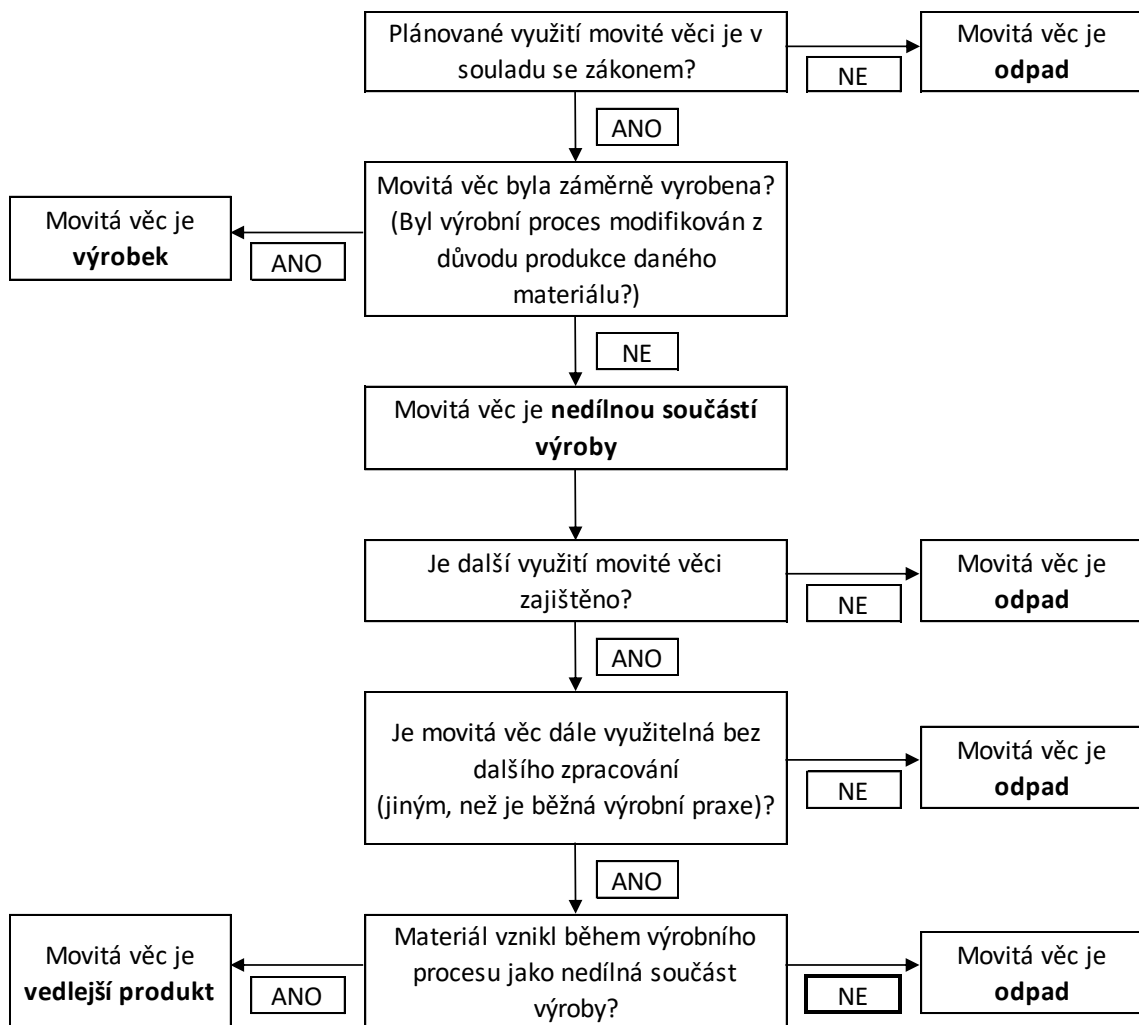
- mechanická odolnost a stabilita,
- požární bezpečnost,
- hygiena, ochrana zdraví a životního prostředí,
- bezpečnost při užívání,
- ochrana proti hluku,
- úspora energie a ochrana tepla. [6]

## 2 Odpad

### 2.1 Nejdůležitější pojmy a její definice

#### 2.1.1 Odpad

Odpadem podle zákona č. 541/2020 Sb. Zákon o odpadech se rozumí každá movitá věc, které se osoba zbavuje, má úmysl nebo povinnost se jí zbavit, (Zákon o odpadech část 1., §4 (1)) [1] přičemž zákon udává případy, kdy osoba má za povinnost zbavit se movité věci. Taky udává, že v pochybnostech lze žádat krajský úřad o rozhodnutí, zda daná movitá věc je odpadem či nikoliv.



Obr. 1 Rozhodování o stavu odpadu [7]

#### 2.1.1 Vedlejší produkt

Vedlejším produktem je věc vzniklá jako nedílná součást výroby jiného produktu a lze jí využít bez dalšího zpracování jiným, než je běžné pro daný vedlejší produkt. Pro některé vedlejší produkty může být stanovena vyhláškou jeho účel, postup zpracování a kritéria na kvalitu. Tyto vyhlášky vydává Ministerstvo průmyslu a obchodu. (Zákon o odpadech § 8 (1) a (2)) [1]



### **2.1.2 Druhotná surovina**

Pod pojmem druhotná surovina se rozumí materiál mající charakter vedlejšího produktu. Může být získán z upravení odpadu, který přestává být odpadem, nevyužitá prvotní surovina, materiál získaný z výrobků, které po ukončení své životnosti podlehlí zpětní odběru, materiál získaný z jiných výrobků. (Zákon o odpadech §11 (2) h,) [1]

Účelem druhotná suroviny je nahradit prvotní surovinu ve výrobě a tím snížit surovinové náklady výroby a přispět tak ke využití odpadů.

### **2.1.3 Odpad, který přestává být odpadem**

Odpad, který byl využit jinak, než energeticky a je vymezen předpisem Evropské unie přestává být odpadem. V ostatních případech je nutné požádat Krajský úřad o povolení pro přechod odpadu na neopad. (Zákon o odpadech § 9) [1]

### **2.1.4 Zatřídění odpadů**

Odpady se zařazují do jednotlivé kategorie dle vyhlášky č. 8/2021 Sb. Katalog odpadů a dostávají patřičné šestimístné katalogové číslo druhu odpadu. První dvojčíslí udává skupinu odpadů, druhé dvojčíslí označuje podskupinu odpadů a poslední dvojčíslí druh odpadů. Když je odpad označený jako nebezpečný, označuje se to hvězdičkou (\*) za katalogovým číslem. (Vyhláška č. 8/2021 §4) [3]

### **2.1.5 Vzorkování**

Vzorkování odpadů a provádění zkoušek na odpadech je potřebné z důvodu zjištění jejich přijatelnosti do zařízení, hodnocení jejich nebezpečných vlastností dále dokladování jejich kvality pro další nakládání s nimi včetně ověření splnění kritérií pro využití jako vedlejší produkt. Vzorkování může provádět odborně způsobilá fyzická osoba s personálním certifikátem nebo akreditovaná laboratoř, jejichž způsobilost je garantován odborně způsobilou fyzickou osobou. (Zákon o odpadech § 28 (1)) [1] Vzorkování se provádí v souladu s evropskou technickou normou, v České republice se tehdy jedná o harmonizovanou normu ČSN EN 14899. (Zákon o odpadech § 29 (1)) [1] Zkoušení vzorků lze provést v laboratoři nebo v odborné pracovišti, které jsou akreditovány. (Zákon o odpadech § 29 (1)) [1]

## **2.2 Průmyslový odpad**

Zákon o odpadech včetně navazujících vyhlášek nedefinuje pojem průmyslový odpad. Prakticky však ide o odpad vzniklý ze všech druhů průmyslových činnosti. (inisoft.cz průmyslový odpad) V této práci se pod pojmem průmyslový odpad rozumí zejména odpad anorganického původu vzniklé z průmyslové činnosti s potenciálním využitím ve stavebním průmyslu a také odpad organického původu s potenciálním využitím ve stavebním průmyslu.

### **2.2.1 Odpad ze stavebního průmyslu**

Je podskupinou průmyslového odpadu.

Pro účely této práce se pod pojmem odpad ze stavebního průmyslu rozumí odpad vzniklý během: těžby suroviny běžně používané ve stavební praxi, zpracování a výroby stavebního materiálu, výroby stavebních výrobků, výstavbě a dalších stavebních prací resp. demolice staveb.

### **2.3 Stavební a demoliční odpad**

Zákon o odpadech v §11 definuje stavební a demoliční odpad, jako odpad vzniklý při stavebních a demoličních činnostech. (Zákon o odpadech § 11 (2) j,) [1] Jedná se o odpady, které spadají pod katalogové číslo 17 v katalogu odpadů, který vymezuje vyhláška č. 8/2021 Sb. [3]

Zákon č. 541/2020 Sb. vymezuje povinnost při odstraňování, provádění a údržbě stavby nakládat se vzniklým stavebním a demoličním odpadem tak, aby jejich opětovné použití a recyklace byla v co největším rozsahu umožněna. (zákon č 541/2020Sb. Hlava II §15 odst. 2 odsek f,) [1]

## **3 Odpadové hospodářství**

Odpadové hospodářství je činností zaměřenou zejména na předcházení vzniku odpadu a o nakládání s odpady. Jeho zásady jsou založeny na hierarchii odpadového hospodářství a úzce souvisí s efektivním využitím opadů, jehož vzniku nebylo možné předejít. (Zákon o odpadech § 3) [1]

### **3.1 Cíle odpadového hospodářství**

Cílem odpadového hospodářství je zvýšení úrovně přípravy k opětovnému využití a recyklace komunálních odpadů na 55 % do roku 2025, na 60 % do roku 2030, na 65 % do roku 2035, přičemž energetické využití odpadů v roce 2035 a v letech následujících má být nejvýše 10 % celkové hmotnosti komunálního odpadu. (příloha č. 1 k zákona o odpadech) [1]

### **3.2 Plány odpadového hospodářství**

Část čtvrtá zákona o odpadech vymezuje plán odpadového hospodářství, který zpracovávají ministerstvo životního prostředí a jednotlivé kraje a tvoří důležitý podklad pro odpadové hospodářství České republiky. Plán odpadové hospodářství je rozdělený do třech částí: analytické, závazné a směrné. (Zákon o odpadech, část čtvrtá § 97 a § 98) [1]

#### **3.2.1 Analytická část Plánu odpadového hospodářství**

Účelem této části je vyhodnocení dosavadního stavu odpadového hospodářství. Její nezbytnou částí jsou popis oblasti předcházení vzniku odpadu, výčet druhů a množství vzniklého odpadu dále vyhodnocení sítě zařízení určené pro nakládání s odpadem. (Zákon o odpadech § 98 (4)) [1]

#### **3.2.2 Závazná část Plánu odpadového hospodářství**

V této části se popíšu zásady odpadového hospodářství, cíle a opatření pro předcházení vzniku odpadu a taky způsoby nakládání s odpadem, jejíhož vzniku se nemohlo předejít v souladu s hierarchií odpadového hospodářství. (Zákon o odpadech § 98 (5)) [1]

#### **3.2.3 Směrná část**

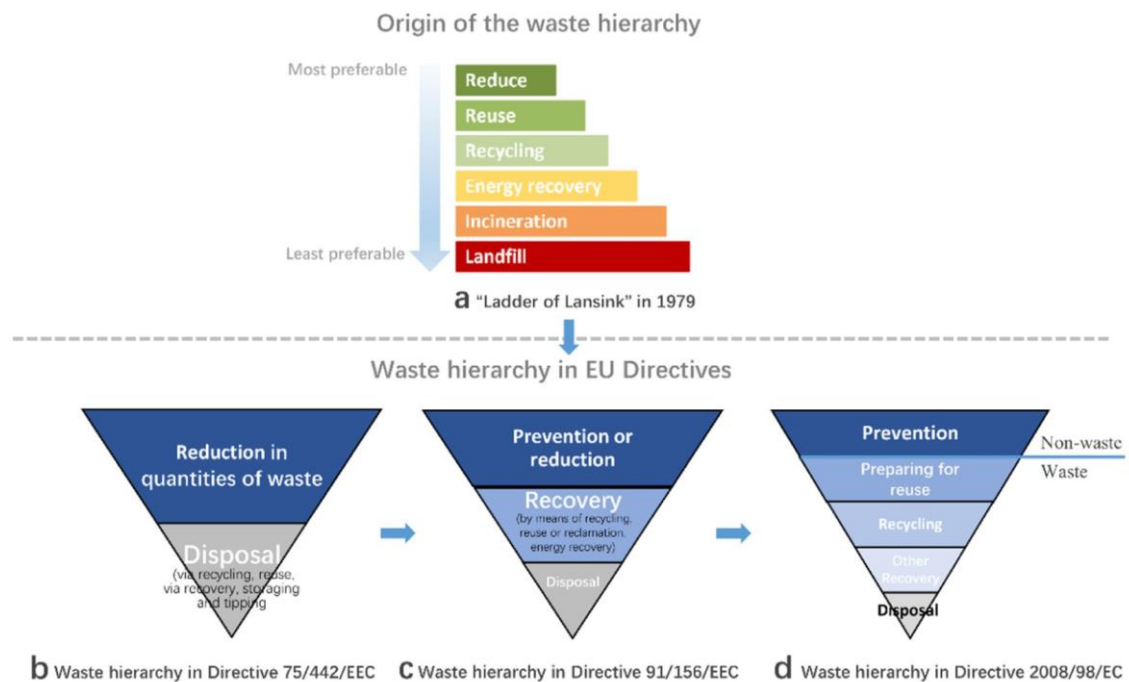
Tento část Plánu odpadového hospodářství má za účel popsat nástroje potřebné k dosažení cílů popsané v závazné části Plánu odpadového hospodářství, dále informace nezbytné pro vypracování kritérií pro umístění a kapacity zařízení určené pro nakládání

s odpadem a také návrhy pro potřebné takových zařízení. (Zákon o odpadech § 98 (6)) [1]

### 3.3 Hierarchie odpadového hospodářství

Hierarchie odpadového hospodářství je soubor možných způsobů nakládání s odpadem seřazený podle cíle odpadového hospodářství prezentované ve Směrnici Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES. Prioritou hierarchie odpadového hospodářství je předcházení vzniku odpadu. (Zákon o odpadech § 3) [1] Jestli není možné vzniku odpadu předejít, může se přejít na jeho využití dle hierarchie odpadového hospodářství, a to na přípravu pro opětovné použití, následně recyklace, pak přichází do úvahy jiné využití, včetně energetické využití. Až teprve, kdy není možné odpad využít ani jedním výše taxativně vyčteným způsobem, se může odpad odstranit. (Zákon o odpadech § 3) [1] Cílem hierarchie odpadového hospodářství je přechod na oběhové hospodářství, které už nepovoluje odstranění odpadu. (Zákon o odpadech § 1 a An overview of waste hierarchy framework) [1] [8]

#### 3.3.1 Lansinkův žebřík



Obr. 2 Hierarchie odpadového hospodářství [8]

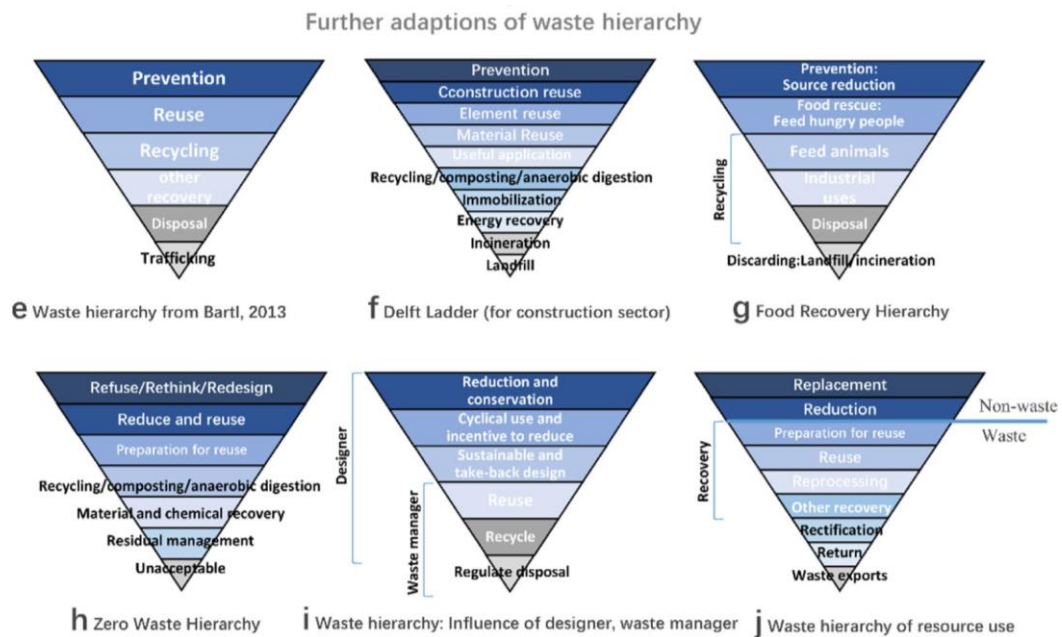
Hierarchii odpadové hospodářství prvotně zformuloval a sestavil v roce 1979 holandský politik Ad Lansink a dostal jméno Ledder of Lansink, teda Lansinkův žebřík, který se skládá ze šesti možností nakládání s odpady, a to ze snížení produkce odpadu (reduce), z opětovného využití (reuse), z recyklace (recycle), z energetického využití (energy recovery), ze spalování odpadu (incineration) a ze zasypávání (landfill). (recycle.com waste hierarchy) Nejvíce příznivé nakládání s odpadem pro životné prostředí je snížení produkce odpadů a nejméně příznivé jsou odstranění odpadu spalováním a zasypáváním. [8]

Současná hierarchie odpadového hospodářství od původního Lansinkův se poněkud liší. Na první příčce současného odpadového hospodářství je předcházení vzniku odpadu, což je významově silnější než snížení produkce odpadu. Následuje příprava k opětovnému

využití, který je v Lansinkově žebříku specifikováno jako opětovné využití (reuse), dále recyklace, což je u obou totožné. Lansinkův žebřík zachytává jenom aspekt energetického využití, současná hierarchie odpadového hospodářství vymezuje tento krok jako jiné využití včetně energetického. Skládání, jako jeden z možných způsobů odstranění odpadu, je u obou žebříků nejméně preferované. (Zákon o odpadech § 1 a An overview of waste hierarchy Framework) [1] [8]

### 3.3.2 Přizpůsobení hierarchie odpadového hospodářství

Zákon o odpadech jasně udává jednotlivé kroky nakládání s odpadem podle hierarchie odpadového hospodářství, jeho přizpůsobení nebo rozšíření o další kroky – přičemž podstata zůstane neměnná, aby mohlo odpadové hospodářství zoptimalizovat, a tím i zefektivnit a přispět k plynulejšímu přechodu na oběhové hospodářství.



Obr. 3 Další adaptace hierarchie odpadového hospodářství [8]

#### 3.3.2.1 Hierarchie odpadového hospodářství dle Bartla (2013)

Andreas Bartl přidává krok navíc na spodek hierarchie odpadového hospodářství, a to obchodování s odpadem, co by mělo zamezit vzniku nelegálních skládek, zejména v zemích, kde je produkce odpadu oproti EU větší. [8]

#### 3.3.2.2 Žebřík Delft (2001)

Hendricks a Te Dordthorst vypracovali žebřík Delft – anglickým názvem Delft Ladder, který je přizpůsobením Lansinkova žebříku pro stavební a demoliční odpad. Skládá se z deseti kroků využití konstrukčního a demoličního odpadu: prevence vzniku odpadu (prevention), opětovného využití odpadu v konstrukci (construction reuse), využití jednotlivých prvků (element reuse), materiálové využití odpadu (material reuse), užitečná aplikace (useful application), recyklace/kompostování/anaerobní rozklad (recycling/composting/anaerobic digestion), imobilizace (immobilization), energetické využití (energy recovery), spalování (incineration), skládání (landfill). [8]

### **3.3.2.3 Hierarchie bezodpadové hospodářství**

Hierarchie bezodpadové hospodářství, anglicky zero waste hierarchy je krokem mezi současnou hierarchií odpadového hospodářství a oběhovým hospodářstvím. Je uveden v dokumente Zero Waste Europe z roku 2019. Skládá se z následujících kroků: odmítání/přehodnocení/přerobení návrhu (refuse/rethink/redesign), snížení produkce odpadu a opětovné využití odpadu (reduce and reuse), příprava pro opětovné využití (preparation for reuse), recyklace/ kompostování/anaerobní rozklad (recycling/composting/anaerobic digestion), materiálové a chemické využití (material and chemical recovery), nakládání se zbytkovým odpadem (residual management), všechny ostatní využití jsou nepřijatelné (unacceptable). [8]

### **3.3.2.4 Hierarchie využití zdrojů**

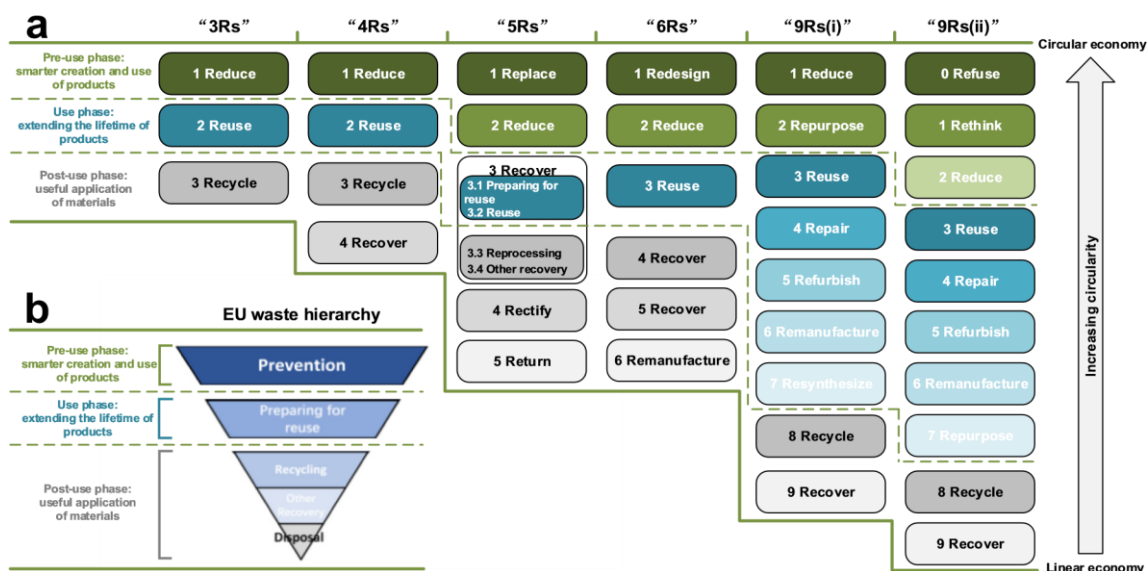
Tuto adaptaci hierarchie odpadového hospodářství zformuloval Gharfarlkar a kol. Do hierarchie odpadového hospodářství prezentované ve Směrnici Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES přidali kategorie z dřívější směrnice, konkrétně Směrnici Evropského parlamentu a Rady 2006/12/EC a tím vytvořili tzv. hierarchii využití zdrojů, kde odpad je vnímán jako zdroj. [8]

## **3.4 Oběhové hospodářství**

Nejzásadnější rozdíl mezi hierarchií odpadového hospodářství a oběhovým hospodářstvím je ten, že koncept oběhové hospodářství nedovoluje odstranění odpadu, to znamená, že všechen vyprodukovaný odpad se musí využít a vrátit do oběhu.

Oběhové hospodářství prvotně zformuloval ekologický ekonom Boulding již v roce 1966 jako teorii vesmírné rakety. Zem představoval jako vesmírnou raketu, kde se všechno musí opětovně použít a/nebo recyklovat, protože není napojena na životné prostředí. (An overview of waste hierarchy Framework 1.) [8]

Oběhové hospodářství i hierarchie odpadového hospodářství zkoumá životní cyklus daného produktu v třech obecných fázích, a to ve fázi před použitím (pre-use phase), ve fázi během použití (use phase) a ve fázi po použití (post-use phase). V souladu s jednotlivými fázemi je oběhové hospodářství nejčastěji popisováno pravidlem tzv. 3R z anglického reduce, reuse, recycle, tedy snížení produkce odpadu, opětovné využití a recyklace, kde snížení produkce odpadu je řešeno ve fázi před použitím daného produktu, opětovné využití ve fázi během použití a recyklace ve fázi po použití. Hierarchie odpadového hospodářství navíc umožňuje jiné využití včetně energetické a odstranění odpadu. Tato nakládání s odpadem jsou také řešena ve fázi po použití životního cyklu produktu. (An overview of waste hierarchy Framework 3.2.) [8]



Obr. 4 Interpretace bezodpadové hospodářství [8]

## 4 Předcházení vzniku odpadu

Předcházení vzniku odpadu je největší prioritou hierarchie odpadového hospodářství. Zákon o odpadech vymezuje povinnost pro každého občana, fyzické i právnické osoby, předcházení vzniku odpadu při své činnosti a/nebo omezení jeho množství. Pře právnické nebo podnikající fyzické osobě, který vytváří výrobky, dále vymezuje povinnost při výrobě těchto výrobků v co největší míře předcházet vzniku odpadu. Není-li možné předcházení při výrobě vzniku odpadu, musí být v co největší míře zajištěna opětovné využití těchto odpadů. Zákon dále vymezuje, že využití odpadů musí být v souladu s hierarchií odpadového hospodářství. [1]

### 4.1 Předcházení vzniku stavebního odpadu

Hlava II §15 odst. 2 odsek f, zákona o odpadech se vztahuje na již vzniklý odpad ze stavebních a demoličních prací, předcházení vzniku odpadu stále ostává největší prioritou hierarchie odpadového hospodářství. (zákon č 541/2020Sb.) V Evropě (EU28) se ročně vyprodukuje přibližně 350 Mt minerálního stavebního a demoličního odpadu (data vychází z průměrné produkce od roku 2010 do 2018). Se započítáním zeminy vytěžené při výstavbě, který se stane odpadem, vyprodukovaný odpad činí přibližně 970 Mt ročně. (An overview of waste hierarchy framework 4.1.2.) [8]

Vzniku stavebního odpadu vzniklého při výstavbě je možné bezprostředně zabránit již před výstavbou, a to pomocí vhodní návrhu stavby, volbou vhodných materiálů a během výstavby pomocí zvýšení přesnosti – tzv. přesná výstavba resp. přesná montáž.

Provádění montovaných konstrukcí z prefabrikovaných dílců namísto monolitických může v průměru snížit intenzitu produkce odpadu v stavebním průmyslu o 0,77 až 0,91 tun/m<sup>2</sup> [8] a provádění staveb z lehkých stavebních látek (konstrukčních i nekonstrukčních prvků) může snížit množství spotřebovaného materiálu o 25 až 30 % co dále vede k snížení produkce odpadu. [8]

## **5 Nakládání s odpadem**

Nakládání s odpadem se rozumí činnosti níže vymezené a rozepsané v této části bakalářské práce. Dále se ním rozumí i činnosti jako sběr, shromažďování a přeprava odpadů. Dále se ním rozumí i využití odpadů, které bylo blíže vysvětleno v předchozím části. (Zákon o odpadech § 11 (1) c,) [1]

Zákon č. 541/2020 Sb. v §13 vymezuje povinnost nakládat s odpadem tak, aby nedošlo k jeho znehodnocení z důvodu, že znehodnocení odpadu může zhoršit nakládání s daným odpadem a zejména jeho využití, resp. opětovné využití. (Zákon o odpadech § 13 (1)) [1] Tato povinnost vyplývá z hierarchie odpadového hospodářství.

### **5.1 Vymezení nejdůležitějších pojmů z oblasti nakládání s odpadem**

#### **5.1.1 Soustředování a oddělené soustředování odpadů**

Soustředováním se rozumí umístění a dočasné uložení odpadu na jedno místo. (Zákon o odpadech § 11 (1) d,) [1]

Oddělené soustředování je takový typ soustředování, kde se odpad roztřídí podle druhu, aby následné nakládání s odpadem se zjednodušilo a využití odpadu se zefektivnilo. (Zákon o odpadech § 11 (1) e,) [1] Zákon č. 541/2020 Sb. v §13 vymezuje povinnost oddělené soustředování, přičemž tato povinnost se vztahuje na každého. (Zákon o odpadech § 13 (1)) [1]

#### **5.1.2 Zpracovávání odpadu, jeho úprava a odstranění**

Zpracování odpadu je jakékoliv využití odpadu včetně její úpravy. Zpracováním se taky rozumí odstranění odpadů včetně jeho případné úpravy. (Zákon o odpadech § 11 (1), g,) [1]

Úpravou odpadu se rozumí veškerá činnost, který má za důsledek změnu vlastností odpadu, či už jede o chemické, fyzické nebo biologické vlastnosti, ale „odpad po úpravě zůstane vždy odpadem.“ (Zákon o odpadech § 11 (1), h,) [1]

Pod pojmem odstranění odpadu se rozumí veškerá činnost, který není využitím odpadu. Způsoby takového nakládání s odpady jsou vymezeny v příloze 6. zákona č. 541/2020 Sb. Způsoby odstranění odpadů mohou být např. ukládání, vypouštění, spalování. [1]

Možné způsoby úpravy odpadů a také jednotlivé způsoby skladování, jsou specifikovány v příloze č. 5 k zákonu č. 541/2020 Sb. a tak, jako způsoby využití odpadů, jsou označeny písmenem 'R' k čemu se připisuje číselné označení specifikující jednotlivé kategorie způsobu úpravy, resp. skládkování a dále písmo, který specifikuje způsob úpravy, resp. skládkování odpadu v rámci jedné kategorie. (příloha č. 5 k zákonu č. 541/2020) [1]

#### **5.1.3 Skladování odpadů**

Skládkování je jedním z možných způsobů odstranění odpadů. Skladováním se rozumí uložení odpadů na místa na to určené, zejména se jedná o skládky odpadů, přičemž doba trvání skládkování je 1 rok před odstraněním odpadů. Doba skládkování odpadů, které se následně využijí je nejvýše 3 lety. (Zákon o odpadech § 11 (1), n,) [1] Skládkování musí probíhat tak, aby nemělo negativní vliv na životní prostředí a na zdraví lidí. (Zákon o odpadech § 41) [1]

Od 1.1.2030 bude zakázáno skládkování využitelných odpadů. (Zákon o odpadech § 40 a 41)

#### **5.1.4 Obchodování s odpadem**

Obchodování a odpadem je akt prodeje nebo nákupu odpadu na vlastní odpovědnost právnickou nebo podnikající fyzickou osobou. (Zákon o odpadech § 11 (1)) [1]

#### **5.1.5 Využití odpadu**

Využití odpadu se podle Zákona o odpadech je definováno jako „činnost, jejímž výsledkem je, že odpad slouží užitečnému účelu“. (Zákon o odpadech § 11 (1) i,) [1]

Možné způsoby, jak odpady mohou být využity, jsou specifikované v příloze č. 5 k zákonu č. 541/2020 Sb. Jde o využití odpadu jako paliva, zpětné získávání organických a anorganických materiálů jako druhotné suroviny, recyklace jednotlivých druh odpadů, výroba stavebních recyklátů, regenerace kyselin, zásad a rozpouštědel, rafinace olejů. (příloha č. 5 k zákonu č. 541/2020) [1]

Využití odpadu se značí 'R' k čemu se připisuje číselné označení specifikující jednotlivé kategorie způsobu využití a dále písmo, který specifikuje způsob využití odpadu v rámci jedné kategorie, např.: R1b Využití paliva z odpadu patří do skupiny R1 Využití odpadu způsobem obdobným jako paliva nebo jiným způsobem k výrobě energie. (příloha č. 5 k zákonu č. 541/2020) [1]

#### **5.1.6 Energetické využití odpadů**

Energetické využití odpadu spočívá ve využití energetického obsahu odpadu pro získání energie nebo jeho využití jako palivo. (Zákon o odpadech § 11 (1) j,) [1]

Od roku 2030 bude zakázáno skládkování využitelných odpadů. Jsou to zejména odpady, které lze energeticky využít, přičemž energeticky využitelným odpadem se rozumí odpad, který má výhřevnost vyšší, než 6,5 MJ/kg v sušině. (Zákon o odpadech § 40 a 41)

#### **5.1.7 Opětné použití odpadu**

Pod opětným využitím odpadu je smyšleno, využití odpadu ke stejnému účelu, pro jaký byl původně vytvořen. (Zákon o odpadech § 11 (1) b,) [1]

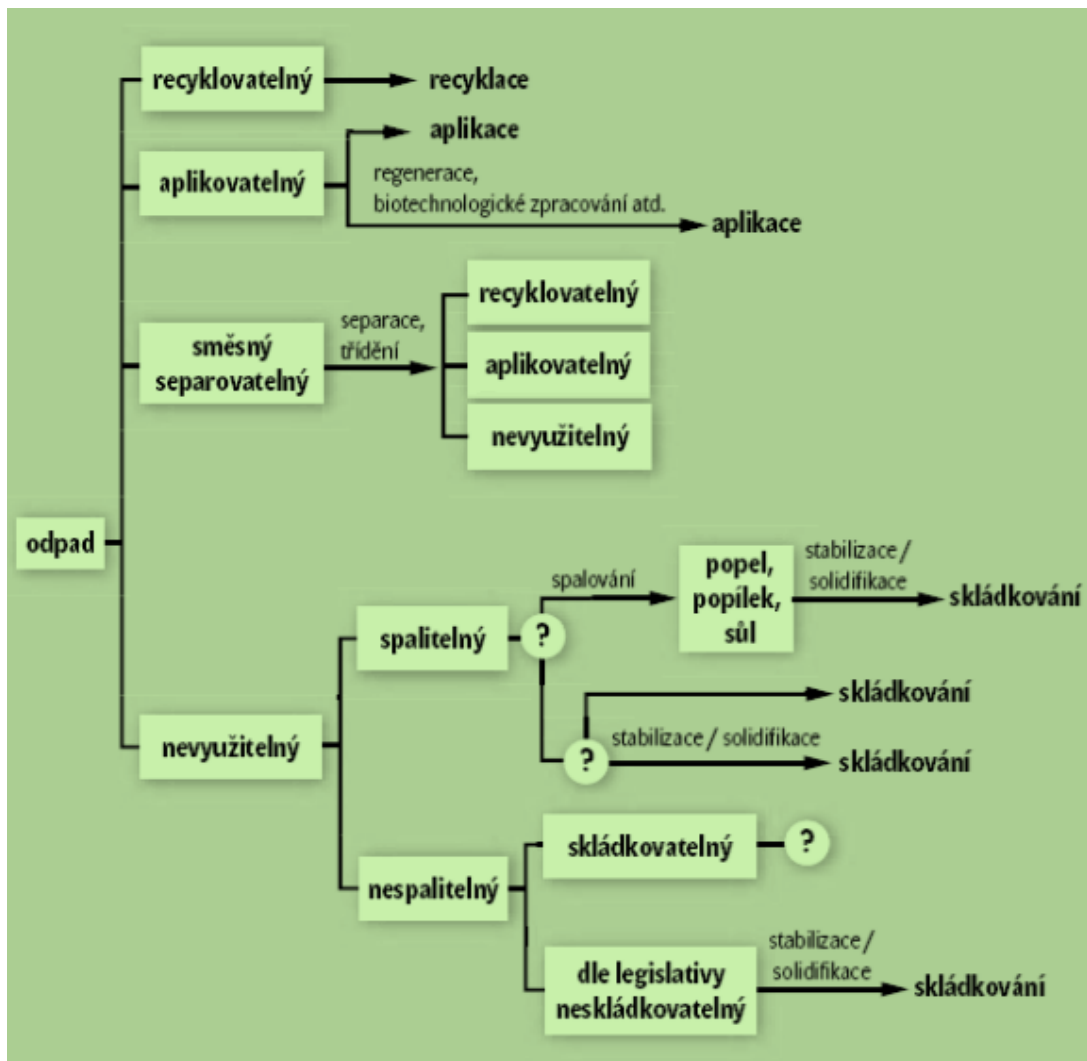
#### **5.1.8 Materiálové využití odpadu**

Pod pojmem materiálové využití odpadu se rozumí veškeré opětné využití odpadu, jako vytváření výrobků, recyklace odpadů a využití odpadů k zasypávání okrem využití energetického. (Zákon o odpadech § 11 (1) k,) [1]

#### **5.1.9 Recyklace**

Pod pojmem recyklace se rozumí využití odpadu jako materiál, nebo jeho zpracování na výrobek, nebo jiné využití okrem energetického, nebo přepracování na palivo. (Zákon o odpadech § 11 (1) l,) [1] Recyklace v doslovném překladu z anglického recycle znamená opětné uvedení do cyklu (myšleno tím do hospodářského cyklu). Je důležitým nástrojem k přechodu na oběhové hospodářství, co je jedním z účelů zákona č. 541/2020 Sb. Zákon o odpadech. (Zákon o odpadech § 1) [1]





Obr. 5 Způsoby nakládání s odpadem [9]

### 5.1.10 Nakládání se stavebním a demoličním odpadem

Nakládání so stavebnými a demoličními odpady je popsán ve vyhlášce č. 273/2021 Sb. V bodě 1 přílohy č. 24 jsou vymezeny vybourané stavební materiály a výrobky, které je nutné odděleně soustřeďovat. V bodě 2 přílohy č. 24 jsou vymezeny vybourané stavební materiály a výrobky, které je možné využít jako vedlejší produkty. V bodě 3 přílohy č.24 jsou vymezené jednotlivé stavební a demoliční odpady obsahující nebezpečné látky, které musí být soustředěně oddělovány. Dále vyhláška vymezuje, že oddělené soustřeďování musí být prováděn tak, aby nedošlo ke kontaminaci využitelných vybouraných stavebních materiálů a výrobků se stavebním a demoličním odpadem obsahující asbest nebo další nebezpečné látky. (vyhláška č. 273/2021 Sb. §42) [2]

Pro zefektivnění oddělené soustřeďování demoličního odpadu je vhodné stavbu selektivně demolovat nebo demontovat, přičemž asbest a jiné nebezpečné látky se mají odstranit před zahájením demolice/demontování. Pomocí demontování lze roztrždit až 95% demoličního odpadu. (An overview of waste hierarchy framework 4.2.2.) [8]

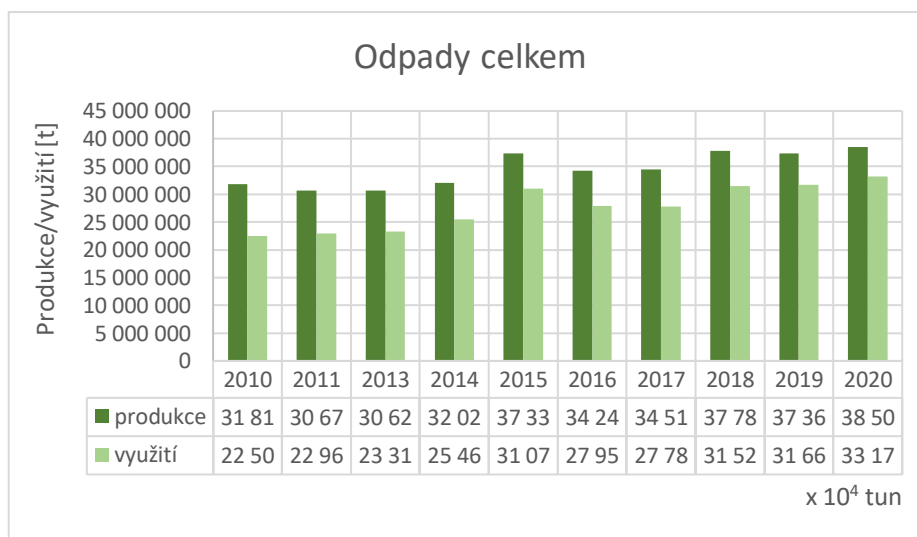
## 5.2 Statistika současného stavu nakládání s odpadem

Je důležité připomenout fakt, že pod pojmem odpad se rozumí každá movitá věc, které se osoba zbavuje, má úmysl nebo povinnost se jí zbavit. (Zákon o odpadech § 4) [1] Vedlejším produktem je věc vzniklá jako nedílná součást výroby jiného produktu a lze jí využít bez dalšího zpracování jiným, než je běžné pro daný vedlejší produkt. (Zákon o odpadech § 8) [1] Pod pojmem druhotná surovina se rozumí materiál mající charakter vedlejšího produktu, který může být získán z úpravy odpadu, který přestává být odpadem, nevyužitá prvotní surovina, materiál získaný z výrobků, které po ukončení své životnosti podleli zpětní odběru, materiál získaný z jiných výrobků. (Zákon o odpadech § 11 (2) h.) [1] Tehdy množství vyprodukovaného odpadu neshrne v sobě množství vedlejšího produktu, protože vedlejší produkt dle zákona není odpadem, ani množství druhotné suroviny, protože se jedná o odpad, u kterého nastalo ukončení odpadového režimu po splnění stanovených kritérií.

### 5.2.1 Celková produkce odpadu a nakládání s odpadem

V roce 2020 se v České republice vyprodukovalo celkem 38,50 Mt odpadu, z toho se využilo 33,17 Mt materiálově a 1,38 Mt energeticky. Odstranilo se celkem 3,85 Mt odpadu, tedy desetina vyprodukovaného odpadu. (Statistická ročenka životního prostředí České republiky 2020) [10]

Produkce odpadu v České republice od roku 2010 po rok 2020 vykazuje téměř lineárně vzrůstající trend až na mírný výkyv v roce 2015, který mohlo způsobit vyšší produkce stavebního a demoličního odpadu v tomto roce. Poměr využitého odpadu k vyprodukovanému má klesající trend, což znamená, že podíl využitého odpadu z množství vyprodukovaného se každým rokem zvyšuje.



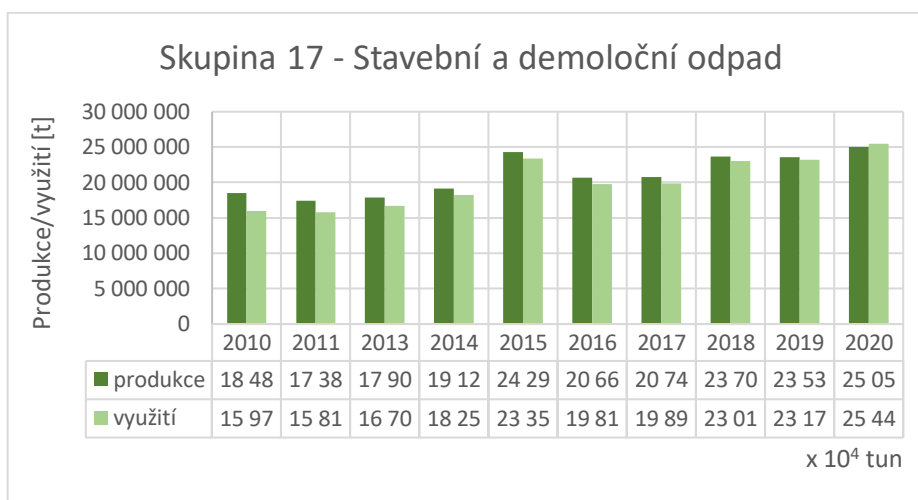
Obr. 6 Produkce a využití všech skupin odpadů v roce 2020

### 5.2.2 Produkce a nakládání se stavebním a demoličním odpadem

Produkce odpadů skupiny 17 - Stavební a demoliční odpady (včetně vytěžené zeminy z kontaminovaných míst), bylo v roce 2020 přes 25 Mt, což je výrazně vyšší než produkce všech ostatních odpadů, ale z toho se na skládku uložilo 1,7 %. [10]

Produkce stavebního a demoličního odpadu měla mezi roky 2010 až 2020 vzrůstající trend až na výkyv v roce 2015. Množství využitého odpadu se každým rokem zvyšovalo

a v roce 2020 dokonce překonalo množství vyprodukovaného odpadu v rámci této skupiny.

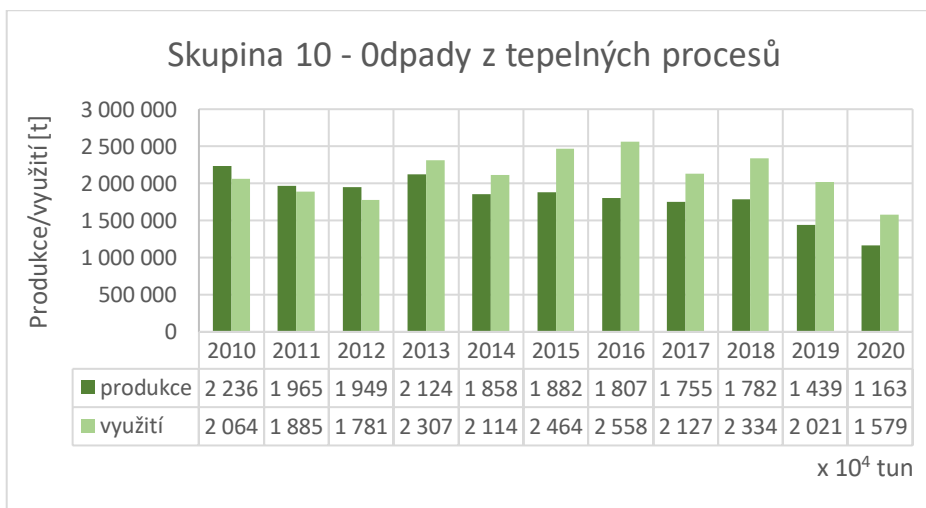


Obr. 7 Produkce a využití všech skupin odpadů v roce 2020

### 5.2.3 Produkce a nakládání s odpady z tepelných procesů

Produkce odpadů skupiny 10 – Odpady z tepelných procesů, v roce 2020 bylo 1,16 Mt z toho se na skládku uložilo jenom 3,3 %. [10]

Produkce odpadu z tepelných procesů vykazuje od roku 2013 po rok 2020 klesající trend, což zřejmě způsobilo ubývající množství uhelných elektráren a jiných topenišť. [11] Využití odpadů této skupiny však výrazně převyšuje, její produkce od roku 2013, teda víc odpadu se využije než vyprodukuje. I přesto se však jistý podíl tohoto odpadu odstraňuje skládkováním.



Obr. 8 Produkce a využití všech skupin odpadů v roce 2020

### 5.2.4 Produkce a nakládání s odpady dalších skupin

Produkce odpadů skupiny 19 - Odpady ze zařízení na zpracování (využívání a odstraňování) odpadu, z čistíren odpadních vod pro čištění těchto vod mimo místo jejich vzniku a z výroby vody pro spotřebu lidí a vody pro průmyslové účely, v roce 2020 bylo 2,95 Mt z toho se na skládku uložilo 9,9 %. [10]

Výrazně vysoký poměr produkce ke skládkování mají odpady skupiny 18 - Odpady ze zdravotní nebo veterinární péče a/nebo z výzkumu s nimi souvisejícího (s výjimkou kuchyňských odpadů a odpadů ze stravovacích zařízení, které bezprostředně nesouvisejí se zdravotní péčí), činící 76,1 % a odpady ze skupiny 20 - Komunální odpady (odpady z domácností a podobné živnostenské, průmyslové odpady a odpady z úřadů) včetně složek z odděleného sběru, činících 47,7 %. Údaje jsou z roku 2020. [10]

### 5.2.5 Produkce a nakládání s odpady všech skupin katalogu odpadů

V následující tabulce je soupis množství vyprodukovaného, materiálově a energeticky využitého a odstraněného odpadu dle jednotlivých skupin katalogu odpadů z roku 2020 doplněné o procentuální vyjádření poměru využití k produkci odpadu a poměru odstranění k produkci odpadu v rámci jednotlivých skupin dle katalogu odpadů.

Tab. 1 Produkce a nakládání s odpady všech skupin katalogu odpadů [10]

Skupina odpadů	Produkce odpadů		Využití odpadu			Odstranění odpadu	Poměr odstranění produkce
	Odpady celkem	Z toho nebezpečné	Materiálové využití	Energetické využití	Využití/produkce		
	t	t	t	t	%		
01	66 228	504	60 211	0	90,9	5 348	8,1
02	254 618	921	164 432	80 451	96,2	14 520	5,7
03	253 904	241	257 965	50 984	121,7	10 184	4,0
04	70 369	361	28 805	14 748	61,9	26 658	37,9
05	38 620	38 488	7 618	24 537	83,3	1 446	3,7
06	16 164	10 057	149	0	0,9	5 032	31,1
07	140 794	39 856	66 126	9 315	53,6	50 148	35,6
08	49 754	39 132	5 953	69	12,1	12 524	25,2
09	1 367	1 139	292	0	21,4	168	12,3
10	1 163 788	139 562	1 579 839	0	135,7	38 431	3,3
11	83 541	79 729	4 959	28	6,0	449	0,5
12	607 333	77 784	259 443	990	42,9	18 920	3,1
13	147 105	147 099	29 147	2 275	21,4	1 308	0,9
14	3 297	3 297	1 178	25	36,5	1 140	34,6
15	1 152 573	51 313	719 473	21 221	64,3	146 641	12,7
16	645 232	256 047	432 780	26 842	71,2	18 712	2,9
17	25 050 135	597 532	25 449 248	3 052	101,6	424 618	1,7
18	46 461	37 912	1 599	2 442	8,7	35 372	76,1
19	2 946 805	217 043	1 956 982	423 260	80,8	290 798	9,9
20	5 765 570	43 799	2 147 770	722 535	49,8	2 749 573	47,7
<b>Celkem</b>	<b>38 503 658</b>	<b>1 781 816</b>	<b>33 173 969</b>	<b>1 382 775</b>	<b>89,7</b>	<b>3 851 990</b>	<b>10,0</b>

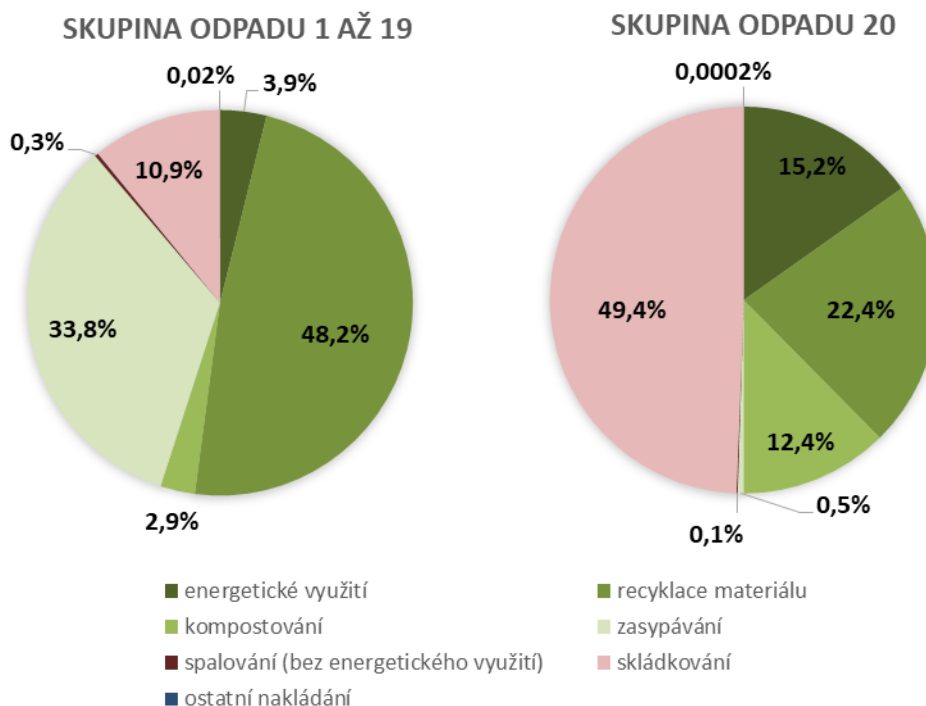
Vysvětlivky k tab. 1.:

Č.	Název skupiny dle katalogu odpadu
01	Odpady z geologického průzkumu, těžby, úpravy a dalšího fyzikálního a chemického zpracování nerostů a kamene
02	Odpady z prvovýroby v zemědělství, zahradnictví, myslivosti, rybářství, lesnictví a z výroby a zpracování potravin
03	Odpady ze zpracování dřeva a výroby desek, nábytku, celulózy, papíru a lepenky
04	Odpady z kožedělného, kožešnického a textilního průmyslu
05	Odpady ze zpracování ropy, čištění zemního plynu a z pyrolytického zpracování uhlí
06	Odpady z anorganických chemických procesů
07	Odpady z organických chemických procesů
08	Odpady z výroby, zpracování, distribuce a používání nátěrových hmot (barev, laků a smaltů), lepidel, tésnicích materiálů a tiskařských barev
09	Odpady z fotografického průmyslu
10	Odpady z tepelných procesů
11	Odpady z chemických povrchových úprav, z povrchových úprav kovů a jiných materiálů a z hydrometalurgie neželezných kovů
12	Odpady z tváření a z fyzikální a mechanické úpravy povrchu kovů a plastů
13	Odpady olejů a odpady kapalných paliv (kromě jedlých olejů a odpadů uvedených ve skupinách 05 a 12)
14	Odpady organických rozpouštědel, chladiv a hnacích médií (kromě odpadů uvedených ve skupinách 07 a 08)
15	Odpadní obaly, absorpční činidla, čisticí tkaniny, filtrační materiály a ochranné oděvy jinak neurčené
16	Odpady v tomto katalogu jinak neurčené
17	Stavební a demoliční odpady (včetně vytěžené zeminy z kontaminovaných míst)
18	Odpady ze zdravotní nebo veterinární péče a/nebo z výzkumu s nimi souvisejícího (s výjimkou kuchyňských odpadů a odpadů ze stravovacích zařízení, které bezprostředně nesouvisí se zdravotní péčí)
19	Odpady ze zařízení na zpracování (využívání a odstraňování) odpadu, z čistíren odpadních vod pro čištění těchto vod mimo místo jejich vzniku a z výroby vody pro spotřebu lidí a vody pro průmyslové účely
20	Komunální odpady (odpady z domácností a podobné živnostenské, průmyslové odpady a odpady z úřadů) včetně složek z odděleného sběru

## 5.2.6 Nakládání s odpadem za rok 2020

Tab. 2 Nakládání s odpadem (Produkce, využití a odstranění odpadů) dle ČSÚ [12]

	odpady ze skupiny 1 až 19						komunální
	celkem 2018	z toho: nebezpečné	celkem 2019	z toho: nebezpečné	celkem 2020	z toho: nebezpečné	celkem 2020
<b>celkem</b>	<b>33 783 435</b>	<b>574 211</b>	<b>32 438 047</b>	<b>627 028</b>	<b>35 380 809</b>	<b>629 832</b>	<b>5 271 690</b>
v tom:							
<b>- využívání</b>	<b>29 901 756</b>	<b>223 490</b>	<b>28 481 822</b>	<b>237 824</b>	<b>31 419 208</b>	<b>326 517</b>	<b>2 662 917</b>
z toho:							
energetické	1 200 655	33 160	1 295 190	42 316	1 382 547	60 547	803 773
recyklace	16 228 109	190 283	14 988 483	195 458	17 055 487	265 923	1 178 537
kompostování	897 337	-	961 135	-	1 027 974	-	652 411
zasypávání	11 571 839	-	11 233 529	-	11 946 348	-	28 186
<b>- odstraňování</b>	<b>3 881 680</b>	<b>350 721</b>	<b>3 956 225</b>	<b>389 204</b>	<b>3 961 602</b>	<b>303 315</b>	<b>2 608 773</b>
z toho:							
spalování	93 557	87 273	90 268	84 024	88 748	81 612	5 030
skládkování	3 786 387	263 448	3 865 151	305 179	3 871 454	221 703	2 603 743



Obr. 9 Nakládání s odpadem (Produkce, využití a odstranění odpadů) za rok 2020 [12]

## 6 Příprava k opětovnému využití a opětovné využití

Příprava k opětovnému využití je v hierarchii odpadového hospodářství zařazena hned za předcházením vzniku odpadu. Jedná se o způsob využití odpadu. Zahrnuje v sobě úkony, kterými je zajištěno opětovné využití výrobku nebo jeho části bez dalšího zpracování. Tyto úkony dle zákona č. 541/2020 Sb. jsou kontrola a čištění, popřípadě oprava výrobku nebo jejích částí. (zákon č. 541/2020 Sb. §11 odst. 1 odsek m,) [1] Pomocí přípravy k opětovné využití se dokáže prodloužit životnost daného výrobku nebo její části a tím snižovat produkci odpadu. [8]

Pod pojmem opětovné využití se dle zákona č. 541/2020 Sb. rozumí „postupy, kterými jsou výrobky nebo jejich části, které nejsou odpadem, znovu použity ke stejnému účelu, ke kterému byly původně určeny“. [1]

Rozdíl mezi přípravou k opětovnému využití a opětovným využitím je právě to, že příprava k opětovnému využití je využití odpadu, tedy odpad musí přejít z odpadního režimu na neodpad, aby mohl být využit, přičemž opětovné použití se vztahuje na výrobky nebo její části, které nejsou odpadem.

### 6.1 Opětovné použití stavebního a demoličního odpadu

Opětovné použití stavebního a demoličního odpadu v případech některých částí konstrukcí, resp. materiálů může být obtížné. Opětovné použití nadbytečných prvků se standardními parametry (např. rozměry v standardních modulech, s běžní pevností apod.) při další výstavbě není problém, jestli její parametry odpovídají potřebným parametrům, ale použití na míru vyhotovených prvků je vskutku obtížné až nemožné, opětovné využití monolitických konstrukcí je spíše na straně nemožné. Proto výhodným řešením pro eliminaci těžkostí při opětovném využitím (a v některých případech pro její umožnění) je

technická inovace výroby, kvalitní certifikace produktů a standardizace nejen ve smyslu sjednocení parametrů produktů, ale také standardizace navrhování. (An overview of waste hierarchy framework 5.1.2.) [8]

## 7 Využití odpadu

### 7.1 Současný stav využití průmyslových odpadů

V roce 2020 byl v České republice vyprodukovaných přes 35 Mt odpadu skupiny 1 až 19 dle katalogu odpadů a využitých bylo téměř 31,5 Mt, z toho značné množství bylo recyklováno, a to lehce přes 17 Mt. K zasypávání se využilo téměř 12 Mt. Energeticky se využilo 1,38 Mt. [10]

Ve skupině odpadů 1 až 19 jsou zahrnuty všechny odpady kromě komunálního odpadu. Z hlediska využití odpadů ve stavebnictví jsou relevantní najmě odpady z následujících skupin:

- 01 Odpady z geologického průzkumu, těžby, úpravy a dalšího fyzikálního a chemického zpracování nerostů a kamene
- 03 Odpady ze zpracování dřeva a výroby desek, nábytku, celulózy, papíru a lepenky
- 05 Odpady ze zpracování ropy, čištění zemního plynu a z pyrolytického zpracování uhlí
- 10 Odpady z tepelných procesů
- 11 Odpady z chemických povrchových úprav, z povrchových úprav kovů a jiných materiálů a z hydrometalurgie neželezných kovů
- 12 Odpady z tváření a z fyzikální a mechanické úpravy povrchu kovů a plastů
- 15 Odpadní obaly, absorpční činidla, čisticí tkaniny, filtrační materiály a ochranné oděvy jinak neurčené
- 16 Odpady v tomto katalogu jinak neurčené
- 17 Stavební a demoliční odpady (včetně vytěžené zeminy z kontaminovaných míst)
- 19 Odpady ze zařízení na zpracování (využívání a odstraňování) odpadu, z čistíren odpadních vod pro čištění těchto vod mimo místo jejich vzniku a z výroby vody pro spotřebu lidí a vody pro průmyslové účely [3]

Z tab. 1 je vidět, že poměr vyprodukovaného odpadu a odpadu odstraněné výše popsaných skupin odpadů, které by mohly být využité ve stavebnictví, je pod 10 %. Znamená to, že jednotlivě vzato víc než 90 % těchto odpadů je již využíváno. Nesmíme zapomenout, že tyto hodnoty neobsahují druhotné suroviny ani vedlejší produkty.

Většina konkrétních odpadů z výše uvedených skupin mají malou výhřevnost. Z charakteru těchto odpadů je zřejmé a z tab. 1 je vidno, že energetické využití těchto odpadů je menší v porovnání s ostatními výše neuvedenými skupinami. U některých skupin je energetické využití nulové.

Materiálové využití ve stavebnictví výše uvedených skupin odpadů je příznivé, avšak tento druh využití zahrne v sobě kromě opětovného využití a recyklace, což jsou dle hierarchie odpadové hospodářství dvě nejvíce prioritní nakládání s odpady, i zasypávání, což je dle hierarchie odpadového hospodářství nejmíň příznivé nakládání s odpadem. Oběhové hospodářství zasypávání již zcela odmítá.

## 7.2 Recyklace průmyslového odpadu

Jedná se o druh materiálového využití odpadu, kde odpad je zpracován na výrobky, materiály nebo látky. (Zákon č. 541/2020 Sb. §11 odstavec 1 odsek k, l,) [1] Ide o způsoby využití odpadů spadající pod označení R3 Recyklace nebo zpětné získávání organických látek, které se nepoužívají jako rozpouštědla, R4 Recyklace nebo zpětné získání kovů a sloučenin kovů, R5 Recyklace nebo zpětné získání ostatních anorganických materiálů.

Odpad, který byl předmětem recyklace dle zákona č. 541/2020 Sb. přestává být odpadem, jestli splňuje dané požadavky, vymezené v §9 odstavec 1 tohoto zákona. Jedná se zejména o splnění kritérií stanovený v příslušném předpisu Evropské unie, splnění nutných technických požadavek, aby mohlo být k danému účelu používán a další. [1]

Recyklace může být:

- materiálová: upravení odpadního materiálu a využití jako vstup do výroby,
- surovinová: rozklad odpadních polymerů na nízkomolekulární produkty,
- chemická: rozložení polymeru na monomery. [13]

Odpady, které za dosavadních vědomostí lze účelně recyklovat a/nebo využívat jako vedlejší produkt:

- některé odpady vymezené v bodě C v příloze č. 4 vyhlášky 273/2021 Sb.: nebezpečné odpady, které je zakázáno ukládat na skládku, protože je technicky možné je zpracovat
- odpady vymezené v bodě E v příloze č. 4 vyhlášky 273/2021 Sb.: odpady, které je zakázáno ukládat na skládku od roku 2030, protože jsou recyklovatelné
- alespoň ty vybourané stavební materiály, výrobky, vedlejší produkty a stavební a demoliční odpady, které musí být soustředěny odděleně podle bodu 1 přílohy č. 24 vyhlášky 273/2021 Sb., které jsou recyklovatelné dle §42 odstavec 1 odsek a, téhož vyhlášky
- alespoň ty vybourané stavební materiály, výrobky, vedlejší produkty a stavební a demoliční odpady, které musí být soustředěny odděleně podle bodu 2 přílohy č. 24 vyhlášky 273/2021 Sb., které se mohou dále využívat jako vedlejší produkt dle §42 odstavec 1 odsek b, téhož vyhlášky. (vyhláška č. 273/2021 Sb.) [2]

### 7.2.1.1 Recyklace stavebního a demoličního odpadu

Anglická terminologie rozlišuje recycling, downcycling a upcycling, přičemž česká terminologie recyklace označuje všechny tyto procesy. Recyklace znamená využití odpadu jako materiálu, nebo jeho zpracování na výrobek, nebo jiné využití kromě energetického (podrobněji viz kapitola 5. Nakládání s odpadem), přičemž při procesu anglicky označené jako recycling nedochází, při procesu downcycling dochází ke snížení kvality materiálu po recyklaci. Při upcycling dochází ke zvyšování hodnoty materiálu. Prioritou tehdy má být takový proces opětovné uvedení do hospodářského cyklu, aby nedocházelo ke snížení kvality materiálu. [13]

Příkladem procesu recycling je produkce výrobků obsahujících recyklovaný odpad jako druhotnou surovinu. Tím se snižuje potřebné množství primárních surovin, a to bezprostředně snižuje těžbu nerostných surovin. Příkladem procesu downcycling je využití inertního stavebního a demoličního odpadu jako podkladovou vrstvu pro silniční a železniční stavby.



### 7.2.1.2 Jiné využití stavebního a demoličního odpadu

Jedná se zejména o využití pro zasypávání. Minerální stavební a demoliční odpad je ve většině případů inertní a tedy je možné ji využívat pro zasypávání dle § 6 odstavce 1 vyhlášky č. 273/2021 Sb. [2]

## 7.3 Zasypávání

Jde o druh materiálového využití odpadu. V smyslu zákona o odpadech zasypáváním se rozumí využití odpadu pro rekultivaci vytěžených oblastí, nebo jejich využití k různým terénním úpravám. (Zákon o odpadech § 11 (1) v.) [1]

Jedná se o činnost R5e Využití odpadu k zasypávání, s výjimkou první a druhé fáze provozu skládky odpadů spadající pod způsoby R5 Recyklace nebo zpětné získání ostatních anorganických materiálů dle přílohy č. 5 k zákonu č. 541/2020 Sb. [1]

### 7.3.1 Kritéria pro využití odpadů pro zasypávání

K zasypávání se mají používat odpady technicky vhodný pro tento účel. Jedná se o odpady inertního charakteru s omezeným množstvím škodlivin. Odpady využívané k zasypávání mají splňovat požadavky vymezené ve vyhlášce č. 273/2021 Sb. §6 a limity vymezené v příloze č. 5 k vyhlášce č. 273/2021 Sb., přičemž odpadní materiály musí nahrazovat materiály, které nejsou odpadem a jejich použití se musí redukovat na nutný minimum. (Zákon o odpadech § 34 (6) v.) [1]

V příloze č. 5 k vyhlášce č. 273/2021 Sb. jsou uvedeny maximální přípustné koncentrace škodlivin v sušině uvedené v tabulce č. 5.1 vyhlášky, ve výluhu uvedené v tabulce č. 5.2 vyhlášky a v tabulce č. 5.3 jsou uvedeny limitní hodnoty ekotoxických testů. Limitní hodnoty škodlivin v sušině a ekotoxických testů jsou přísnější pro zdroje vody I. stupně ochrany než pro vody II. stupně ochrany, pro koncentrace škodlivin ve výluhu platí jednotné limity. Dále v příloze č. 5 téhož vyhlášky jsou v tabulce č. 5.4 uvedeny nejvyšší přípustné koncentrace škodlivin v sušině sedimentu. [2]

Využití odpadu pro zasypávání 1 m od konečného povrchu terénu je možné v případě, jestliže nepřekročí nejvyšší přípustné koncentrace škodlivin v sušině uvedené v tabulce č. 5.1 v sloupci I a dále výsledky ekotoxikologických testů nesmí překročit limity uvedené v tabulce 5.3 sloupci I přílohy 5. vyhlášky č. 273/2021 Sb. [2]

K zasypávání nesmí být používané odpady, které nejsou inertní a které jsou vymezené v bodech A a B přílohy č. 4 vyhlášky 273/2021 Sb. [2] V bodě A jsou vymezené odpady, které je zakázáno ukládat na skládku, využít k zasypávání, využít pro technické zabezpečení skládky anebo pro rekultivace skládky. Jedná se zejména o nebezpečné odpady se specifickými vlastnostmi, vlivem kterého tyto využití vylučují. V bodě B jsou vymezené další odpady, které nelze pro zasypávání využít. Jedná se o nebezpečné odpady a odpady, které vznikly úpravou nebezpečných odpadů, a přitom se neodstranily nebezpečné složky, odpady katalogových čísel 20 03 01, 20 03 02, 20 03 03 a 20 03 07, dále stavební a demoliční odpad až na některé výjimky. (příloha č. 4 vyhlášky č. 273/2021 Sb) [2]

Oblasti, u kterých nesmí být využitý odpad pro zasypávání, a odpady, které nesmí být využívány pro zasypávání, jsou vymezené ve vyhlášce č. 273/2021 Sb. §6. Jedná se o ochranná pásma stupně I vodních zdrojů, dále o ochranná pásma léčivých a minerálních zdrojů stupně I a II a ve zvláště chráněných oblastech, pokud se nejedná o kameny a sedimenty pocházející z dané lokality. (vyhláška č. 273/2021 Sb. §6 (2)) [2] Pro využití

odpadu k zasypávání v ochranných pásmech vodních zdrojů II. Stupně a pod úrovní hladiny podzemní vody platí požadavky uvedené v tabulce č. 5.1 v sloupci I přílohy 5. vyhlášky č. 273/2021 Sb. [2]

### **7.3.2 Odpady využitelné pro zasypávání**

V §6 vyhlášky č. 273/2021 Sb. Jsou vymezeny jenom odpady, které se pro zasypávání nesmí používat a oblasti kde se odpad nesmí využívat pro zasypávání. Z tohoto negativního výčtu plyne, že k zasypávání mohou být použité odpady, které nejsou vymezené v odstavci 1 §6, v oblastech, které nejsou vymezeny v odstavci 2 §6 a které splňují požadavky uvedené v odstavcích 3 až 6 §6 vyhlášky č. 273/2021 Sb. [2]

## **7.4 Solidifikace a stabilizace**

Jedná se o jistý způsob úpravy odpadů, přičemž úpravu jako takovou zákon 541/2020 Sb. Definiuje jako činnost, která vede k změně chemické, biologické nebo fyzikální vlastnosti daného odpadu. (zákon 541/2020 Sb. §11 odst. 1 h.) [1] Solidifikace a/nebo stabilizace odpadu je fyzikálně-chemický proces úpravy odpadů. Jedná se o činnost 2.5.0 dle přílohy č. 2 zákona 541/2020 Sb. Katalog činností. [1]

Solidifikace je pojmenování procesu úpravy odpadu, při kterém se ze směsi odpadu vytvoří pevná matrice pomocí pojiva případně dalších složek. Látky škodlivé pro životní prostředí, obsažené ve směsi odpadu, mohou reagovat s pojivem, tím se sníží specifický povrch. Cílem je omezení reakce škodlivin, obsažených v odpadu, s okolním prostředím. [9]

Stabilizací se rozumí přeměna škodlivin obsažených v odpadu na stabilnější formy. [9]

Technologický proces stabilizace spolu se solidifikací slouží především k zneškodnění nebezpečných odpadů. Od takovéto úpravy se očekává snížení pohyblivosti, reaktivnosti a vyluhovatelnosti škodlivin a také zlepšení fyzikálních vlastností zpevněného odpadu. Používá se zejména tam, kde by odpad jinak nemohl být využitý, popř. bezpečně odstraněný. U nevyužitelných, zároveň nespalitelných nebezpečných odpadů resp. pro nebezpečné zbytky po spalování odpadu, je tato technologie jediným možným způsobem nakládání. [9]

## **7.5 Rekultivace skládek**

### **7.5.1 Technologický materiál pro technické zabezpečení skládek**

Podle vyhlášky 273/2021 Sb. §16 odstavec 1: „Odpady použité jako technologický materiál na technické zabezpečení skládky musí odpovídat požadavkům na odpady, které mohou být uloženy na příslušnou skupinu skládek.“ Přičemž použití těchto odpadů pro daný účel musí být popsán v provozním řádu dané skládky. [2]

### **7.5.2 Odpady, které mohou být technologickým materiálem**

V seznamu v příloze č. 11 vyhlášky 273/2021 Sb. Jsou vymezeny odpady, které se mohou použít jako technologický materiál pro vytvoření odplyňovací, vyrovnávací, těsnicí, ochranné a svrchní rekultivační vrstvy při uzavírání a rekultivace skládky. (vyhláška č.273/2021 Sb. §16 odstavec 1 a 3) [2] V seznamu nalezneme kód, název a kategorii odpadu, dále využití, přičemž číslo 1 uvedené v daném sloupci v řádce daného odpadu značí, že daný odpad je možné použít k danému účelu.

Pro uzavírací a těsnicí vrstvy se mohou používat odpady, které jsou vymezené v příloze č. 11 vyhlášky 273/2021 Sb. A splňují přípustní limitní hodnoty ukazatelů výluhové třídy číslo Ib podle tabulky 10.1 přílohy č. 10 této vyhlášky. (vyhláška č. 273/2021 Sb. §16 odstavec 4) [2]

Pro ochranné a svrchní rekultivační vrstvy se mohou používat odpady, které jsou vymezené v příloze č. 11 vyhlášky 273/2021 Sb. A také dle vyhlášky č. 273/2021 Sb. §16 odstavec 5 splňují podmínky pro zasypávání vymezené v §6 této vyhlášky. (vyhláška č.273/2021 Sb. §16 odstavec 5) [2]

Odpady, které se nesmí používat pro technické zabezpečení, uzavírání a rekultivaci skládek jsou vymezeny v bodě A přílohy č. 4 vyhlášky 273/2021 Sb. (vyhláška č.273/2021 Sb. §16 odstavec 2) [2]

## **7.6 Energetické využití**

Energetické využití je nejmíň preferované využití podle hierarchie odpadového hospodářství, ale je víc příznivé jako odstranění odpadu spalováním nebo skládkováním. Zákon 541/2020 Sb. Od 1. ledna 2030 zakazuje uložení na skládku odpady, které vykazují výhřevnost vyšší než 6,5 MJ/kg v sušině, jelikož se může využít energetický obsah těchto odpadů. Dále však uvádí povinnost nakládání s odpadem dle hierarchie odpadového hospodářství, teda energeticky může být odpad využíván v případě, že ji nelze využít příznivějším způsobem. [1]

Dle zákona 541/2020 Sb. se pod pojmem energetické využití odpadu rozumí použití odpadu jako palivo, zejména se jedná o využití energetického obsahu odpadu. Je označen kódem R1a dle přílohy č. 5 tohoto zákona. (zákon 541/2020 Sb. §11 odst. 1 j.) [1]

Ve své podstatě se jedná o spalování odpadu, což se považuje za energetické využití právě tehdy, když odpad nepotřebuje po zapálení jiné palivo k hoření a vzniklé teplo ze samotného hoření je dále využíváno, nebo když je samotný odpad využíván jako palivo pro proces hoření. Spalování komunálního odpadu se může považovat za energetické využití v případě, že dosahuje vysoký stupeň energetické účinnosti vypočítané dle přílohy 7 zákona 541/2020 Sb., přičemž odděleně soustředěvané složky komunálního odpadu vhodné pro více preferované využití dle hierarchie odpadového hospodářství se nesmí energeticky využívat s výjimkou odpadu vzniklého při jejich zpracování, které dále nelze využívat jiným způsobem. (zákon 541/2020 Sb. §35) [1]

## **7.7 Dominantní druhotné suroviny a vedlejší produkty využívané ve stavebnictví**

### **7.7.1 Vedlejší energetické produkty**

Pod pojmem vedlejší energetické produkty se ve stavebnictví rozumí vedlejší produkty a druhotné suroviny vzniklé jak odpad nebo produkt z tepelných procesů.

Jedním z nejzásadnějších vedlejších energetických produktů použitelných ve stavebnictví je popílek. Popílky jsou vlastně jemné, sklovité částice vzniklé při procesu spalování. Ve stavebnictví pod pojmem popílek rozumí druhotná surovina vzniklá spalováním uhlí. Dle technologie spalování rozeznáváme vysokoteplotní popílek (další názvy: klasický popílek, popílek), který je odpadním produktem při vysokoteplotním spalování uhlí a fluidní popílek (nazýván i jako ložní popel), který vzniká při fluidním spalování uhlí.

Kritéria většiny norem dokáže splnit jenom vysokoteplotní popílek. Fluidní popílek se používá tam, kde požadavky zejména na chemické složení nejsou tak přísné. [14]

Další důležitá druhotná surovina vzniklá při vysokoteplotní spalování práškové uhlí je energosádrovec, který vlastnostmi i využitím odpovídá přírodnímu sádrovci. [14]

Druhotná surovina použitím podobná vysokoteplotnímu popílku je vysokopecní struska, která vzniká při hutní výrobě z roztavené hlušiny přidáním struskotvorných látek. [14]

### 7.7.1.1 Popílek

Popílky jsou obecně nerostné zplodiny vzniklé během spalování tuhých paliv. Vlastnosti popílku se odvíjí od druhu použitého paliva a od technologie spalování. Ve stavebnictví se používá zejména popílek z vysokoteplotního spalování uhlí. [14]

Za předpokladu splnění požadavků uvedených v příslušné normě jsou popílky používány zejména jako hlavní složka do portlandských popílkových, do portlandských směsných, pucolánových směsných a do směsných cementů, dále jako latentně hydraulická příměs do betonu a malt, křemičitá složka do pórobetonu, pro výrobu pórovitého kameniva technologií aglomerace nebo zpevňováním za studena, pro vyhotovení stmelých i nestmelých vrstev pozemních komunikací [14]

Tento druh popílku se využívá zejména:

- pro výrobu portlandského popílkového cementu, pucolánového cementu a směsného cementu zařazené dle ČSN EN 197-1 a dalších maltovin, jestli jsou splněny požadavky uvedené v ČSN 72 2072-1 Popílek pro stavební účely – Část 1: Popílek jako aktivní složka maltovin,
- jako latentně hydraulický příměs do betonu, jestli jsou splněny požadavky uvedené v ČSN EN 450-1,
- pro zlepšení vlastností lehkých betonů, obdobně jako hutných betonů,
- při výrobě autoklávovaného pórobetonu, jako křemičitá složka, jestli splňuje vlastnosti požadované v ČSN 72 2072-5 – Část 5: Popílek pro výrobu pórobetonu, kde jedním z nejdůležitějších vlastností je obsah oxidu křemičitého,
- pro výrobu lehkého pórovitého kameniva ze studena vytvrzovaného nebo vytvrzované spékáním. [14]

Jestli popílek nevykazuje takové vlastnosti, aby mohlo být využíván mimo jiné pro výše uvedené účely tak, aby nahrazoval vstupní surovinu při výrobě, nebo modifikoval vlastnosti finálního výrobku tak, aby měl lepší vlastnosti, dle hierarchie odpadového hospodářství může být použito pro zasypávání. Přičemž pro zasypávání mimo popílku z vysokoteplotního spalování uhlí lze použít i jiné druhy popílků, pokud splňují obecní podmínky pro zasypávání vymezené v §6 vyhlášky 273/2021 Sb. [2]

Z produkovaných skupin odpadů se jedná především o následující druhy popílků:

- 10 01 02 Popílek ze spalování uhlí
- 10 01 03 Popílek ze spalování rašeliny a neošetřeného dřeva
- 10 01 17 Popílek ze spoluspalování odpadu neuvedený pod číslem 10 01 16 (Popílek ze spoluspalování odpadu obsahující nebezpečné látky)
- 19 01 14 Jiný popílek neuvedený pod číslem 19 01 13 (Popílek obsahující nebezpečné látky). [3]

### 7.7.1.2 Škvára

Škváry jsou zpevněné zbytky pevných paliv a spalovaného materiálu při různých technologiích spalování. Škváry, které splňují jakostní podmínky, se mohou používat jako lehké kamenivo do nepřímo nebo kombinovaně lehčených betonů, přičemž musí splňovat požadavky uvedené v ČSN 72 2050 – Škváry pro škvárový beton. [14]

Z produkovaných skupin odpadů se jedná především o následující druhy škváry:

- 10 01 01 Škvára, struska a kotelní prach (kromě kotelního prachu uvedené pod číslem 10 01 04)
- 10 01 15 Škvára, struska a kotelní prach ze spoluspalování odpadu neuvedené pod číslem 10 01 14 (Škvára, struska a kotelní prach ze spoluspalování odpadu obsahující nebezpečné látky). [3]

### 7.7.2 Stavební a demoliční odpad

Jedná se o odpady ze skupiny 17 Stavební a demoliční odpad (včetně vytěžené zeminy z kontaminovaných míst) dle katalogu odpadů.

Produkce stavebního a demoličního odpadu v České republice má od roku 2016 po rok 2020 zvyšující se trend. Zatímco v roce 2016 byla produkce tohoto odpadu 20,6 Mt, v roce 2020 dosáhlo 25,0 Mt. Materiálově se využilo v roce 2020 téměř 25,5 Mt stavebního a demoličního odpadu, což bylo vlastně víc než produkce tohoto odpadu za daný rok, ale odstranilo se 0,4 Mt v téhož roce. [10] [12]

Do této skupiny odpadu patří zejména odpadní beton uvedený pod katalogovým číslem 17 01 01. Jeho produkce za rok 2020 byl téměř 1,8 Mt. [12] Dále sem patří odpady, uvedené pod katalogovým číslem 17 01 07, ale jelikož se jedná o směs betonu, cihel a keramických tašek, před využitím je nutno roztrždit. Po přechodu z odpadního režimu na neodpadní může být využíván jako druhotná surovina. Tento materiál se pak ve stavebnictví označuje jako betonový recyklát, který se využívá zejména jako náhrada přírodního kameniva.

Druhotné suroviny vzniklé z odpadní keramiky uvedené zejména pod katalogovým číslem 17 01 02 Cihly, 17 01 03 Tašky a keramické výrobky a oddělené keramické složky 17 01 07 v jemně mleté podobě mohou být využívány jako ostřívo ve výrobě keramických prvků jako inertní příměs do betonu a malt, pro výrobu lehkého kameniva aglomerací. Cihelnou, resp. keramickou drť lze využívat jako lehké kamenivo do betonu a jako zásypový materiál.

Dle bodu B přílohy č. 4 k vyhlášce 273/2021 Sb. se „stavební a demoliční odpad nesmí používat na zasypávání s výjimkou zeminy, jalové hlušiny, sedimentů, inertního minerálního recyklovaného kameniva a vybouraných betonových nebo železobetonových bloků využívaných jako náhrada za lomový kámen...“ [2], dále „odpady na bázi sádky, kovů, plastu, pryže, asfaltu, skla, papíru a dřeva“ [2] také nemohou být použité k zasypávání. Přičemž stavební a demoliční odpad, které lze využít k zasypávání musí splnit obecní podmínky vymezené ve vyhlášce č. 273/2021 Sb. §6 a limity vymezené v příloze č. 5 vyhlášky 273/2021 Sb., aby mohlo být využíván k zasypávání. [2]

Z produkovaných skupin odpadů se jedná především o následující druhy odpady ze skupiny 17 Stavební a demoliční odpady:

- 17 01 01 Beton
- 17 01 02 Cihly
- 17 01 03 Tašky a keramické výrobky

- 17 01 07 Směsi nebo oddělené frakce betonu, cihel, tašek a keramických výrobků neuvedené pod číslem 17 01 06 (Směsi nebo oddělené frakce betonu, cihel, tašek a keramických výrobků obsahující nebezpeční látky)
- 17 05 04 Zemina a kamení neuvedené pod číslem 17 05 03 (Zemina a kamení obsahující nebezpeční látky)
- 17 05 06 Vytěžená jalová hornina a hlušina neuvedené pod číslem 17 05 05 (Vytěžená jalová hornina a hlušina obsahující nebezpeční látky)
- 17 05 08 Štěrky ze železničního svršku neuvedené pod číslem 17 05 07 (Štěrky ze železničního svršku obsahující nebezpeční látky)
- 17 09 04 Směsné stavební a demoliční odpady neuvedené pod čísly 17 09 01, 17 09 02 a 17 09 03 jedná-li se o směs inertního, minerálního stavebního a demoličního odpadu neobsahující složky na bázi sádky, kovů, plastu, pryže, asfaltu, skla, papíru a dřeva. [3]

Ve většině případů je nutné úprava těchto odpadů, před jejich opětovným využitím, a to zejména pomocí procesu: mechanická úprava a technologie: drcení odpadu. Jedná se o činnost: 3.2.0, povolené způsoby nakládání: R12a, D14. (příloha č. 2 k zákonu č.541/2020 Sb.) [1]

### **7.7.3 Odpady z těžby a úpravnictví**

Téměř veškerý odpad vzniklý při těžbě a úpravnictví primárních surovin uvedený ve skupině 01 Odpady z geologického průzkumu, těžby, úpravnictví a dalšího zpracování nerostů a kamene je využíván. Celková produkce odpadů uvedených v této skupině v roce 2020 byl 66 228 tun, materiálově se využilo 60 211 tun, skládkováním se odstranilo 5 348 tun, což činí 8,9 % z množství vyprodukovaného odpadu skupiny 01. [10] [12]

### **7.7.4 Struska**

Struskou se obecně rozumí veškerý odpad vznikající v průmyslových pecích. Ve stavebnictví je nejvíc využívána vysokopecní struska, která vzniká ve vysoké peci hutnické výroby. Jedná se o nekovový zbytek roztavené hlušiny, ke kterému se následně přidávají struskotvorné látky. [14]

Obsahuje převážně oxid křemičitý, oxid vápenatý a oxid hlinitý. Dle podílu oxidu křemičitého a oxidu vápenatého ve struktuře rozeznáváme strusky zásadité a kyselé. Zásadité vysokopecní strusky mohou být vhodnou surovinou pro přípravu portlandského struskového cementu, vysokopecního cementu a směsného cementu, dále mohou být využívány jako latentně hydraulická příměs do betonu a malt. Kyselé vysokopecní strusky jsou vhodné jako kamenivo do betonu nebo pro výrobu pórovitého kameniva technologií zpěňování. [14]

Vysokopecní strusku dle chemických a fyzikálních vlastností lze využívat pro výrobu portlandských směsných cementů s označením CEM II, směsných cementů s označením CEM V, hydraulického vápna a dalších maltovin, dále jako kamenivo do obyčejného hutného betonu a napěněné strusku jako pórovité kamenivo do lehkých betonů. [14]

### **7.7.5 Odpady z těžby a úpravy nerostů**

Pro zasypávání je možné využívat následující odpady ze skupiny 01 Odpady z geologického průzkumu, těžby, úpravy a dalšího fyzikálního a chemického zpracování nerostů dle katalogu odpadů, za podmínek, že byly dodrženy obecné podmínky pro zasypávání dle vyhlášky č. 273/2021 Sb. §6:

- 01 01 02 Odpady z těžby nerudných nerostů
- 01 04 08 Odpadní štěrk a kamenivo neuvedené pod číslem 01 04 07 (odpady z fyzikálního a chemického zpracování nerudných nerostů obsahující nebezpečné látky)
- 01 04 09 Odpadní štěrk a jíla
- 01 04 10 Nerudný prach neuvedený pod číslem 01 04 07
- 01 04 12 Hlušina a další odpady z praní a čištění nerostů neuvedené pod čísly 01 04 07 a 01 04 11 (Odpady ze zpracování potaše a kamenné soli neuvedené pod číslem 01 04 07)
- 01 04 13 Odpady z řezání a broušení kamene neuvedené pod číslem 01 04 07. [2] [3]

Výše uvedené odpady jsou ve většině případů jenom fyzikálně rozrušené přírodní horniny nebo sedimenty, které vznikly při těžbě nerudných nerostných surovin, ale nebyly předmětem těžby. Pokud mají vhodné vlastnosti, tak dle hierarchie odpadového hospodářství se mají používat jako náhrada přímo těženého štěrku a písku, tedy jako druhotná surovina pro snížení potřeby a tím pádem snížení nutnosti těžby primární suroviny.

#### **7.7.6 Stabilizovaný odpad**

Odpad je uvedený pod katalogovým číslem 19 03 05. Jedná se o odpad upravený před opětovným použitím procesem fyzikálně-chemické technologie solidifikace a/nebo stabilizace s výstupem upravený odpad. Ide o činnost 2.5.0 způsob nakládání R12a, D9 a D13. (příloha č. 2 k zákonu č. 541/2020 Sb.) [1]

Stabilizovaný odpad používaný k zasypávání má být inertní, s možným obsahem škodlivin nepřekračující limity vymezené v příloze č. 5 vyhlášky 273/2021 Sb. Nesmí se jednat o odpady vymezené v bodě A a B přílohy č. 4 vyhlášky 273/2021 Sb. a musí splňovat další podmínky pro zasypávání vymezené v §6 vyhlášky 273/2021 Sb. [2]

Minerální odpady zejména s obsahem reaktivního vápna ve formě oxidu nebo hydroxidu mohou být stabilizovány resp. solidifikovány pomocí technologie zrychlené karbonatace.

### **7.8 Produkce odpadů využitelných v stavebním průmyslu**

Pro vypracování této práce bylo nevyhnutelné odpady roztřídit podle společných znaků pro možné využití ve stavebnictví.

V této kapitole jsou jednotlivé odpady z jednotlivých skupin katalogu odpadů dle přílohy č. 1 vyhlášky č. 8/2021 Sb. Katalog odpadů roztříděny dle charakteru pro využití ve stavebnictví. [3]

Odpady specifikované jako nebezpečné dle §7 odst. 1 písm. a, a c, zákona č. 541/2020 Sb. v rámci této práce se neuvažují jako odpady s potenciálem využití ve stavebnictví.

V následující tabulce jsou uvedeny odpady s produkcí nad 10 tis. tun za rok s tím, že je uvedeno zjednodušené označení druhu pro snazší rozhodování o budoucím využití.

Tab. 3 Produkce odpadů využitelných v stavebním průmyslu [3] [10] [12]

Druhy odpadu dle vyhlášky 8/2021 Sb. Katalog odpadu	Druh odpadu dle možného využití ve stavebnictví	Produkce odpadu za rok 2020 v tunách
<b>03 01 Odpady ze zpracování dřeva a výroby desek a nábytku</b>		
03 01 05 Piliny, hobliny, odřezky, dřevo, dřevotřískové desky a dýhy, neuvedené pod číslem 03 01 04	dřevo	47 088
<b>03 03 Odpady z výroby a zpracování celulózy, papíru a lepenky</b>		
03 03 08 Odpady ze třídění papíru a lepenky určené k recyklaci	papír	91 671
<b>04 02 Odpady z textilního průmyslu</b>		
04 02 09 Odpady z kompozitních tkanin (impregnované tkaniny, elastomer, plastomer)	textil	40 459
04 02 22 Odpady ze zpracovaných textilních vláken		26 284
<b>07 02 Odpady z výroby, zpracování, distribuce a používání plastů, syntetického kaučuku a syntetických vláken</b>		
07 02 13 Plastový odpad	plast	83 221
<b>10 01 Odpady z elektráren a jiných spalovacích zařízení (kromě odpadů uvedených v podskupině 19)</b>		
10 01 01 Škvára, struska a kotelní prach (kromě kotelního prachu uvedeného pod číslem 10 01 04)	škvára struska kotelní prach	218 755
10 01 02 Popílek ze spalování uhlí	popílek	160 940
10 01 03 Popílek ze spalování rašeliny a neošetřeného dřeva	popílek	20 986
10 01 05 Pevné reakční produkty na bázi vápníku z odsiřování spalin	sádra	42 760
<b>10 02 Odpady z průmyslu železa a oceli</b>		
10 02 02 Nezpracovaná struska	struska	137 417
<b>10 09 Odpady ze slévání železných odlitků</b>		
10 09 03 Pecní struska	struska	22 596
<b>10 11 Odpady z výroby skla a skleněných výrobků</b>		
10 11 03 Odpadní materiály na bázi skelných vláken	sklo	24 403
10 11 12 Odpadní sklo neuvedené pod číslem 10 11 11	sklo	51 881
<b>10 13 Odpady z výroby cementu, vápna a sádry a předmětů a výrobků z nich vyráběných</b>		
10 13 14 Odpadní beton a betonový kal	beton	36 611
<b>12 01 Odpady z tváření a z fyzikální a mechanické povrchové úpravy kovů a plastů</b>		
12 01 01 Piliny a třísky železných kovů	kovy	419 394
12 01 02 Úlet železných kovů	kovy	39 223
12 01 03 Piliny a třísky neželezných kovů	kovy	49 090
12 01 05 Plastové hobliny a třísky	plast	16 049
<b>15 01 Obaly</b>		
15 01 01 Papírové a lepenkové obaly	papír	633 570
15 01 02 Plastové obaly	plast	163 537
15 01 03 Dřevěné obaly	dřevo	70 920
15 01 07 Skleněné obaly	sklo	67 709
<b>16 01 Vyřazená vozidla s ukončenou životností z různých druhů dopravy (včetně stavebních strojů) a odpady z demontáže těchto vozidel a z jejich údržby</b>		
16 01 17 Železné kovy	kovy	213 806



<b>Druhy odpadu dle vyhlášky 8/2021 Sb. Katalog odpadu</b>	<b>Druh odpadu dle možného využití ve stavebnictví</b>	<b>Produkce odpadu za rok 2020 v tunách</b>
16 01 19 Plasty	plast	10 510
<b>17 01 Beton, cihly, tašky a keramika</b>		
17 01 01 Beton	beton	1 788 645
17 01 03 Tašky a keramické výrobky	keramika	14 413
17 01 07 Směsi nebo oddělené frakce betonu, cihel, tašek a keramických výrobků neuvedené pod číslem 17 01 06	beton keramika	2 092 464
<b>17 02 Dřevo, sklo a plasty</b>		
17 02 01 Dřevo	dřevo	47 282
17 02 03 Plasty	plast	10 105
<b>17 04 Kovy (včetně jejich slitin)</b>		
17 04 01 Měď, bronz, mosaz	kovy	49 033
17 04 02 Hliník	kovy	78 816
17 04 05 Železo a ocel	kovy	2 324 251
17 04 07 Směsné kovy	kovy	18 971
17 04 11 Kabely neuvedené pod číslem 17 04 10	kovy	19 099
<b>17 05 Zemina (včetně vytěžených zeminy z kontaminovaných míst), kamení, vytěžená jalová hornina a hlušina</b>		
17 05 04 Zemina a kamení neuvedené pod číslem 17 05 03	zemina kamení	15 430 940
17 05 06 Vytěžená jalová hornina a hlušina neuvedená pod číslem 17 05 05	hlušina	61 873
<b>17 08 Stavební materiál na bázi sádry</b>		
17 08 02 Stavební materiály na bázi sádry neuvedené pod číslem 17 08 01	sádra	10 461
<b>19 01 Odpady ze spalování nebo z pyrolýzy odpadů</b>		
19 01 12 Jiný popel a struska neuvedené pod číslem 19 01 11	popel struska	152 656
<b>19 08 Odpady z čistíren odpadních vod jinde neuvedené</b>		
19 08 02 Odpady z lapáků písku	písek	29 563
<b>19 10 Odpady z drcení odpadu obsahujícího kovy</b>		
19 10 01 Železný a ocelový odpad	kovy	169 224
19 10 04 Lehké frakce a prach neuvedené pod číslem 19 10 03	prach s obsahem kovu	22 842
<b>19 12 Odpady z úpravy odpadů jinde neuvedené (např. třídění, drcení, lisování, peletizace)</b>		
19 12 01 Papír a lepenka	papír	282 377
19 12 02 Železné kovy	kovy	558 904
19 12 03 Neželezné kovy	kovy	35 176
19 12 04 Plasty a kaučuk	plast	115 751
19 12 07 Dřevo neuvedené pod číslem 19 12 06	dřevo	35 261
19 12 09 Nerosty (např. písek, kameny)	písek kameny	21 411
<b>20 01 Složky z odděleného sběru</b>		
20 01 01 Papír a lepenka	papír	382 337
20 01 11 Textilní materiály	textil	17 848
20 01 39 Plasty	plast	149 978
20 01 40 Kovy	kovy	313 925
<b>20 02 Odpady ze zahrad a parků (včetně hřbitovního odpadu)</b>		
20 02 02 Zemina a kameny	zemina kamení	66 114

## 8 Odstranění odpadu, skládkování

Odstranění odpadu je veškerá činnost, kterou nezahrnuje pojem využití odpadu „a to i v případě, že tato činnost má jako druhotný důsledek znovuzískání látek nebo energie,“ (zákon č. 541/2020 sb. §11 odst. 1 odsek n) [1] přičemž zákon přesně vymezuje v příloze č. 5, které způsoby nakládání mohou být označeny jako využití odpadu a v příloze 6 které jako odstranění. [1]

### 8.1 Skládkování

#### 8.1.1 Obecné podmínky ukládání odpadů na skládku

Vyhláška č. 273/2021 Sb. v §11 vymezuje obecné podmínky pro ukládání odpadů na skládku. [2]

Odpad pře uložení na skládku musí být řádně upraven. Způsob úpravy musí být zvolen tak, aby byl zajištěn nejnižší dopad na životní prostředí a zdraví lidí. Jestli se jedná o nebezpečné odpady, musí se pomocí úpravy odstranit jejich nebezpečné vlastnosti, výjimku tvoří případy, kdy odstranění nebezpečných vlastností má víc nepříznivý dopad na životní prostředí a zdraví lidí. Jednotlivé možné způsoby úpravy odpadu před odstranění jsou uvedeny v příloze č. 8 vyhlášky č. 273/2021 Sb. [2]

Odpady se mají ukládat na skládku tak, aby nedošlo k takové vzájemné reakci mezi jednotlivými druhy odpadu, při které mohou vzniknout škodlivé látky. V případě společného ukládání dvou a více druhů odpadů je nutné posoudit, zda tyto odpady jsou mísitelné, teda je možné jejich společné ukládání. Příloha č. 9 vyhlášky č. 273/2021 Sb. udává postup hodnocení mísitelnosti odpadu. Táto příloha také udává negativní výčet slučitelnosti odpadů. [2]

Ukládání odpadu na skládku nesmí mít nepříznivý vliv na konstrukci skládky nebo na její jednotlivé části, zejména nesmí narušit těsnost skládky a/nebo stabilitu konstrukce. [2]

#### 8.1.2 Skupiny skládek

Podmínky pro ukládání odpadu na skládky jednotlivých skupin jsou uvedené v §12 vyhlášky č. 273/2021 Sb. Paragraf také obsahuje výčet podmínek, za kterých lze odpad uložit na danou skládku i v případě až trojnásobného překročení limitu uvedeného v tabulce 10. 1 v příloze 10 této vyhlášky. [2]

##### 8.1.2.1 *S-inertní odpad S-IO*

Skládka slouží pro odstranění inertního odpadu, který nepřekročí limitní hodnoty uvedené v tabulce č. 10. 1 pro výluhovou třídu číslo I, zároveň nepřekročí limitní hodnoty obsahu organických škodlivin uvedené v tabulce č. 10. 2. Zmíněné tabulky jsou uvedené v příloze č. 10 vyhlášky č. 273/2021 Sb. [2]

##### 8.1.2.2 *S-ostatní odpad S-OO1 a S-OO3*

Skládka S-ostatní odpad S-OO1 slouží pro odstranění odpadu klasifikovaného jako ostatní odpad, který má nízký obsah organických biologicky rozložitelných látek. Na tuto skládku je možné uložit odpad, který nepřekročí limitní hodnoty uvedené v tabulce č. 10. 1 pro výluhovou třídu číslo IIa. Tabulka je uvedena v příloze č. 10 vyhlášky č. 273/2021 Sb. Dále celkový obsah organického uhlíku je limitován na maximálních 5 %. V případě překročení této hodnoty se sleduje obsah rozpustného organického uhlíku, který pokud nepřekročí hodnotu 80 mg/l, tak je umožněno uložení odpadu na skládku. [2]

Skládka S-ostatní odpad S-OO3 slouží pro odstranění odpadu klasifikovaného jako ostatní odpad, který má podstatný obsah organických biologicky rozložitelných látek. Na tuto skládku je možné uložit odpad, který nepřekročí limitní hodnoty uvedené v tabulce č. 10. 1 pro výluhovou třídu číslo IIa. Jestliže obsah rozpuštěného organického uhlíku překročí limitní hodnotu uvedenou v této tabulce, odpad musí splnit podmínky uvedené v tabulce 10. 3. Zmíněné tabulky jsou uvedené v příloze č. 10 vyhlášky č. 273/2021 Sb. [2]

### **8.1.2.3 S-nebezpečný odpad S-NO**

Skládka slouží pro odstranění odpadu klasifikovaného jako nebezpečný, u kterého obsah škodlivin ve vodním výluhu nepřekročí limitní hodnoty uvedené v tabulce č. 10. 1 pro výluhovou třídu III uvedené v příloze č. 10 vyhlášky č. 273/2021 Sb. Dále ztráta žíháním sušiny nesmí překročit 10 %, celkový obsah organického uhlíku nesmí překročit 6 % nebo hodnotu 100 mg/l. [2]

### **8.1.3 Technické zabezpečení skládky**

Jako technologický materiál pro technické zabezpečení skládky se mohou používat odpady, které na danou skládku mohou být uloženy. V příloze č. 11 vyhlášky č. 273/2021 Sb. jsou vymezeny jednotlivé odpady, ze kterých se mohou vyhotovit odplyňovací, vyrovnávací a uzavírací těsnící vrstvy skládky. Obsah škodlivin ve výluhu pro uzavírací těsnící vrstvy nesmí překročit limitní hodnoty pro výluhovou třídu číslo IIb uvedené v příloze 10 vyhlášky č. 273/2021 Sb. Ochranné a rekultivační vrstvy mohou být vyhotovené z odpadů uvedené v příloze č. 11 vyhlášky č. 273/2021 Sb. Dále musí splnit podmínky platící pro zasypávání vymezené v paragrafu 6 téže vyhlášky. [2]

V bodě A přílohy č. 4 vyhlášky č. 273/2021 Sb. se uvádí odpady, které se nesmí využívat jako technologický materiál pro vytváření jednotlivých vrstev skládky a k rekultivaci skládky. [2]

### **8.1.4 Zákaz skládkování**

Odpady, které nesmí být uloženy na skládku vlivem toho, že mohou mít nepříznivý vliv na životní prostředí a/nebo na zdraví lidí, jsou vymezené v bodě A přílohy 4 vyhlášky č. 273/2021 Sb. [2]

Nebezpečné odpady, které nesmí být uloženy na skládku vlivem toho, že mohou být využitelné materiálově nebo energeticky nebo se mohou odstranit ve spalovně nebezpečných odpadů, jsou vymezené v bodě C přílohy 4 vyhlášky č. 273/2021 Sb. [2]

Od 1.1.2030 bude platit zákaz skládkování využitelných odpadů na základě prvního odstavce paragrafu 40 zákona č. 541/2020 Sb. [1] Zahrnuje to odpady, který vykazují vyšší výhřevnost než 6,5 MJ/kg v sušině, překračují limitní hodnotu parametru biologické stability AT4, teda mají spotřebu kyslíku po 4 dnech vyšší než 10 mg O<sub>2</sub>/g sušiny nebo jsou na základě stávajících poznatků účelně recyklovatelné a vymezené v bodě E přílohy 4 vyhlášky č. 273/2021 Sb. [1] [2]

## **8.2 Odstranění stavebního a demoličního odpadu**

Odstranění jakéhokoli odpadu podle hierarchie odpadového hospodářství je nejvíc nepříznivá situace. Oběhové hospodářství odstranění odpadu nepovoluje. [8]

Minerální stavební a demoliční odpad se většinou odstraňuje skládkováním. Výška stavebního a demoličního odpadu odstraněný skládkováním v Evropě (E28) je v průměru

10 % z celkové produkce stavebních a demoličních odpadů, avšak posledních 9 států mají průměr kolem 35 %. Poslední 3 krajiny jsou: Bulharsko skoro 80 %, Slovensko 50 % a Cyprus 35% (všechny data z roku 2018) Skládání minerálního stavebního a demoličního odpadu z celkové produkce pro Českou republiku v roce 2018 bylo 8%. (An overview of waste hierarchy framework 4.1.4.) [8] Všechny státy, ale hlavně ty, které mají vysoký stupeň skládkování, by měly přecházet na vyšší stupně nakládání s odpadem podle hierarchie odpadového hospodářství.

Zákon o odpadech v § 40 odstavci 1 udává, že od 1.1.2030 se nesmí ukládat na skládku mimo jiné odpady, které je možné účelně recyklovat. [1] Většina stavebních a demoličních odpadů splňují toto kritérium.

## Cíl práce

Hlavním cílem této práce je zpracování metodického postupu pro efektivní využití průmyslových odpadů ve stavebních materiálech.

Prvním dílčím cílem je sestavení základního souboru možných variant využití a jednotlivých kritérií a limitující faktory pro využití odpadů ve stavebnictví. Základní soubor kritérií se sestaví podle platných norem.

Dalším dílčím cílem je vypracování metodického postupu pro efektivní využití průmyslových odpadů na základě poznatků, vypracovaných v první etapě a v souladu se shromážděnými informacemi uvedenými v teoretické části práce.

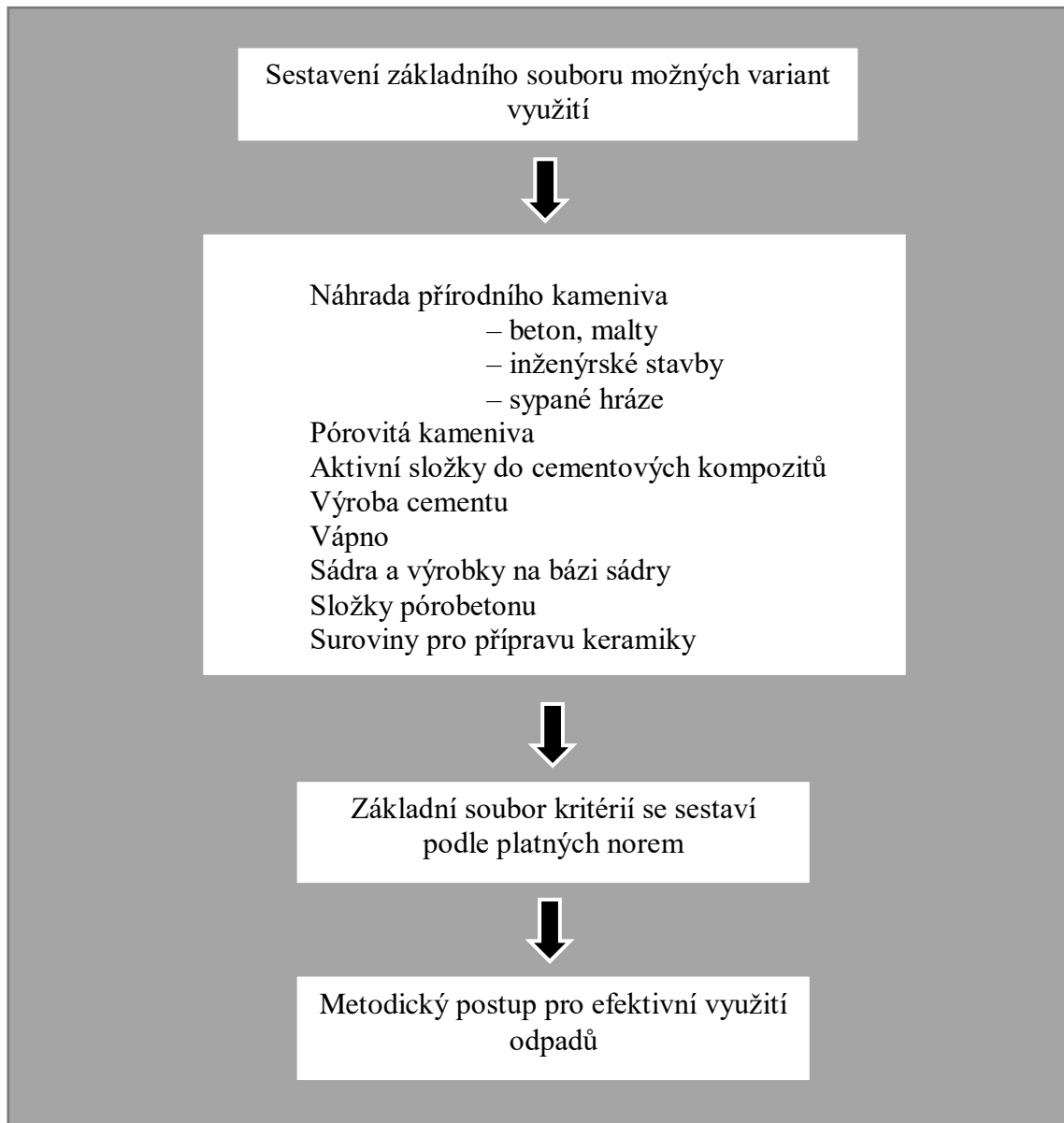
Jedním z dominantních cílů pak je demonstrace vytvořeného metodického postupu na škváře ze spalovny komunálního odpadu. Bude zkoumána možnost využití škváry pro podkladní vrstvy pod pozemní komunikace v souladu s platnou legislativou.

Škvára bude upravena pomocí technologie zrychleného stárnutí. Od této technologie se očekává zrychlení procesu odležení, které nařizuje platná legislativa. Cílem je prokázat možnost využití tohoto odpadního materiálu na dané účely upravené pomocí zvolené technologie.

## Praktická část

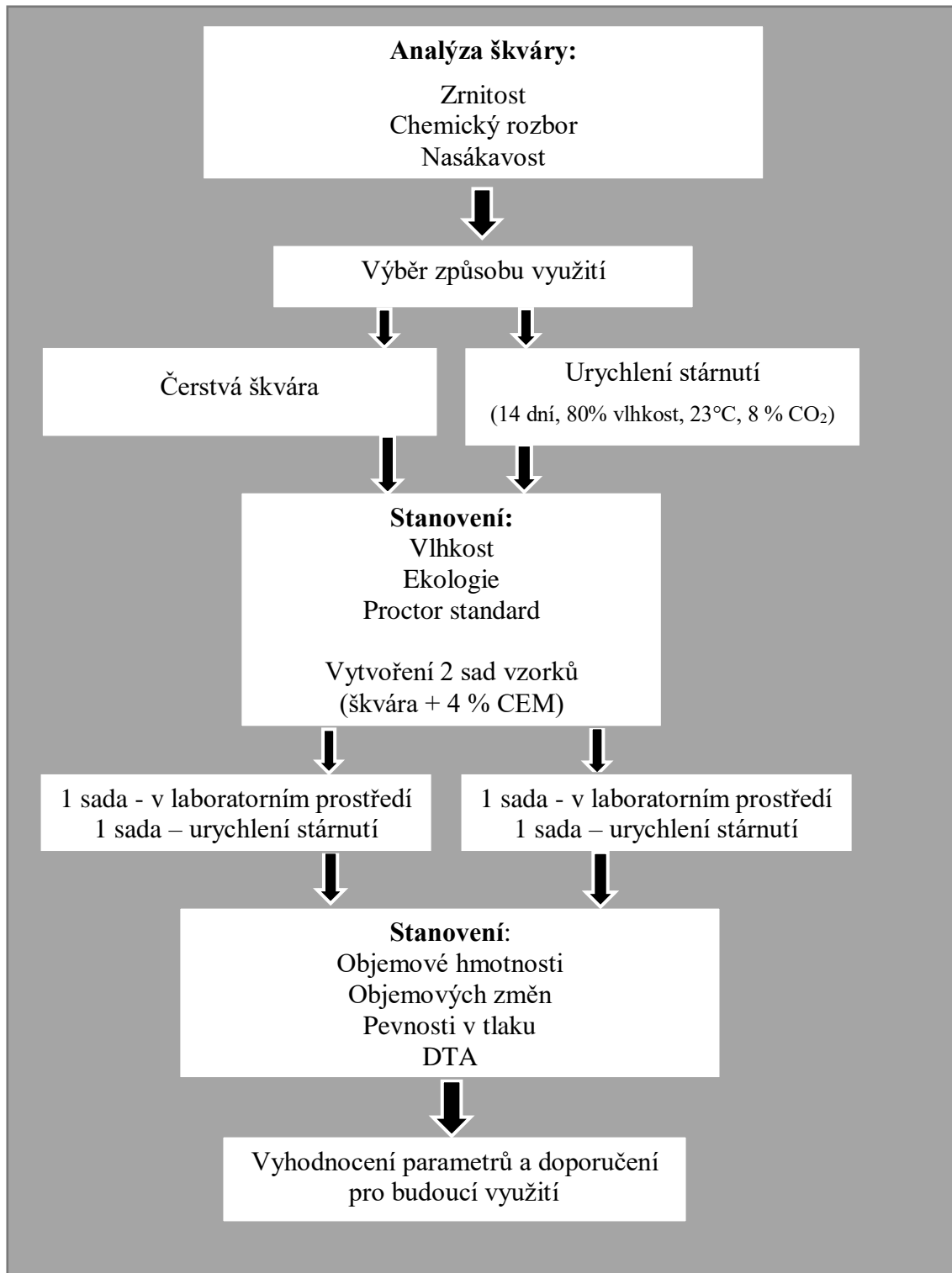
### 9 Metodika práce

#### Etapa 1 Možnosti a kritéria pro využití odpadu ve stavebních materiálech



V první etapě se dle charakteru a předpokládaného způsobu využití jednotlivých odpadů sestaví základní soubor možných variant využití odpadu ve stavebnictví. Následně se doplní o soubor nejvýznamnějších kritérií pro rozhodování, zda daný odpad má nebo nemá předpoklad pro daný způsob využití. Na základě těchto kritérií se sestaví metodický postup pro efektivní využití odpadů.

## Etapa 2 Demontrace metodického postupu na škváře ze spalovny komunálního odpadu



V druhé etapě bude demonstrován metodický postup, vypracovaný v první etapě, na konkrétním druhu odpadu. Na základě skutečností uvedených v teoretické části práce bude metodický postup demonstrován na škváře ze spalovny komunálního odpadu a bude zkoumáno jeho využití jako podkladní vrstvy pod pozemní komunikace v souladu s platnou legislativou. Škvára bude upravena pomocí technologie zrychleného stárnutí.

## **10 Metodika provádění zkoušek**

### **10.1 Analýza odpadu pro stanovení využitelnosti**

#### **10.1.1 Zrnitost dle síťového rozboru**

Sítový rozbor bude proveden podle normy ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor. [15]

Zkouška je založena na roztrídění materiálu pomocí normové sady sít do jednotlivých zrnitostních podílů. [15]

V případě fileru se zrnitost stanoví podle normy ČSN EN 933-10 Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 10: Posouzení jemných částic – Zrnitost fileru (prosévání proudem vzduchu). Zkouška je založena na roztrídění materiálu pomocí normové sady sít do jednotlivých zrnitostních podílů. Zkouška je vhodná pro suché materiály bez sklonu k shlukování. [16]

#### **10.1.2 Chemický rozbor**

Chemické složení se stanoví pomocí chemického rozboru a je uvedeno jako oxidické zastoupení prvků. Chemický rozbor se provádí pomocí titračních metod nebo vázkové analýzy. [17]

#### **10.1.3 Nasákavost**

Nasákavost bude provedena dle normy ČSN EN 1097-6: Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti a uvádí se jako hmotnost vody, který zkušební vzorek nasákl v poměru k hmotnosti zkušební vzorku v suchém stavu a je vyjádřen v procentech v procentech. [18]

#### **10.1.4 Vlhkost**

Stanovení vlhkosti bude provedeno dle mezinárodní normy ČSN EN ISO 17892-1: Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušení zemin – Část 1: Stanovení vlhkosti. [19]

Vlhkost zeminy se stanoví na základě určení hmotnosti volné vody obsažené v zemině, odstraněné při vysoušení v sušárně. Vlhkost zeminy se vypočítá jako poměr hmotnosti odsušené vody ze vzorku k hmotnosti vysušeného zkušební vzorku vynásobené 100 a uvedené v hmotnostních procentech. [19]

### **10.2 Zkoušky prováděné na zkušebních vzorcích**

#### **10.2.1 Proctorova zkouška**

Stanovení optimální vlhkosti při dosažení maximální objemové hmotnosti bude provedeno na základě zkoušky Proctor standard dle normy ČSN EN 13286-2: Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickým pojivem – Část 2: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti – Proctorova zkouška. [20]

Norma uvádí šest zkušebních postupů. Vhodný postup se vybere na základě maximální velikosti částic (D) zkušební směsi, z čeho plyne velikost použité formy (moždír), a na základě požadovaného množství vzorku. Hutnicí zařízení (pěch) se zvolí dle toho, jestli



se provádí standardní Proctorova zkouška nebo modifikovaná. Pro standardní Proctorovu zkoušku se používá pěch o hmotnosti 2,5 kg s označením A, při modifikované zkoušce se používá pěch o hmotnosti 4,5 kg s označením B nebo 15 kg s označením C. [20]

Optimální vlhkost při dosažení maximální objemové hmotnosti se stanoví pomocí grafu, kde jsou na ose x vyneseny jednotlivé objemové hmotnosti suché směsi vypočítané na základě sérií stanovení objemových hmotností směsí o různé vlhkosti a na ose y jsou vyneseny příslušné vlhkosti směsi. Získané body se proloží křivkou a určí se poloha bodu, kde křivka vykazuje svoje maximum. Odečte se hodnota x, což je maximální objemová hmotnost směsi a hodnota y, což je příslušná optimální vlhkost směsi. [20]

### **10.2.2 Objemová hmotnost**

Objemová hmotnost směsi v čerstvém stavu bude provedena dle principu stanovení objemové hmotnosti betonových směsí v čerstvém stavu dle normy ČSN EN 12350-6: Zkoušení čerstvého betonu – Část 6: Objemová hmotnost [21], avšak bude modifikována na základě skutečnosti, že zkušební vzorky ze směsi stmelené hydraulickým pojivem se vytváří v Proctorově hmoždíři.

Objemová hmotnost směsi v zatvrdlém stavu bude provedena na základě stanovení objemové hmotnosti zatvrdlého betonu dle normy ČSN EN 12390-7: Zkoušení zatvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost zatvrdlého betonu. [22]

### **10.2.3 Pevnost v tlaku**

Pevnost v tlaku zkušebních vzorků bude provedena dle normy ČSN EN 13286-41: Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 41: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelěných hydraulickými pojivy. [23]

Zkušební těleso válcového nebo krychelného tvaru se po stanovení rozměrů a hmotnosti a po příslušné úpravě (jestli úpravu vyžaduje) vloží do zkušebního lisu a zatěžuje se plynulým způsobem bez rázů až do porušení. Pevnost v tlaku se vypočítá jako poměr maximální síly dosažené při porušení vzorku v N k ploše průřezu vzorku v  $\text{mm}^2$ . Pevnost v tlaku zkušebního tělesa s pevností do  $5 \text{ N/mm}^2$  se udá v  $\text{N/mm}^2$  zaokrouhlených na nejbližších  $0,1 \text{ N/mm}^2$ , a pro pevnosti v tlaku vyšší než  $5 \text{ N/mm}^2$  se pevnost udá v  $\text{N/mm}^2$  zaokrouhlených na nejbližších  $0,5 \text{ N/mm}^2$ . [23]

## 11 Etapa 1: Možnosti a kritéria pro využití odpadu ve stavebních materiálech

### 11.1 Základní soubor možných variant využití odpadů

#### 11.1.1 Náhrada přírodního kameniva

##### 11.1.1.1 Kamenivo do betonu

Dle ČSN EN 12620+A1 se **kamenivo do betonu** dělí na jemné, jehož zrna propadnou sítem 0,063 mm, na drobné kamenivo, „jehož zrna jsou menší nebo rovné 4 mm“, na hrubé kamenivo, „jehož zrna jsou větší nebo rovné 4 mm“. Dále norma uvádí **směs kameniva**, co je směsí hrubého a drobného kameniva s největším zrnem 45 mm. [24]

**Filer** je kamenivo, „jehož většina zrn propadne sítem 0,063 mm“ a přidává se do kompozitu pro docílení určitých vlastností. Jeho **propad** přes síto 2 mm musí být 100 %, propad přes síto 0,125 musí být větší než 85 mm a propad přes síto 0,063 musí být větší než 70 %. [24]

Tab. 4 Kategorie pro max. hodnoty obsahu jemných částic dle ČSN EN 12620+A1 [24]

Kamenivo	Síto 0,063 mm Propad v procentech hmotnosti	Kategorie f
Hrubé kamenivo	$\leq 1,5$	$f_{1,5}$
	$\leq 4$	$f_4$
	$> 4$	$f_{\text{deklarované}}$
	Bez požadavku	$f_{\text{NR}}$
Přírodní těžené kamenivo 0/8 mm	$\leq 3$	$f_3$
	$\leq 10$	$f_{10}$
	$\leq 16$	$f_{16}$
	$> 16$	$f_{\text{deklarované}}$
	Bez požadavku	$f_{\text{NR}}$
Směs kameniva	$\leq 3$	$f_3$
	$\leq 11$	$f_{11}$
	$> 11$	$f_{11}$
	Bez požadavku	$f_{\text{NR}}$
Drobné kamenivo	$\leq 3$	$f_3$
	$\leq 10$	$f_{10}$
	$\leq 16$	$f_{16}$
	$\leq 22$	$f_{22}$
	$> 22$	$f_{\text{deklarované}}$
	Bez požadavku	$f_{\text{NR}}$

Dalším důležitým kritériem pro ověření vhodnosti kameniva a fileru do betonu je **obsah chloridů a síranů**. Obsah **ve vodě rozpustných chloridů** a se stanoví dle ČSN EN 1744-1:1998 kapitola 7. Obsah **v kyselině rozpustných síranů** se stanoví dle ČSN EN 1744-

1:1998 kapitola 12 a musí splňovat limity uvedené v tabulce 21 normy ČSN EN 1260+A1. [24] Podle této tabulky se kamenivo zařídí do příslušné kategorie AS<sub>0,2</sub>; AS<sub>0,8</sub>, kde číselný index udává maximální přípustnou ztrátu hmotnosti v procentech, AS<sub>deklarovaná</sub>, kde ztráta hmotnosti je větší než 0,8 % a AS<sub>NR</sub> – tato kategorie je bez požadavku. [24]

Vzduchem chlazená **vysokopecní struska** se podle této tabulky zařídí do následujících skupin AS<sub>1,0</sub>, kde **ztráta hmotnosti** je max. 1,0 % AS<sub>deklarovaná</sub>, kde ztráta hmotnosti je větší než 0,8 % a AS<sub>NR</sub> – tato kategorie je bez požadavku. [24]

Dále se může požadovat **obsah celkové síry obsažené v kamenivu** a ve fileru, který se stanoví dle ČSN EN 1744-1:1998 kapitola 11. Obsah celkové síry u vzduchem chlazené vysokopecní strusky nesmí překročit 2 % hm., a u ostatního kameniva nesmí překročit 1 % hm. Pokud je v kamenivu přítomen kyz železný, tak obsah celkové síry v kamenivu nesmí překročit 0,1 %. [24]

**Humusovité látky** ovlivňují průběh tuhnutí a tvrdnutí, a proto jejich obsah má být takový, aby neprodloužily tuhnutí víc než o 120 min. a nesnížily 28 denní pevnost v tlaku o víc než 20 %. [24] Zkoušky se provádí dle ČSN EN 1744-1:1998 15.3.

Pokud se používá vysokopecní struska jako kamenivo, tak nesmí obsahovat **rozrušující křemičitan vápenatý** a rozrušující rozpad železa, jelikož hrozí rozpad strusky a tím se mohou ohrozit fyzikálně-mechanické vlastnosti kompozitu. [24]

Tab. 5 Kategorie složek hrubého recyklovaného kameniva dle ČSN EN 12620+A1 [24]

Složka	Obsah Procento hmotnosti	Kategorie
Rc	≥90	Rc <sub>90</sub>
	≥80	Rc <sub>80</sub>
	≥70	Rc <sub>70</sub>
	≥50	Rc <sub>50</sub>
	<50	Rc <sub>deklarované</sub>
	Bez požadavku	Rc <sub>NR</sub>
Rc + Ru	≥90	Rcu <sub>90</sub>
	≥80	Rcu <sub>80</sub>
	≥70	Rcu <sub>70</sub>
	≥50	Rcu <sub>50</sub>
	<50	Rcu <sub>deklarované</sub>
	Bez požadavku	Rcu <sub>NR</sub>
Rb	≤10	Rb <sub>10-</sub>
	≤30	Rb <sub>30-</sub>
	≤50	Rb <sub>50-</sub>
	>50	Rb <sub>deklarované</sub>
	Bez požadavku	Rb <sub>NR</sub>
Ra	≤1	XRg <sub>0,5-</sub>
	≤5	XRg <sub>1-</sub>
	≤10	XRg <sub>2-</sub>

X + Rg	$\leq 0,5$ $\leq 1$ $\leq 2$	Ra <sub>1-</sub> Ra <sub>5-</sub> Ra <sub>10-</sub>
	Obsah Procento hmotnosti	Kategorie
FL	$\leq 0,2$ $\leq 2$ $\leq 5$	FL <sub>0,2-</sub> FL <sub>2-</sub> FL <sub>5-</sub>

U **recyklovaného kameniva** se stanovuje **obsah vodou rozpustných síranů** dle ČSN EN 1744-1. Pro kategorii SS<sub>0,2</sub> nesmí překročit 0,2 % hm., pro kategorii SS<sub>NR</sub> není stanoven požadavek. [24]

U recyklovaného kameniva se posuzuje **změna počátku tuhnutí** vlivem vodou rozpustných látek v ní obsažené. Podle toho se pak recyklované kamenivo zatřídí do následujících kategorií: A<sub>10</sub> pro změnu menší rovnou 10 min, A<sub>40</sub> pro změnu menší rovnou 40 min, A<sub>deklarovaná</sub> pro změnu větší než 40 min, A<sub>NR</sub> bez požadavku. [24]

#### 11.1.1.2 Kamenivo do malt

Do malt mohou být **použité frakce** 0/1 mm, 0/2 mm, 0/4 mm, 0/8 mm, 2/4 mm, 2/8 mm avšak použití dalších frakcí není vyloučené. [25]

Do malt se může používat i **filer**. Jeho **propad** přes síto 2 mm musí být 100 %, propad přes síto 0,125 musí být větší než 85 mm a propad přes síto 0,063 musí být větší než 70%. [25]

Tab. 6 Meze pro obsah jemných částic dle ČSN EN 13139 [25]

Frakce kameniva mm	Maximální propad v procentech hmotnosti sítím 0,063 mm				
	Kategorie 1	Kategorie 2	Kategorie 3	Kategorie 4	Kategorie 5
0/1	3	5	8	30	>30
0/2	3	5	8	30	-
0/4; 2/4	3	5	8	30	-
0/8; 2/8	3	5	8	11	-

Kamenivo do malt musí splňovat následující podmínky: **obsah celkové síry** u vzduchem chlazené vysokopecní strusky nesmí překročit 2 % hm., a u ostatního kameniva nesmí překročit 1 % hm, **ztráta žiháním** u vzduchem chlazené vysokopecní strusky nesmí překročit 3 %hm., ztráta žiháním u práškového popílku nesmí překročit 5 %hm. [25]

### 11.1.2 Náhrada přírodního kameniva – inženýrské stavby

#### 11.1.2.1 Kamenivo pro stmelené směsi

Dle ČSN EN 14227-1 směsi stmelené hydraulickým pojivem jsou směsi, které tuhnou a tvrdnou pomocí hydraulické reakce, přičemž směs z kameniva stmelené cementem je definovaná, jako směs z kameniva hydraulicky stmelená pomocí cementu. Směsi z kameniva stmelené cementem jsou rozdělené do 5 typu. **Typ 1** je směs o **zrnitosti**

0/31,5 mm, 0/20 mm nebo 0/14 mm. Pro **typ 2** je důležitým vlastností **hutnost** – maximální hutnost směsi musí být 0,80 vypočítané dle přílohy A normy ČSN EN 14227-1. Pro **směs 5** se stanovuje **zrnitost** směsi jako minimální a maximální propad přes normovou sadu sít. [26]

Tab. 7 Zrnitost směsi z kameniva stmelené cementem – typ 5 dle ČSN EN 14227-1 [26]

Síto mm	Propad zrn v % hmotnosti	
	Minimum	Maximum
45	100	100
31,5	85	100
25	75	100
20	60	100
10	35	100
4	25	100
2	20	100
0,5	13	75
0,25	10	60
0,063	5	25

Další důležitou vlastností **směsi typu 5** je **vlhkost**, která se stanovuje Proctorovou zkouškou a musí vykazovat takové hodnoty, aby bylo umožněno hutnění směsi na stavbě, přičemž mají být dosaženy optimální mechanické vlastnosti směsi. [26]

**Zrnitost vstupních materiálů** pro vrstvy ze směsi stmelěných hydraulickými pojivy pro stavbu vozovek je dána v tabulce 3 pro pevnostní třídy  $C_{1,5/2,0}$  a  $C_{3/4}$  normy ČSN 73 6124-1. Obsah jemných částic je také uveden v téže tabulce, přičemž kvalita jemných částic musí splňovat kritérium pro **index plasticity**  $I_p \leq 17$ . [27] **Zrnitost** pro směsi stmelěné hydraulickými pojivy pro pevnostní třídy  $C_{5/6}$ ,  $C_{8/10}$  a vyšší jsou uvedené v tabulce 4 pro směsi 0/32 a 5 pro směsi 0/22 normy ČSN 73 6124-1. [27] **Obsah jemných částic** je také uveden v téže tabulce, přičemž kvalita jemných částic musí splňovat následující kritéria: **index plasticity**  $I_p$  nesmí být menší než 4 a **mez tekutosti**  $w_L$  nesmí být větší než 25. Maximální hodnoty **obsahu jemných částic** pro směsi stmelěné hydraulickým pojivem jsou uvedené v tabulce 8 normy ČSN EN 13242+A1, kde kameniva jsou rozdělena do jednotlivých kategorií dle maximálního propadu částic sítím 0,063 mm. [28] Dále norma uvádí nutnost zdokumentování důkazu o vhodnosti použití pro drobné kamenivo, jestli obsah jemných částic překročí limitní 3 % hm. [28]

Maximální **obsah celkové síry** pro kamenivo by neměl překročit 1 %, pro vzduchem chlazenou vysokopecní strusku platí limitní požadavek 2%. Recyklované kamenivo se zařídí do kategorie dle maximálního obsahu vodou rozpustných síranů: pro kategorie  $SS_{0,2}$  je maximální obsah 0,2; pro kategorie  $SS_{0,7}$  je maximální obsah 0,7; pro kategorie  $SS_{1,3}$  je maximální obsah 1,3 a pro kategorii  $SS_{NR}$  není stanoven požadavek. [28]

**Nasákavost** kameniva je úzce spjata s její mrazuvzdorností, což má vliv na **mrazuvzdornost** celé konstrukce. Pro kamenivo kromě vysokopecní strusky je potřebné stanovit její nasákavost a následně jí zařadit do příslušné kategorie: pro kategorii  $WA_{24} 1$  je maximální nasákavost 1 % a pro kategorii  $WA_{24} 2$  je 2 %. [28] Kamenivo s nasákavostí ne větší než 0,5 % je odolné proti zmrazování a rozmrazování. [28] Odolnost proti zmrazování a rozmrazování je uvedena jako **ztráta hmotnosti** v procentech. Dle

odolnosti proti zmrazování a rozmrazování je kamenivo zaříděno do následujících kategorií:  $F_1$  při ztrátě hmotnosti ne větší jak 1 %,  $F_2$  při ztrátě hmotnosti ne větší jak 2 %,  $F_4$  při ztrátě hmotnosti ne větší jak 4 %,  $F_{\text{deklarovaná}}$  při ztrátě hmotnosti větší než 4 % a kategorie  $F_{NR}$  je bez požadavku. [28]

### 11.1.2.2 Kamenivo pro nestmelené směsi

S požadavky na nestmelené směsi se zabývá norma ČSN EN 13285. Jednotlivé směsi jsou označeny jako 0/D, kde D je maximální zrno kameniva ve směsi. Použité mohou být směsi od 0/5,6 do 0/90. Dle maximálního **obsahu jemných částic** (částice do 0,063 mm) se nestmelené směsi zařídí do následujících kategorií: UF 3, UF 5, UF 7, UF 9, UF 12 UF 15, kde číselná hodnota v označení kategorie udává maximální množství jemných podílů v hmotnostních procentech. Do kategorie  $UF_{\text{deklarované}}$  jsou zaříděny nestmelené směsi s maximálním obsahem jemných částic větší než 15 %. Kategorie UF NR j bez požadavků. [29]

## 11.1.3 Náhrada přírodního kameniva – sypané hráze

Požadavky na materiály použité pro stavbu hrází projednává norma ČSN 75 2410 – Malé vodné nádrže.

### 11.1.3.1 Filtry

Filtry mají za úkol zabránit vyplavování jemných částic chráněné zeminy a tím zabránit porušení hráze vlivem vnitřní eroze. **Tloušťka** vrstvy musí být navržena tak, aby bezpečně plnila svou funkci, avšak nesmí být menší než 25 cm. Z materiálového hlediska se může jednat o přírodní zeminy a o drčené kamenivo s **obsahem jemných podílů** pod 0,063 mm nepřekračujících 5 %. [30] Doporučuje se použití takového materiálu, který není náchylný k segregaci. To může zajistit stejnoměrná granulometrie materiálu. Dále filtry mohou být vyhotoveny z umělých porézních hmot, které se navrhují podle stejných zásad, jak filtry z kameniva. [30]

Filtrační vrstva při zemním těsnění by měla být jemnozrná, písčítá nebo ze štěrkopísku s maximální **velkostí zrn** do 13 mm až 19 mm, dále **obsah zrn do 5 mm** má být v rozmezí 55 % až 80 %. [30] Filtr kolem otvorů a mezer (např. perforované drény) by měl splnit kritérium  $D_{85} \geq 2d_0$ , kde  $D_{85}$  je průměr zrna chráněného materiálu odpovídající na **čáře zrnitosti** 85 % celkové hmotnosti a  $d_0$  je průměr otvoru. [30] Norma doporučuje, aby **součinitel propustnosti** materiálu použitý jak filtr, nepřekročil stonásobek propustnosti chráněné zeminy. [30]

**Ulehlost** zhutněného filtru musí být větší než 0,67 ale nesmí být větší než 0,8. [30]

### 11.1.3.2 Těsnění

Zeminy musí splňovat následující požadavky, aby mohly být použité pro vytvoření těsnící zářeze a/nebo těsnící koberce:

- **zrnitost zeminy** má ležet v oblasti 2 popř. oblasti 1 čáry zrnitosti dle obrázku 3 normy ČSN 75 2410,
- **obsah organických látek** nesmí překročit 5 % hm.,
- **mez tekutosti** zeminy nesmí překročit 50 %,
- největší ojedinele se vyskytující částice nesmí být větší než 100 mm,
- **index plasticity** zeminy pro třídy ML, CL, CS, MS nesmí překročit 8 %. [31]

### 11.1.3.3 Stabilizační část

Zeminy, který se použijí pro stabilizační část hráze, **nesmí obsahovat** organické látky a látky takové, které by po rozpouštění ve vodě působily výrazné zvýšení pórovitosti sypaniny nebo by mohly působit agresivně vůči konstrukci hráze. [31] **Zrnitost** použité zeminy by měla ležet v oblasti zrnitosti 4 popř. 3 čáry zrnitosti dle obrázku 3 normy ČSN 75 2410. [31]

Zeminy použité pro vytvoření tělesa hráze musí být **zhutněny** u jemnozrnných zemin na 95 % maximální objemové hmotnosti sušiny stanovenou Proctorovou zkouškou, přičemž **vlhkost** se nesmí výrazně lišit od Proctorové zkoušky stanovení optimální vlhkosti a u hrubozrnné zeminy resp. kameniva na relativní ulehlost 0,8. [31]

### 11.1.3.4 Vhodnost jednotlivých zemin pro vyhotovení jednotlivých zón hráze

Tab. 8 Vhodnost zemin pro různé zóny hutnění hrází dle ČSN 75 2410 [31]

Název zeminy	Znak skupiny	Homogenní hráz	Těsnící část	Stabilizační část
šterk dobře zrněný	GW	nevhodná	nevhodná	výborná
šterk špatně zrněný	GP	nevhodná	nevhodná	výborná
šterk s příměsí jemnozrnné zeminy	G-F	málo vhodná	nevhodná	velmi vhodná
šterk hlinitý	GM	výborná	velmi vhodná	málo vhodná
šterk jílovitý	GC	výborná	velmi vhodná	málo vhodná
písek dobře zrněný	SW	nevhodná	nevhodná	vhodná
písek špatně zrněný	SP	nevhodná	nevhodná	vhodná
písek s příměsí jemnozrnné zeminy	S-F	nevhodná	nevhodná	vhodná
písek hlinitý	SM	vhodná	vhodná	málo vhodná
písek jílovitý	SC	velmi vhodná	výborná	nevhodná
hlína šterkovitá	MG	velmi vhodná	velmi vhodná	nevhodná
jíl šterkovitý	CG	velmi vhodná	výborná	nevhodná
hlína písčité	MS	vhodná	vhodná	nevhodná
jíl písčité	CS	velmi vhodná	velmi vhodná	nevhodná
hlína s nízkou plasticitou	ML	málo vhodná	vhodná	nevhodná
hlína se střední plasticitou	MI	málo vhodná	vhodná	nevhodná
jíl s nízkou plasticitou	CL	vhodná	velmi vhodná	nevhodná
jíl se střední plasticitou	CI	vhodná	velmi vhodná	nevhodná
hlína s vysokou plasticitou	MH	málo vhodná	málo vhodná	nevhodná
hlína s velmi vysokou plasticitou	MV	málo vhodná	málo vhodná	nevhodná
hlína s extrémně vysokou plasticitou	ME	málo vhodná	málo vhodná	nevhodná
jíl s vysokou plasticitou	CH	málo vhodná	málo vhodná	nevhodná
jíl s velmi vysokou plasticitou	CV	málo vhodná	málo vhodná	nevhodná
jíl s extrémně vysokou plasticitou	CE	málo vhodná	málo vhodná	nevhodná

Zeminy se zařídí dle tabulky 3 a obrázku 1 a 2 normy ČSN 75 2410 – Malé vodní nádrže do jednotlivých skupin dle obsahu **jemných částic, čísla nestejnorodosti,  $C_c$  a diagramu plasticity resp. dle obsahu jemných částic, poměru šterkovité k písčité frakci, diagramu plasticity a  $w_L$**  následně v tabulce 5 udává vhodnost jednotlivých

skupin pro různé zóny hutnění hrází. [31] V tabulce 4 normy jsou uvedené orientační fyzikálně mechanické vlastnosti zhutněných zemin.

#### 11.1.4 Pórovité kameniva

Dle ČSN EN 13055-1 pórovité kamenivo je sypký, anorganický materiál s **objemovou hmotností** nepřesahující 2000 kg/m<sup>3</sup> nebo se **sypanou objemovou hmotností** nepřesahující 1200 kg/m<sup>3</sup>. [32] Dle původu se může jednat o přírodní kamenivo, např. tufy a pemzy, o kamenivo vyráběné z přírodních materiálů např. expandovaný perlit/vermikulit nebo keramzit, o kamenivo vyráběné z vedlejšího produktu při průmyslovém procesu, např. popílkový agloporit nebo zpěněná struska a o recyklované kamenivo např. cihelná drť nebo odpadní pórobeton. [31]

##### 11.1.4.1 Spékané průmyslové odpady

Jedná se o druh uměle vyráběného pórovitého kameniva, který je vyráběn technologií sbalkování a následného slinutí pomocí krátkodobého výpalu. Slinování se většinou provádí na aglomeračních roštech samovýpalem. Samovýpal je takový druh výpalu, kde palivo pro hoření je obsaženo v surovině, ze kterého se vyhotoví výrobky a tím pádem po zapálení při prosévání vzduchu na roštech jsou schopny dále samy hořet a vypálit se. [14]

Suroviny mohou být nejrůznějšího charakteru, především se jedná o popílek z různých spalovacích procesů, různé druhy strusek, škvára, uhelnaté břidlice, odpady z uhelných prádel, hlušiny z uhelných dolů a další. Je výhodné, pokud surovina obsahuje uhelnaté (hořlavé) látky, aby se mohla vypálit samovýpalem. Jestli takové látky neobsahuje, záměrně se přidávají před sbalkováním. Minimální **obsah uhelnatých látek** je 5 %, přičemž maximální je 12,5 %, aby nenastal nežádoucí nadměrné slinování a tím i zvýšení objemové hmotnosti. [14]

##### 11.1.4.2 Keramzit

Keramzit je druh uměle vyráběného kameniva. Je vyhotoven ze snadno tavitelných jíílů pomocí nadýmání v žáru, přičemž nadýmání nastává vlivem uvolnění plynů ze suroviny. Současně se vnitřek suroviny musí dostat do pyroplastického stavu, aby plyny mohly vytvořit póry v hmotě a povrch výrobků se musí slinout, aby plyny neunikly ze struktury. Nejvýhodnější oxidické složení pro to, aby se surovina při výpalu dostala do pyroplastického stavu, je následovná: **obsah SiO<sub>2</sub>** 55 až 78 % hm., **obsah Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** 12 až 25% hm., **celkové množství taviv** 8 až 25 % hm. [14] Tavivy mohou být **oxidy železa**, které mají být obsaženo v surovině ve množství 3 až 6 % hm., dále **alkálie**, popř. CaO, MgO, přičemž obsah **CaO** by neměl překročit 5 %. [14]

#### 11.1.5 Aktivní složky do cementových kompozitů

##### 11.1.5.1 Popílek

Dle ČSN EN 450-1 jako latentně hydraulická složka do betonu mohou být používány jenom popílký zachytávané elektrostatickým nebo mechanickým způsobem odlučování z kouřových plynů při spalování práškového uhlí. „Popílek ze spaloven komunálního nebo průmyslového odpadu nevyhovuje definici“ popílký uvedené v normě ČSN EN 450-1. [33]



Popílek musí pozůstat minimálně ze 70 % hm. z  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  přičemž dle normy ČSN EN 197-1 musí splnit minimální **obsah aktivního oxidu křemičitého**, což činí 25 % hm. [33]

Obsah jednotlivých škodlivin nesmí překročit následující limitní hodnoty: obsah **chloridů** 0,1 % hm., obsah  $\text{SO}_3$  3,0 % hm., obsah **volního vápna** 1,5 % hm., obsah **aktivního vápna** 10,0 % hm., obsah **alkálie** 5,0 % hm., obsah **MgO** 4,0 % hm. A obsah **rozpustného fosforečnanu** 5,0 % hm. [33] **Ztráta žháním** nesmí překročit 5,0 % pro popílky kategorie A, 7,0 % pro kategorii B a 9,0 % pro kategorii C. [33]

**Jemnost** popílku se stanovuje proséváním za mokra dle ČSN EN 451-2 (referenční metoda) nebo proudem vzduchu dle ČSN EN 933-10 a nesmí překročit zůstatek na síti 0,045 mm: 40 % hm. pro kategorii N a 12 % hm. pro kategorii S. [33]

**Index účinnosti** je vyjádřen jako poměr pevnosti zkušební vzorku, kde část cementu byla nahrazen složkou s pucolánovou nebo latentně hydraulickou vlastností k referenčnímu vzorku. Index účinnosti popílku po 28 dnech musí být min. 75 % a po 90 dnech 85 %. [33]

**Objemová stálost** musí splnit požadavek max. 10 mm roztažení vůči referenčnímu vzorku. [33]

#### *11.1.5.2 Struska*

Jako latentně hydraulická složka do betonu může být použita jenom vysokopecní struska. Požadavky na chemické složení jsou uvedené v ČSN EN 15167-1. Podle tabulky 1 této normy obsah jednotlivých škodlivin nesmí překročit následující limitní hodnoty: obsah **MgO** 18 %, obsah **sulfidů** 2,0 %, obsah **síranů** 2,5 %, **ztráta žháním** (opravená na oxidaci sulfidů) 3,0 %, obsah **chloridů** 0,10 %. Dále limituje se **vlhkost** strusky, a to na maximum 1,0 %. [34]

**Měrný povrch** nesmí být menší než 275 m<sup>2</sup>/kg. [34]

### **11.1.6 Výroba cementu**

#### *11.1.6.1 Portlandský slínek*

Cement je hydraulické pojivo, který skládá se z oxidu křemičitého, oxidu vápenatého, oxidu hlinitého a oxidu železitého. „Celkový **obsah aktivního oxidu vápenatého a aktivního oxidu křemičitého** musí být v cementu nejméně 50 % hmotnosti.“ (ČSN EN 197-1) [35] Z toho plyne, že vstupní suroviny pro výrobu cementu musí mít takové chemické složení, aby vypálený slínek byl nejméně ze dvou třetin hmotnosti tvořen trikalciumsilikátem a dikalciumsilikátem, přičemž podíl oxidu vápenatého k oxidu křemičitého nesmí být menší než 2,0 a obsah **oxidu hořečnatého** nesmí překročit limitní hodnotu 5 hm. %. (ČSN EN 197-1) [35]

Vstupní suroviny musí být takové kvality, nebo musí přejít takovou úpravou, aby finální výrobek splňoval následující limity na obsahu škodlivin: ztráta žháním a **obsah nerozpustných zbytků** pro CEM I a CEM II nesmí překročit 5,0 %, největší přípustné množství **síranů** ve formě  $\text{SO}_3$  je 3,5 % nebo 4,0 % podle druhu a pevnostní třídy cementu, obsah **chloridů** nesmí překročit 0,10 % u všech druhů cementu. [35]

Cement může kromě portlandského slínku a regulátoru tuhnutí obsahovat dle druhu i další hlavní složky: granulovanou vysokopecní strusku, vápenaté a křemičité popílky a vápenec.

#### *11.1.6.2 Struska do cementu*

Granulovaná vysokopecní struska se používá jako hlavní složka do CEM II/A-S, CEM II B-S, CEM III a CEM V. Je to vedlejší produkt vznikající rychlým chlazením struskotvorné taveniny při tavení železné rudy. Struska, která se může používat jako hlavní složka do cementu, musí být nejméně ze dvou třetin hmotnosti sklovitá a rovněž ze dvou třetin hmotnosti musí obsahovat následující oxidy: **CaO, MgO a SiO<sub>2</sub>**, zbytek tvoří zejména Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, přičemž „hmotnostní podíl (CaO+MgO)/(SiO<sub>2</sub>) musí být větší než 1,0“. (ČSN EN 197-1) [35]

#### *11.1.6.3 Popílek do cementu*

Popílek je jemný prášek vznikající při spalovacích procesů. Jako hlavní složka do cementu může být použit jen popílek z vysokoteplotní spalování uhlí, kde samotný popílek je zachycený elektrostaticky nebo mechanicky z kouřových plynů. Může se jednat o křemičitý popílek, který má pucolánové vlastnosti, nebo o vápenaté, který má hydraulické. Pro obě typy popílku platí, že **ztráta žiháním** po dobu 1 hodinu má být v rozmezí 0 až 5,0 % hm. [35]

Popílek z fluidní spalování uhlí a popílek ze spalování jiných materiálů než uhlí nesmí být k tomuto účelu použit dle ČSN EN 197-1. [35]

Křemičité popílky pozůstávají nejméně z 25,0 % z **aktivního oxidu křemičitého**, dále z **oxidu hlinitého** popřípadě oxidu železitého. Obsah **aktivní oxidu vápenatého** nesmí překročit 10,0 % a obsah volného vápna 1,0 %. Jestli je poukázána **objemová stálost** 10 mm, může se používat jako hlavní složka do cementu i popílek s obsahem **volného vápna** do 2,5 % hm. (ČSN EN 197-1) [35]

#### *11.1.6.4 Vápenec*

Minimální obsah **uhličitanu vápenatého** je 75 % hmotnosti. (ČSN EN 197-1) [35]

#### *11.1.6.5 Doplnující složky*

Do cementu se mohou přidávat doplňující složky nanejvýš do 5 % hmotnostních. Před použitím musí být zhomogenizované, vysušené a pomleté na zrnitost cementu. [35]

Doplňující složky musí být inertního charakteru, nesmí zhoršovat vlastnosti cementu a nesmí snižovat odolnost betonu a malt vyrobených z nich. Při zpracování nesmí ve větší míře zvyšovat potřebné množství vody. (ČSN EN 197-1) [35]

Požadavky na chemické složení jsou následovné: **ztráta žiháním** nesmí překročit 5,0 %, **nerozpustný zbytek** max. 5,0 %, obsah **síranů** ve formě SO<sub>3</sub> nesmí překročit 3,5 % nebo 4,0 % dle druhu a pevnostních tříd cementu, obsah **chloridů** nesmí překročit 0,1 %. [35]

### **11.1.7 Vápno**

Požadavková norma: ČSN EN 459-1 Stavební vápno – Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody

Tab. 9 Zatřídění bílého vápna chemického složení dle ČSN EN 459-1 [36]

Název	Značení	Obsah jednotlivých oxidů v %				
		CaO+MgO	MgO	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	volné CaO
Bílé vápno 90	CL 90	≥90	≤5	≤4	≤2	≥80
Bílé vápno 80	CL 80	≥80	≤5	≤7	≤2	≥65

Tab. 10 Reaktivita dle ČSN EN 459-1 [36]

Druh	Reaktivita				
	R5	R4	R3	R2	R <sub>sv</sub>
CL 90	t <sub>60</sub> <10	t <sub>50</sub> <25	-	-	Jiná požadovaná hodnota nebo není požadováno
CL 80	t <sub>60</sub> <10	t <sub>50</sub> <25	t <sub>50</sub> <25	-	
CL 70	-	-	-	t <sub>40</sub> <25	

Tab. 11 Zrnitost dle ČSN EN 459-1 [36]

Síto	Zrnitost – propad sítím v hmotnostních %				
	P4	P3	P2	P1	P
10	100	-	-	-	Jiná požadovaná hodnota nebo není požadováno
5	≥95	100	100	-	
2	-	≥95	≥95	100	
0,2	-	-	≥70	≥95	
0,09	-	≥30	≥50	≥85	

**Jemnost** je vyjádřen pomocí zbytků na daných sít a musí splňovat následující limity, které jsou totožné pro vápna CL 90, CL 80 a CL 70: zbytek na síti 0,09 mm nesmí být více než 7 hm. % a zároveň zbytek na síti 0,2 mm nesmí být více než 2 hm. %. [36]

Obsah volné vody nesmí být více než 2 %. [36]

## 11.1.8 Sádra a výrobky na bázi sádry

### 11.1.8.1 Sádra

Požadavková norma: ČSN EN 13279-1 Sádrová pojiva sádrové malty pro vnitřní omítky – Část 1: Definice a požadavky

Suroviny pro výrobu sádry musí být takové jakosti, aby z nich vyráběná sádrová pojiva, malty a omítky splnily požadavky uvedené v 5 kapitole normy. [37]

Sádrové pojiva a malty pro vnitřní omítky lze zatřídít bez zkoušení do skupiny A1-reakce na oheň, jestli obsah organického materiálu je menší než 1 %. [37]

Obsah **síranu vápenatého** v sádrových pojiv musí být nejméně 50 %. [37]

Vlastnosti sádrových pojiv, sádrových malt a sádrových malt pro speciální účely se stanoví dle normy ČSN EN 13279-2 Sádrová pojiva sádrové malty pro vnitřní omítky – Část 2: Zkušební metody.

## 11.1.9 Složky pórobetonu

### 11.1.9.1 Popílek do pórobetonu

Popílek je vhodný jako křemičitá surovina do pórobetonu, jestli splňuje následující požadavky na chemické složení, fyzikální vlastnosti a technické požadavky:

- ztráta žiháním pro černouhelný popílek je maximálně 7 % hm. a pro hnědouhelný popílek nebo směs černouhelného a hnědouhelného popílku 4 % hm.,
- obsah  $\text{SiO}_2$  minimálně 45 % hm.,
- obsah celkové  $\text{CaO}$  maximálně 5 % hm.,
- obsah  $\text{SO}_3$  maximálně 2 % hm.,
- obsah  $\text{Na}_2\text{O}$  maximálně 1,5 % hm.,
- **zbytek na síti 0,2 mm** po síťovém rozboru maximálně 8 % hm. a **zbytek na síti 0,063 mm** minimálně 25 % hm. přičemž tyto hodnoty jsou směrné,
- **sypná hmotnost** ve volně sypaném stavu minimálně 500 a maximálně 1000  $\text{kg/m}^3$ , přičemž tyto hodnoty jsou směrné,
- **sypná hmotnost** v setřeseném stavu minimálně 700 a maximálně 1200  $\text{kg/m}^3$ , přičemž tyto hodnoty jsou směrné,
- **měrná hmotnost** minimálně 2000  $\text{kg/cm}^3$ , přičemž tyto hodnota je směrná,
- **měrný povrch** minimálně 200 a maximálně 500  $\text{m}^2/\text{kg}$ , přičemž tyto hodnota je směrná,
- **pevnost v tlaku** minimálně 2,5 MPa,
- **vlhkost** minimálně  $6 \pm 2$  % (hodnota je směrodatná) a maximálně 10 % (hodnota je limitní),
- **objemová hmotnost** maximálně 600  $\text{kg/m}^3$ ,
- **nasákavost** maximálně 70  $\text{g/dm}^3$ . [38]

Do pórobetonu je možné použít popílek z fluidní splování i fluidní popel, jestliže splňují následující požadavky na chemické složení, fyzikální vlastnosti a technické požadavky:

- **ztráta žiháním** maximálně 4 % hm.,
- obsah  $\text{SiO}_2$  minimálně 40 % hm.,
- obsah volného  $\text{CaO}$  maximálně 5 % hm. (hodnota je směrná),
- obsah  $\text{MgO}$  maximálně 2 % hm.,
- obsah celkového  $\text{CaO}$  15 % hm.,
- obsah celkové  $\text{SO}_3$  10 % hm.,
- **pH** minimálně 7 maximálně 13
- obsah **alkálií** přepočteno na  $\text{Na}_2\text{O}$  maximálně 1,5 % hm.,
- **zbytek na síti 0,063 mm** minimálně 10 % a maximálně 50 %,
- **sypná hmotnost** ve volně sypaném stavu minimálně 500  $\text{kg/m}^3$ ,
- **sypná hmotnost** v setřeseném stavu minimálně 700  $\text{kg/m}^3$ ,
- **měrná hmotnost** minimálně 2000  $\text{kg/cm}^3$ ,
- **měrný povrch** maximálně 500  $\text{m}^2/\text{kg}$ ,
- **pevnost v tlaku** minimálně 2,5 MPa,
- **vlhkost** maximálně 10 %,
- **objemová hmotnost** minimálně 500  $\text{kg/m}^3$  (hodnota je směrná), maximálně 700  $\text{kg/m}^3$  (hodnota je limitní),
- **nasákavost** minimálně 70 % (hodnota je směrná) a maximálně 75 % (hodnota je limitní). [38]

### 11.1.9.2 Vápno do pórobetonu

Vápno je vhodnou složkou do pórobetonu jestli splňuje následující kritéria:

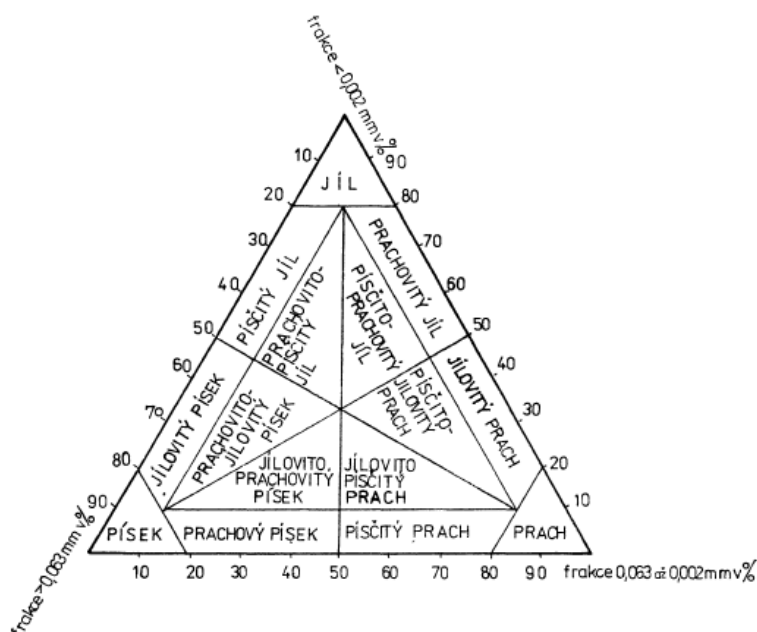
- **reaktivita:**  $T_{60} = 4$  až 12 minut
- obsah **CaO** minimálně 90 %, obvykle v rozmezí 90 až 96 %,
- obsah **MgO** nejvýše 3 %,
- **ztráta žháním** nejvýše 6 %, obvykle v rozmezí 3 až 6 %,
- obsah **síry** nesmí překročit 0,2 %. [14]

## 11.1.10 Suroviny pro přípravu keramiky

### 11.1.10.1 Cihlářské zeminy

Cihlářské zeminy dle ČSN 72 1564 se dělí do skupiny I (oblast zařazené zeminy A dle Winklerovho diagramu), II (oblast zařazené zeminy B Winklerovho diagramu), III (oblast zařazené zeminy C Winklerovho diagramu) a IV (oblast zařazené zeminy C pro krytiny a obklady Winklerovho diagramu). [39]

Zatřídí se podle zrnitosti dle trojúhelníkového diagramu uvedené na obrázku č. 12.



Obr. 10 Trojúhelníkový diagram [39]

Dle hlavního jílového minerálu se označuje následovně: písmenem K – kaolinové, písmenem M – montmorillonitové, písmenem I – jílové slídy. Smíšená struktura se označuje kombinací písmen v pořadí od nejvíc po nejméně obsažený jílový minerál. [39]

Dle **zrnitosti nad 2 mm** se označuje následovně: číslicí 1, když nadsítní podíl je nejvýše 2 %, číslicí 2, když nadsítný podíl je v rozmezí 2 až 5 %, číslicí 3, když nadsítný podíl je do 10 %, číslicí 4, když nadsítný podíl nad 10 %. [39]

Dle **obsahu uhličitánů** se označuje následovně: číslicí 1, když obsah je nejvýše 2 %, číslicí 2, když obsah je nejvýše 10 %, číslicí 3, když obsah je nejvýše 25 %, číslicí 4, když obsah je víc než 25 %. [39]

Dle **optimální vlhkosti** se označuje následovně: číslicí 1, když optimální vlhkost je nejvýše 20 %, číslicí 2, když optimální vlhkost je nejvýše 25 %, číslicí 3, když optimální vlhkost je nejvýše 30 %, číslicí 4, když optimální vlhkost je nad 30 %. [39]

#### **11.1.10.2 Jílové zeminy**

Jako **jílové suroviny** se označují „horniny, které obsahují užitečné množství jílových částic“. [40] Jílové částice se vyznačují velikostí pod 0,004 mm a jsou tvořené jílovými minerály. Jako **jíl** se označuje nezápevněná hornina s množstvím jílových částic nad 50 %. Jako hlína se označuje nezápevněná hornina s množstvím jílových částic mezi 20 až 80 % obsahující prach a písek. [40]

Podle základních vlastností jílové suroviny dělíme na žárovzdorné, kameninové, pórovinové a slévárenské. [40]

U žárovzdorných jílových surovin se sleduje obsah  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , který je nositelem žárovzdorných vlastností a obsah  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  a sleduje se **vaznost**. [40]

Kameninové jílové suroviny se vyznačují **teplotou slinutí** do 1300 °C, důležitými vlastnostmi jsou **vaznost, smrštění při slinutí, odolnost proti kyselinám po výpalu a obsah písku**. Pórovinovou jílovou surovinou se rozumí jílová surovina mající nasákavost min. 2 % po výpalu na 1250 °C. Důležitá je barva, resp. bělost vzniklého střepu po výpalu. Tato vlastnost koresponduje zejména s **obsahem barvicích oxidů** ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  a  $\text{TiO}_2$ ). Dalším důležitým vlastností je **smrštění**. [40]

Slévárenské jílové suroviny musí vykazovat min. 0,4 MPa **pevnost v tlaku** po vysušení na 200 °C. Dalšími důležitými vlastnostmi jsou zrnitost, vaznost a teplota žárové deformace. [40]

## **11.2 Kritéria využití odpadů ve stavebnictví**

V následující tabulce je sestavený základní soubor kritérií pro využití odpadů ve stavebnictví na základě požadavků platných norem. Důležitými kritérii pro rozhodování o použitelnosti odpadu jsou zrnitost a podíl jemných částic, vlhkost a nasákavost, chemické složení, ztráta žíháním a obsah organických látek.

Tabulka je vypracovaná na základě skutečností uvedených v kapitole 11.1 této práce.

Tab. 12 Základní soubor kritérií sestavený podle platných norem

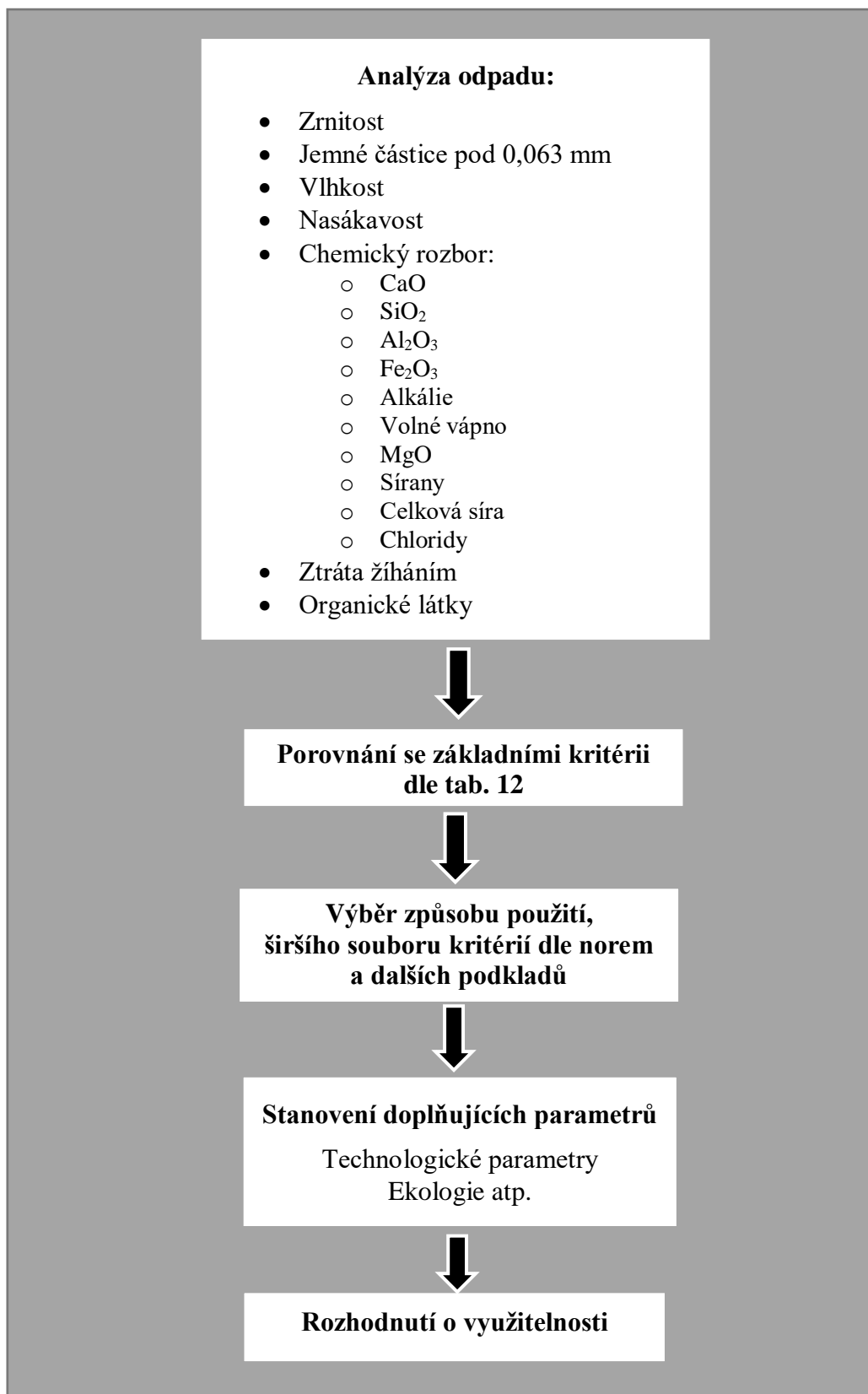
	Granulometrie				Vlhkost	Nasákavost	Chemický rozbor	Ztráta žiháním	Organické látky
	Norma	Zrnitost	Jemné částice						
<b>Náhrada přírodního kameniva</b>									
Kamenivo do betonu	ČSN EN 12620+A1	0-22 mm				Sírany max. 0,8% Celková síra max.1%		tuhnutí max. + 120 min.	
vzduchem chlazená vysokopecní struska		0-22 mm				Sírany max. 1,0% Celková síra max.2% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> = 0%		snížení pevnosti max. 20 %	
recyklované kamenivo		0-22 mm				Sírany max. 0,2%		tuhnutí max. + 40 min.	
Kamenivo do malt	ČSN EN 13139	0-8 mm				Celková síra max.1%	pro popílek: 5 %		
vzduchem chlazená vysokopecní struska		0-8 mm				Celková síra max.2%	3%		
<b>Náhrada přírodního kameniva – inženýrské stavby</b>									
Kamenivo pro stmelené směsi	ČSN EN 14227-1;	0-31,5	do 3%		do 2,0 % ; do 0,5 % = mrazuvzdorné	Celková síra max.1%			
vzduchem chlazená vysokopecní struska	ČSN 73 6124-1; ČSN EN					Celková síra max.2%			
recyklované kamenivo	13242+A1					Celková síra do 1,3%			
Kamenivo pro nestmelené směsi	ČSN EN 13285	0-90 mm	do 15 %						
Sypané hráze	ČSN 75 2410								
<b>Pórovité kameniva</b>	ČSN EN 13055-1								
Spékané průmyslové odpady								obsah uhelnatých látek min. 5 % max. 12,5 %	
Keramzit						CaO max. 5% SiO <sub>2</sub> 55 až 78 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 12 až 25 % oxidy Fe 3 až 6 %			

	Granulometrie			Vlhkost	Nasákavost	Chemický rozbor	Ztráta žháním	Organické látky
	Norma	Zrnitost	Jemné částice					
<b>Aktivní složky do cementových kompozitů</b>								
Popílek	ČSN EN 450-1	zůstatek 0,045 mm: 40 %				aktivní CaO max. 10% SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> min. 25 % hm.; součet všech min. 70 % Alkálie max. 5 % Volné vápno max. 1.5 % MgO max. 4,0 % SO <sub>3</sub> max. 3,0 % Chloridy max. 0,10 % fosforečnany max. 5,0 %	max. 9,0 %	
Struska	ČSN EN 15167-1			max. 1%		MgO max. 18 % Síraný max. 2,5% Chloridy max. 0,10 % sulfidy 2,0 %	max. 3,0 %	
<b>Výroba cementu</b>								
Portlandský slínek	ČSN EN 197-1					CaO/SiO <sub>2</sub> >=2,0; (CaO+SiO <sub>2</sub> )=50 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> obsažen Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> obsažen MgO max. 5 % SO <sub>3</sub> max. 4,0 % Chloridy max. 0,10 %		
Struska do cementu	ČSN EN 197-1					(CaO+MgO)/SiO <sub>2</sub> >=1,0 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> obsažen		
Popílek do cementu	ČSN EN 197-1					aktivní CaO max. 10% SiO <sub>2</sub> min. 25 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> obsažen	max. 5,0 %	



	Norma	Granulometrie		Vlhkost	Nasákavost	Chemický rozbor	Ztráta žháním	Organické látky
		Zrnitost	Jemné částice					
						Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> obsažen Volné vápno max. 1,0 %		
Vápenec	ČSN EN 197-1					CaCO <sub>3</sub> min. 75 %		
Doplňující složky	ČSN EN 197-1					SO <sub>3</sub> max. 4,0 % Chloridy max. 0,10 %	max. 5,0 %	
<b>Vápno</b>	ČSN EN 459-1	0-5 (10) mm			volná voda max. 2 %	(CaO+MgO) min. 80 % Volné vápno min. 65 % MgO max. 5 % SO <sub>2</sub> max. 2 %	CO <sub>2</sub> max. 7 %	
<b>Sádra</b>	ČSN EN 13279-1					CaSO <sub>4</sub> min. 50 %		méně než 1 %
<b>Složky pórobetonu</b>								
Popílek do pórobetonu	ČSN 72 20 72-5	zbytek na 0,2 mm max. 8 (10) %,		6 až 10 %		celkové CaO max. 5 % SiO <sub>2</sub> min. 45 % Na <sub>2</sub> O max. 1,5 % SO <sub>3</sub> max. 2 %	max. 7 %	
Popílek z fluidního spalování, fluidní popel		zbytek na 0,063 max. 25 (50) %		max. 10 %	max. 75 %	celkové CaO max. 15 % SiO <sub>2</sub> min. 40 % Na <sub>2</sub> O max. 1,5 % Volné vápno max. 5 % MgO max. 2 %	max. 4 %	
Vápno do pórobetonu	ČSN EN 459-2					CaO min. 90 % MgO max. 3 % Celková síra max. 0,2 %	max. 6 %	
<b>Suroviny pro přípravu keramiky</b>								
Cihlářské zeminy	ČSN 72 1564							
Jílové zeminy	ČSN 72 1330							

### 11.3 Metodický postup pro využití odpadů

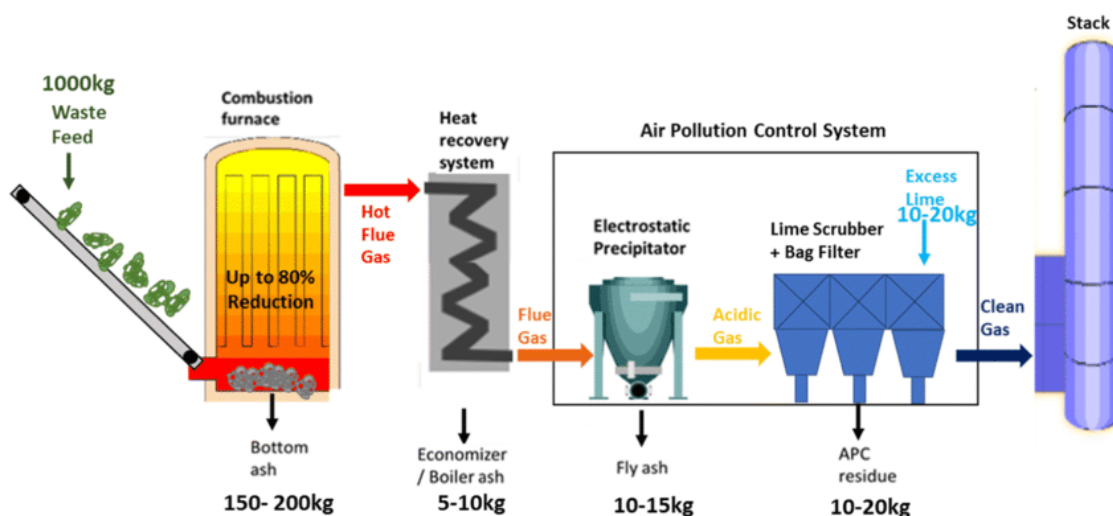


## 12 Etapa 2: Využití škváry ze spalovny komunálního odpadu

### 12.1 Škvára ze spalování komunálního odpadu

Škvárou se označují anorganické zbytky paliv. Jedná se o neshořelý zbytek po procesu spalování. Vlastnosti škváry se mění dle použitého paliva. Škvára ze spalování komunálního odpadu vzniká během energetické využití odpadu nebo odstranění odpadu spalováním a představuje minerální zbytek procesu spalování odpadu. Její složení a s tím související vlastnosti jsou závislé na složení odpadu, který vstupuje do procesu.

Česká legislativa odkazuje na tento druh odpadu, jako na strusku ze spalování komunálního odpadu, avšak ve stavebnictví se struskou označují nekovové zbytky vzniklé v hutní výrobě. Nejčastěji se jedná o strusku vysokopeční vzniklou ve vysoké peci během procesu redukce železa. Obecněji mohou být jako struska označeny „všechny přetavené zpravidla silikátové odpady vznikající v průmyslových pecích“.[14]



Obr. 11 Schéma spalovně komunálního odpadu [41]

#### 12.1.1 Zatřídění a označení

V katalogu odpadů je tento druh odpadu zatříděný do skupiny 19 Odpady ze zařízení určeného pro nakládání s odpady, z čistíren odpadních vod pro čištění těchto vod mimo místa jejich vzniku a z výroby vody pro spotřebu lidí a vody pro průmyslové účely; do podskupiny 19 01 Odpady ze spalování nebo z pyrolýzy odpadů a je označen katalogovým číslem 19 01 12 Jiný popel a struska neuvedené pod číslem 19 01 11 (Popel a struska obsahující nebezpečné látky). [3] Odpad vznikl činností 4.5.0, způsobem nakládání R1a, teda vznikl, jako odpad při zpracování tzv. ostatních odpadů během procesu energetického využití pomocí technologie spoluspalování ostatních odpadů. (příloha č. 1 k zákonu 541/2020 Sb.) [1]

V rámci této práce bude odpad, označený katalogovým číslem 19 01 12, označován jako škvára ze spalování komunálního odpadu resp. zkráceně jako škvára.

#### 12.1.2 Produkce

V roce 2020 bylo vyprodukováno 5 271 690 tun komunálního odpadu, z toho bylo využito 2 662 917 tun, z toho energetické využití činilo 803 773 tun. Odstraněno bylo

2 608 773 tun komunálního odpadu, z toho spalování činilo 5 030 tun. [12] Z jedné tuny komunálního odpadu, který byl energeticky využit nebo odstraněn spalováním, vznikne v průměru 250 kg škváry. [4] Z teoretického výpočtu plyne, že vzniklé množství škváry za rok 2020 činí přibližně 667 000 tun. Jako odpad bylo označeno 155 090 tun škváry zatříděné do 19 01 11 a 19 01 12. [12]

## 12.2 Základní analýza škváry

### 12.2.1 Zrnitost škváry

Stanovení zrnitosti je nezbytné pro rozhodnutí o použitelnosti škváry.

Norma ČSN EN 13242+A1 udává zrnitost kameniva vhodného pro vyhotovení stmelěných směsí 0 až 32 mm s jemným podílem pod 0,063 mm maximálně 3 %. [28]

Vyhláška č. 273/2021 Sb. v příloze 6. udává technické požadavky na škváru využitelné pro pozemní komunikace jako podkladní vrstva. Množství jemných částic do 0,063 mm je limitován na maximum 9 % a dále množství částic větší jako 32 mm je limitován na maximum 15 %. [2]

Pro zkoumanou škváru byla stanovena zrnitost jako propad sítím v procentech.

Tab. 13 Zrnitost škváry jako propad sítím [42]

Propad sítí [%]												
0	0,002	0,006	0,045	0,063	0,125	0,25	1	2	4	8	16	32
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
0,00	0,78	2,26	6,21	7,29	10,76	15,80	26,26	31,92	47,72	73,24	97,13	100,00

Zrnitost analyzované škváry ze spalovny komunálního odpadu vyhoví požadavkům vyhlášky č. 273/2021 Sb. dle síťového rozboru uvedené v tabulce 13.

### 12.2.2 Chemický rozbor škváry

Norma ČSN EN 13242+A1 limituje množství síranů ve formě SO<sub>3</sub> na maximum 1 % pro běžná kameniva na maximum 2 % pro vzduchem chlazenou vysokopecní strusku a na maximum 1,3 % pro recyklované kamenivo třídy SS<sub>1,3</sub>. [28]

Tab. 14 Chemický rozbor škváry [42]

Sírany jako SO <sub>3</sub>	Chloridy	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
0,78	0,48	48,14	9,81	7,96	0,91	0,13	16,16	1,95	1,60	3,91	1,20

Analyzovaná škvára ze spalovny komunálního odpadu splňuje limitní hodnotu množství síranů ve formě SO<sub>3</sub> stanovené pro vzduchem chlazenou vysokopecní strusku i přísnější kritérium, stanovené pro běžné kamenivo uvedené v normě ČSN EN 13242+A1.

### 12.2.3 Nasákavost škváry

Norma ČSN EN 13242+A1 limituje nasákavost kameniva použité pro stmelené směsi na 2 %, avšak závazné legislativní dokumenty neudávají limitní hodnotu pro nasákavost škváry využitelnou pro pozemní komunikace jako podkladní vrstva. [28]

Nasákavost zkoumané škváry byla stanovena na 11,8 %.

### 12.2.4 Vlhkost škváry

Vlhkost škváry se stanoví dle normy ČSN EN ISO 17892-1 a uvádí se jako hmotnost vody obsažené v sušině v poměru k hmotnosti sušiny v suchém stavu a je vyjádřena v procentech. [16]

Vlhkost zkoumané škváry byla stanovena na 15,1 %.

## 12.3 Kritéria pro využití a stanovení doplňujících parametrů

Vyhláška č. 273/2021 Sb. uvádí v §6 obecné podmínky pro využití odpadu na zasypávání a jsou vyjmenované v kapitole 7.3 této práce.

V §7 vyhlášky 273/2021 Sb. jsou vymezeny podmínky pro využití odpadu označeného číslem 19 01 12 k zasypávání odlišně od §6. [2] Vyhláška přesně definuje oblast použití v příloze č. 6. bodě 3.: Požadavky na využití strusky v definovaných aplikacích. Z toho plyne, že škvára se může využívat jako podkladní vrstvu pro pozemní komunikace a pro základy a podlahy konstrukce průmyslových a skladových budov, jestli budou dodrženy požadavky uvedené §7 vyhlášky č. 273/2021 Sb. (vyhláška č. 273/2021 Sb.) [2]

Pro škváru, která se využívá dle bodu 3. přílohy 6 vyhlášky č. 273/2021 Sb., platí podmínky vymezené v bodě 1 §7 vyhlášky č. 273/2021 Sb. [2] V bodě 1 přílohy č. 6 této vyhlášky jsou vymezeny nejvýše přípustné koncentrace škodlivin a v bodě 2 jsou vymezeny technické požadavky. Po splnění těchto podmínek může být odpad 19 01 12 využíván pro zasypávání. K dosažení stanovených vlastností je třeba z čerstvé škváry odseparovat využitelné kovy a následně stabilizovat pomocí procesu zrání. (vyhláška 273/2021 paragraf 7 odst. 1 b.) [2]

### 12.3.1 Technické požadavky

Jedná se zejména o **granulometrii**: maximální množství zrn menších než 0,063 mm nesmí překročit 9 %, maximální množství zrn větších než 31,5 mm nesmí překročit 15 % dle síťového rozboru normální sadou sít, přičemž největší možné použité zrno je frakce 63 mm. [2] [17] Dále je limitováno nejvýše přípustné množství zrn s hustotou menší než 1000 kg/m<sup>3</sup> na 15 cm<sup>3</sup>/kg týkající se frakce od 4 do 63 mm. (2. bod přílohy č. 6 vyhlášky č. 273/2021 Sb.) [2]

### 12.3.2 Limitní hodnoty koncentrace škodlivin

**Ve výluhu** škváry se sleduje obsah kovů a polokovů: Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Mo, Pb, Sb, V, Zn, As, alkalických kovů a kovů alkalických zemin: Ba, Na, nekovu Se udán v mg/l, dále **pH má být v rozmezí 9-11**. (1. bod přílohy č. 6 vyhlášky č. 273/2021 Sb.) [2]

**V sušině** škváry se sleduje obsah kovů a polokovů: Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, As, přítomnost TOC (celkový organický uhlík), PAU (polycyklické aromatické uhlovodíky),

a PCDD/F (koncentrace kongenerů) uvedených v mg/kg. (2. bod přílohy č. 6 vyhlášky č.273/2021 Sb.) [2]

Tab. 15 Nejvýše přípustné koncentrace škodlivin ve škváře dle vyhlášky č. 273/2021 Sb. příloha č. 6 [2]

Nejvýše přípustné koncentrace škodlivin			
Ve výluhu dle 6.1		V sušině dle 6.2	
Ukazatel	Limitní hodnota	Ukazatel	Limitní hodnota
	mg/l		mg/kg
Chloridy	700	As	45
Fluoridy	6	Cd	20
Sírany	1000	Cr	200
As	0,03	Cu	7000
Ba	3	Hg	1
Cd	0,005	Ni	500
Cr, celkový	0,2	Pb	1000
Cu	1	Zn	10000
Hg	0,0008	TOC	30000
Ni	0,03	PAU ( $\Sigma$ Benzo[a]pyren, Benzo(b)fluoraten, Benzo(k)fluoraten, Indeno(1,2,3- cd)pyren)	1
Mo	0,5		
Pb	0,05		
Sb	0,07		
Se	0,1	PCDD/F	ng I-TEQ/kg
Zn	0,6		10

## 12.4 Experimentální ověření použitelnosti škváry pro stmelené směsi

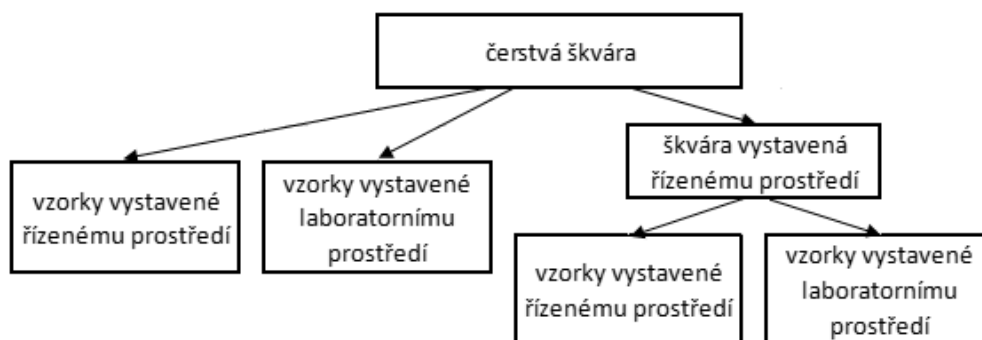
### 12.4.1 Ošetření škváry a zkušebních vzorků:

Z čerstvé škváry se nejprve odebral vzorek na analýzu, následně se z ní vyhotovily dvě sady vzorků a zbylá část se uložila do řízené prostředí. Jedna ze sad vyhotovená z čerstvé škváry se uložila do laboratorního prostředí a druhá byla vystavena řízenému prostředí na 14 dní.

Po uplynutí 14 dnů se z urychleně stárnuté škváry odebrala část pro analýzu a následně se vyhotovily dvě sady vzorků. Jedna sada byla uložena do laboratorního prostředí a druhá byla vystavena řízenému prostředí na 14 dní.

#### Řízené prostředí:

Parametry řízeného prostředí jsou následovné: relativní vlhkost 80 %, teplota 23 °C, koncentrace CO<sub>2</sub> 8 %.



Obr. 12 Schéma úpravy škváry a zkušebních vzorků

### 12.4.2 Čerstvá škvára

Na čerstvé škváře bez specifické úpravy přímo ze spalovny komunálního odpadu byla provedena analýza škodlivin obsažených ve výluhu a výsledky byly porovnány s nejvýše přípustnými koncentracemi dle bodu 1 přílohy 6 vyhlášky 273/2021 Sb. [2] [17]

Tab. 16 Výsledky stanovení koncentrace škodlivin ve výluhu čerstvé škváry

Výluhy dle 273/2021 Sb. tab. 6.1	Limit dle v. 273/2021 Sb.	Výsledek
	mg/l	mg/l
Chloridy	700	519
Fluoridy	6	< 0,400
Sírany	1000	86,3
As	0,03	< 0,0010
Ba	3	0,312
Cd	0,005	< 0,00050
Cr, celkový	0,2	0,0184
Cu	1	0,652
Hg	0,0008	< 0,00100
Ni	0,03	0,0052
Mo	0,5	0,142
Pb	0,05	0,0244
Sb	0,07	0,0145
Se	0,1	< 0,0050
Zn	0,6	0,123

Škvára jako surovina vyhoví podmínkám, které stanovuje vyhláška č. 273/2021 Sb. V §7 a může být využívána dle bodu 3 přílohy č. 6 vyhlášky č. 273/2021 Sb. V souladu.

### 12.4.3 Škvára uložena v řízeném prostředí

Vzhledem k tomu, že vyhláška č. 273/2021 Sb. Pracuje s vyzrálou škvárou, bylo nutné stanovit parametry ne jenom čerstvé, ale také i vyzrálé škváry. [2]

V rámci této práce se použilo technologie urychlené stárnutí. Byla pro to použita komora, která umožňuje řízení prostředí. Parametry řízeného prostředí byly nastaveny následovně: relativní vlhkost 80 %, teplota 23 °C, koncentrace CO<sub>2</sub> 8 %. Konkrétní sady vzorků byly vystaveny tomuto prostředí 14 dnů.

Na čerstvé škváře ze spalovny komunálního odpadu byla provedeno urychlené stárnutí podle výše uvedených parametrů. Po 14 dnech urychleného stárnutí byly stanoveny koncentrace škodlivin ve výluhu a výsledky byly porovnány s nejvýše přípustnými koncentracemi dle bodu 1 přílohy 6 vyhlášky 273/2021 Sb.

Tab. 17 Výsledky stanovení koncentrace škodlivin ve výluhu škváry z řízeného prostředí

Výluhy dle 273/2021 Sb. tab. 6.1	Limit dle v. 273/2021 Sb.	Výsledek
	mg/l	mg/l
Chloridy	700	651
Fluoridy	6	0,42
Sírany	1000	990
As	0,03	0,0057
Ba	3	0,138
Cd	0,005	< 0,00050
Cr, celkový	0,2	0,0154
Cu	1	0,143
Hg	0,0008	< 0,00100
Ni	0,03	0,0037
Mo	0,5	0,101
Pb	0,05	< 0,0010
Sb	0,07	0,0377
Se	0,1	< 0,0050
Zn	0,6	0,0404

Po vystavení škváry řízenému prostředí se koncentrace některých škodlivin snížily, jiné se zase zvýšily.

Škvára vystavená řízenému prostředí jako surovina vyhoví podmínkám, které stanovuje vyhláška č. 273/2021 Sb. v §7 a může být využívána dle bodu 3 přílohy č. 6 vyhlášky č.273/2021 Sb. v souladu.

#### 12.4.4 Receptura

Pro vyhotovení stmelené směsi ze škváry ze spalovny komunálního odpadu byla použita jedna z ověřených receptur pro zřízení vrstvy zemního tělesa na bázi druhotných surovin dle diplomové práce Bc. Jakuba Hrubého s názvem: Pokročilý materiál pro zřízení vrstvy zemního tělesa na bázi druhotných surovin (2022). [42]

#### Receptura pro sadu vzorků z čerstvé škváry ze spalovny komunálního odpadu:

- 100 % čerstvé škváry přímo ze spalovny komunálního odpadu,
- 4 % (z hmotnosti škváry) cementu CEM II/B-M (S-LL) 32,5R cementárna Mokrý,



- množství vody: v hmotnostních % (z hmotnosti suché směsi), dle aktuálních výsledků Proctorovy zkoušky největší objemové hmotnosti. [42]

#### **Receptura pro sadu vzorků ze škváry zralé v řízeném prostředí (viz kap. 12.4.3):**

- 100 % škváry ze spalovny komunálního odpadu zralé 14 dnů v řízeném prostředí,
- 4 % (z hmotnosti škváry) cementu CEM II/B-M (S-LL) 32,5R cementárna Mokrá,
- množství vody: v hmotnostních % (z hmotnosti suché směsi), dle aktuálních výsledků Proctorovy zkoušky největší objemové hmotnosti. [42]

#### **12.4.5 Vyhotovení zkušebních vzorků**

Zkušební vzorky byly vyhotoveny na základě metody provádění zkoušky Proctor standard dle normy ČSN EN 13286–2 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 2: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti – Proctorova zkouška. [20]

Po stanovení optimální vlhkosti se namíchala příslušná receptura a vyhotovily se 2 sady zkušebních vzorků válcového tvaru s průměrem 100 mm a výškou 120 mm. Vzorky pak byly umístěny do příslušného prostředí, definovaného v kap 12.4.1 této práce.

Tab. 18 Stanovení srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti

	Optimální vlhkost	OH vlhkého vzorku	OH suchého vzorku
	%	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Sada vzorků vyhotovené z čerstvé škváry	19,4	1940	1620
Sada vzorků ze škváry z řízeného prostředí	14,5	1940	1690

#### **12.4.6 Výsledky zkoušky provedené na vzorky vyhotovené z čerstvé škváry**

Z čerstvé škváry (FRESH) byly vyhotoveny dvě sady vzorků. Jedna sada byla uložena do laboratorní prostředí (LAB) a druhá do řízené prostředí (CO<sub>2</sub>) s parametry uvedené v kapitole 12.4.1. Obě sady zrály 14 dnů v příslušném prostředí, následně dalších 14 dní byly uloženy v laboratorní prostředí před zkoušením jednotlivých parametrů.

Po celkem 28 dní byly stanoveny následující parametry a provedeny následující zkoušky: rozměry vzorků, objem vzorků (V), objemová hmotnost (OH), pevnost v tlaku, obsah škodlivin ve výluhu, ekotoxikologické testy.

Výsledné hodnoty sady vzorků uložených v laboratorním prostředí byly porovnány se vzorky ze sad uložených v řízeném prostředí a v dalších částech práce budou porovnány i se sadou vzorků vyhotovených ze škváry uložené v řízeném prostředí.

### 12.4.6.1 Objem a objemová hmotnost

Tab. 19 Objem, objemová hmotnost a jejich změna sady vzorků čerstvá škvára zralé v příslušném prostředí

Sada vzorků vyhotovené z čerstvé škváry	V	Změna objemu			OH	Změna objemové hmotnosti		
		LAB/ FRESH	CO2/ LAB	CO2/ FRESH		LAB/ FRESH	CO2/ LAB	CO2/ FRESH
	dm <sup>3</sup>	%	%	%	kg/m <sup>3</sup>	%	%	%
po vyhotovení (FRESH)	0,942				1624			
laboratorní prostředí (LAB)	0,967	2,65	11,79	14,76	1648	1,48	-8,86	-7,51
řízené prostředí (CO2)	1,081				1502			

Z výsledků uvedených v tabulce č. 19 můžeme vidět, že sada vzorků z čerstvé škváry vykazuje nárůst objemu o 2,65 % po 14 dnech zrání v laboratorním prostředí oproti čerstvě vyrobenému stavu. Objemová hmotnost sady vzorků z čerstvé škváry po 14 dnech zrání v laboratorním prostředí vykazuje nárůst o 1,48 % oproti čerstvě vyrobenému stavu.

Sada vzorků z čerstvé škváry vykazuje nárůst objemu o 11,79 % po 14 dnech zrání v řízeném prostředí oproti sadě vzorků, která zrála v laboratorním prostředí. Celkový nárůst objemu (oproti objemu vzorků po vyhotovení) je 14,76 %. Objemová hmotnost sady vzorků z čerstvé škváry po 14 dnech zrání v řízeném prostředí klesl o 8,86 % oproti sadě vzorků zralé v laboratorním prostředí. Celkový pokles objemové hmotnosti (oproti objemové hmotnosti vzorků po vyhotovení) je 7,51 %.



Obr. 13 Objemové změny vzorků z čerstvé škváry zralé v laboratorním (vlevo) a v řízeném (vpravo) prostředí

### 12.4.6.2 Pevnost v tlaku

Tab. 20 Pevnost v tlaku obou sad zkušebních vzorků z čerstvé škváry

Sada vzorků vyhotovené z čerstvé škváry	Pevnost v tlaku	Změna pevnosti CO <sub>2</sub> / LAB
	N/mm <sup>2</sup>	%
Laboratorní prostředí (LAB)	3,1	-66,3
Řízené prostředí (CO <sub>2</sub> )	1,1	

Z tabulky č. 20 je vidět, že pevnost v tlaku sady vzorků vyhotovené z čerstvé škváry zralé v řízeném prostředí je zhruba 1/3 pevnosti v tlaku sady vzorků zralé v laboratorní prostředí.

Pokles pevnosti nejpravděpodobněji souvisí s objemovou nestálostí čerstvé škváry. Je to jeden z důvodů, proč vyhláška č. 273/2021 Sb. vyžaduje vystavení čerstvé škváry vlhkosti a atmosférické oxidu uhličité, tj. odležení. Během odležení by měla proběhnout většina reakcí, způsobujících nestálost škváry.

### 12.4.6.3 Koncentrace škodlivin ve výluhu

Tab. 21 Koncentrace škodlivin ve výluhu sady vzorků z čerstvé škváry

Výluhy dle 273/2021 Sb. tab. 6.1	Limit dle v. 273/2021 Sb.	ŠKVÁRA FRESH LAB	ŠKVÁRA FRESH CO <sub>2</sub>
	mg/l	mg/l	mg/l
Chloridy	700	254	517
Fluoridy	6	0,2	0,2
Sírany	1000	177	785
As	0,03	0,001	0,0022
Ba	3	0,152	0,132
Cd	0,005	0,0005	0,0005
Cr, celkový	0,2	0,011	0,0113
Cu	1	0,249	0,0919
Hg	0,0008	< 0,001	< 0,001
Pb	0,05	0,0012	0,001
Sb	0,07	0,0217	0,0301
Se	0,1	0,005	0,005

Z tabulky č. 21 je vidět, že vzorky vyhotovené z čerstvé škváry zrající v laboratorní prostředí i vzorky zrající v řízeném prostředí vyhoví limitním hodnotám obsahu škodlivin ve výluhu dle tabulky 6.1 přílohy č. 6 vyhlášky č. 273/2021 Sb. Koncentrace některých škodlivin ve výluhu u vzorků zralé v řízeném prostředí se mírně zvýšily, jiné se zase

snížily oproti sady vzorků zralé v laboratorním prostředí, avšak všechny uvedené limitní hodnoty jsou bezpečně splněny.

#### 12.4.7 Výsledky zkoušky provedené na vzorky vyhotovené ze škváry vystavené řízenému prostředí

Ze škváry vystavené řízenému prostředí (CO<sub>2</sub>) byly vyhotoveny dvě sady vzorků. Jedna sada byla uložena do laboratorního prostředí (LAB) a druhá byla opět vystavena řízenému prostředí (CO<sub>2</sub>) s parametry uvedenými v kapitole 12.4.1. Obě sady zrály 14 dnů v příslušném prostředí a poté byly stanoveny následující parametry a provedeny následující zkoušky: rozměry vzorků, objemová hmotnost, pevnost v tlaku, obsah škodlivin ve výluhu, ekotoxikologické testy.

Výsledné hodnoty sady vzorků uloženy v laboratorním prostředí byly porovnány se vzorky ze sad uložených v řízeném prostředí a v dalších částech práce budou porovnány všechny vyhotovené sady vzorků.

##### 12.4.7.1 Objem a objemová hmotnost

Tab. 22 Objem, objemová hmotnost a jejich změna sady vzorků ze škváry z řízeného prostředí zralé v příslušném prostředí

Sada vzorků ze škváry z řízeného prostředí	V	Změna objemu			OH	Změna objemové hmotnosti		
		LAB/ FRESH	CO <sub>2</sub> / LAB	CO <sub>2</sub> / FRESH		LAB/ FRESH	CO <sub>2</sub> / LAB	CO <sub>2</sub> / FRESH
	dm <sup>3</sup>	%	%	%	kg/m <sup>3</sup>	%	%	%
po vyhotovení (FRESH)	0,942				1690			
laboratorní prostředí (LAB)	0,968	2,76	5,27	8,17	1580	-6,91	-2,35	-9,09
řízené prostředí (CO <sub>2</sub> )	1,019				1540			

Z výsledků uvedených v tabulce č. 22 můžeme vidět, že sada vzorků ze škváry z řízeného prostředí vykazuje nárůst objemu o 2,76 % po 14 dnech zrání v laboratorním prostředí oproti čerstvě vyrobenému stavu. Objemová hmotnost sady vzorků ze škváry z řízeného prostředí po 14 dnech zrání v laboratorním prostředí klesla o 6,91 % oproti čerstvě vyrobenému stavu.

Sada vzorků ze škváry z řízeného prostředí vykazuje nárůst objemu o 5,27 % po 14 dnech zrání v řízeném prostředí oproti sadě vzorků zralé v laboratorním prostředí. Celkový nárůst objemu (oproti objemu vzorků po vyhotovení) je 9,09 %. Objemová hmotnost sady vzorků ze škváry z řízeného prostředí po 14 dnech zrání v řízeném prostředí klesla o 2,35% oproti sadě vzorků zralé v laboratorním prostředí. Celkový pokles objemové hmotnosti (oproti objemové hmotnosti vzorků po vyhotovení) je 9,09 %.



Obr. 14 Objemové změny vzorků ze škváry z řízeného prostředí zralé v laboratorním (vlevo) a v řízeném (vpravo) prostředí

#### 12.4.7.2 Pevnost v tlaku

Tab. 23 Pevnost v tlaku obou sad zkušebních vzorků ze škváry z řízeného prostředí

Sada vzorků vyhotovené ze škváry z řízeného prostředí	Pevnost v tlaku	Změna pevnosti CO <sub>2</sub> / LAB
	N/mm <sup>2</sup>	%
Laboratorní prostředí (LAB)	1,4	-40,3
Řízené prostředí (CO <sub>2</sub> )	0,9	

Z tabulky č. 23 je vidět, že pevnosti v tlaku sady vzorků vyhotovené ze škváry zralé v řízeném prostředí klesly o 40,3 % oproti pevnosti v tlaku sad vzorků zralé v laboratorním prostředí.

Pokles pevnosti nejpravděpodobněji zapříčinily objemové změny ve vzorcích vystavených řízenému prostředí. Ačkoliv vzorky nebyly vyhotoveny přímo z čerstvé škváry, ale ze škváry upravené v řízeném prostředí, také vykazovaly objemové změny, byť menší, než bylo v případě vzorků z čerstvé škváry. Tomu odpovídá i menší pokles pevnosti vzorků ze škváry z řízeného prostředí vystavené řízenému prostředí oproti vzorkům ze škváry z řízeného prostředí vystavené laboratornímu prostředí v porovnání s poklesem pevnosti mezi sady z čerstvé škváry.

### 12.4.7.3 Koncentrace škodlivin ve výluhu

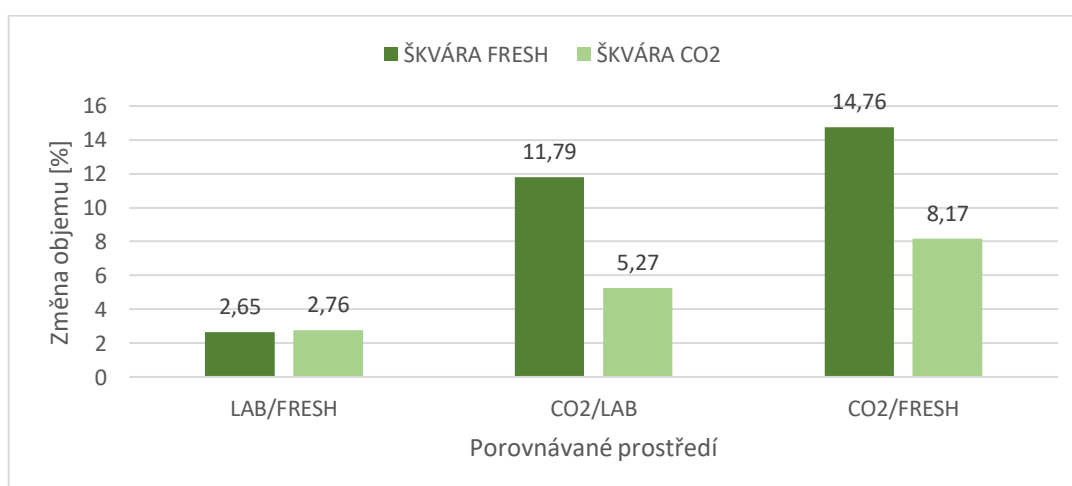
Tab. 24 Koncentrace škodlivin ve výluhu sady vzorků ze škváry z řízené prostředí

Výluhy dle 273/2021 Sb. tab. 6.1	Limit dle v. 273/2021 Sb.	ŠKVÁRA CO2 LAB	ŠKVÁRA CO2 CO2
	mg/l	mg/l	mg/l
Chloridy	700	448	416
Fluoridy	6	0,2	0,31
Sírany	1000	762	881
As	0,03	0,0029	0,0036
Ba	3	0,152	0,125
Cd	0,005	0,0005	0,00092
Cr, celkový	0,2	0. 0564	0,0377
Cu	1	0,196	0,119
Hg	0,0008	0,001	0,001
Pb	0,05	0,001	0,001
Sb	0,07	0,0375	0,0371
Se	0,1	0,005	0,005

Z tabulky č. 24 je vidět, že vzorky, vyhotovené ze škváry z řízeného prostředí po zrání v laboratorním prostředí i vzorky po zrání v řízeném prostředí vyhoví limitním hodnotám obsahu škodlivin ve výluhu dle tabulky 6.1 přílohy č. 6 vyhlášky č. 273/2021 Sb. Koncentrace některých škodlivin ve výluhu u vzorků zralé v řízeném prostředí se snížily, jiné se zase mírně zvýšily oproti sady vzorků zralé v laboratorním prostředí, avšak všechny uvedené limitní hodnoty jsou bezpečně splněny.

## 12.4.8 Porovnání jednotlivých výsledků

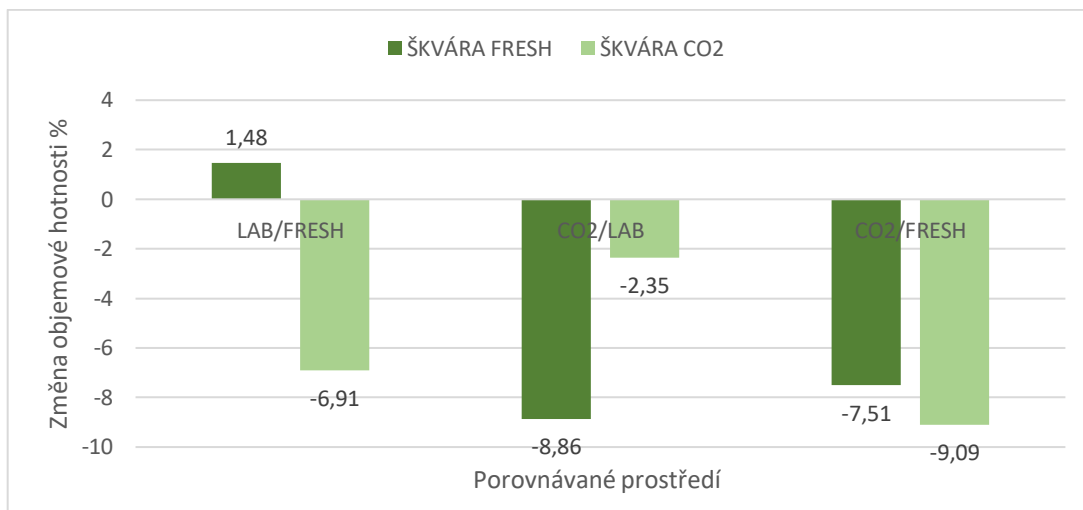
### 12.4.8.1 Změna objemu a objemové hmotnosti



Obr. 15 Objemové změny vzorků

Vzorky, vystavené laboratornímu prostředí, vyhotovené ze škváry z řízeného prostředí vykazovaly téměř stejnou objemovou změnu oproti čerstvě vyrobenému stavu jako vzorky vystavené laboratornímu prostředí, vyhotovené z čerstvé škváry.

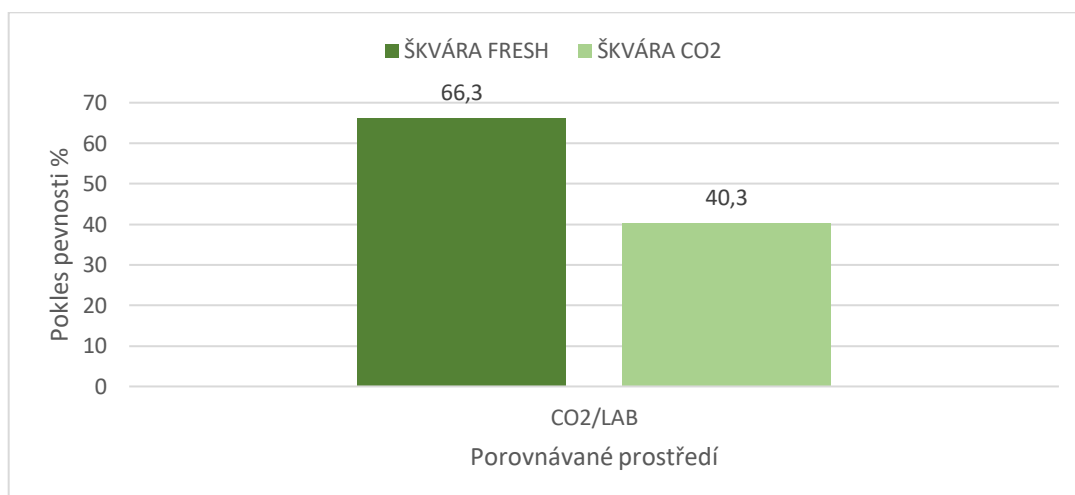
Vzorky vyhotovené ze škváry vystavené řízenému prostředí (ŠKVÁRA CO2) vykazovaly o 45 % menší objemovou změnu než vzorky vyhotovené z čerstvé škváry (ŠKVÁRA FRESH). Důvodem může být skutečnost, že část reakcí proběhl již v surovině před vyhotovením vzorků.



Obr. 16 Změna objemové hmotnosti vzorků

Zvětšení objemu při konstantní hmotnosti má za následek snížení objemové hmotnosti. Vzorky vyhotovené ze škváry z řízeného prostředí vykazovaly mírnější změny objemové hmotnosti oproti vzorků vyhotovené z čerstvé škváry.

#### 12.4.8.2 Změna pevnost



Obr. 17 Změna pevnosti vzorků

Pokles pevnosti, které vykazují vzorky, vyhotovené ze škváry z řízeného prostředí, je nejspíše způsoben tím, že ve škváře, vystavené vlhkosti a zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub>, v řízeném prostředí proběhla hydratace složek vykazující vlastnosti pojiv před

vyhotovením zkušebních vzorků. Oproti tomu ve vzorcích vyhotovených z čerstvé škváry byly tyto složky v nezhydratovaném stavu, teda dokázaly plnit funkci pojiv a tím přispět ke zvýšení pevnosti.

Sice vzorky vyhotovené ze škváry z řízeného prostředí vystavení řízenému prostředí vykazovaly vyšší pokles pevnosti, avšak objemové změny těchto vzorků, byly menší, než objemové změny, které vykazovaly vzorky z čerstvé škváry vystavené řízenému prostředí, přičemž objemová stálost je důležitějším kritériem pro vyhotovení stmelných směsí.

#### 12.4.8.1 Diferenční termická analýza (DTA)

Záznam DTA potvrzuje předpokládaný nárůst míry karbonatace škváry vystavené řízenému prostředí oproti škváře vystavené laboratornímu prostředí. Míra karbonatace je v záznamu vidět na dekarbonataci uhličitanu vápenatého při teplotním intervalu 700 až 800 °C. Škvára vystavená laboratornímu prostředí vykazoval hmotnostní úbytek 1,65 % během procesu dekarbonatace. Proti tomu škvára vystavená řízenému prostředí vykazovala hmotnostní úbytek 4,19 %. Hmotnostní úbytek škváry z řízeného prostředí ve formě CO<sub>2</sub> je o 2,5 násobek větší, z čehož plyne, že během procesu karbonatace vznikl o 2,5 násobek víc CaCO<sub>3</sub>.

Tab. 25 Dekarbonatace v DTA

	Navážka	Dekarbonatace		CO <sub>2</sub> /FRESH [-]	Množství CaCO <sub>3</sub>		CO <sub>2</sub> /FRESH [-]
	mg	mg	%		mg	%	
Čerstvá škvára (FRESH)	79,15	1,31	1,65	2,54	2,98	3,76	2,53
Škvára z řízeného prostředí (CO <sub>2</sub> )	83,2	3,48	4,19		7,92	9,52	

#### 12.4.8.2 Poměr koncentrace škodlivin ve výluhu jednotlivých vzorků

V tabulce č. 26 je znázorněn poměr koncentrace škodlivin ve výluhu jednotlivých vzorků ke koncentraci škodlivin ve výluhu čerstvé škváry ze spalovny komunálního odpadu.

Největší změny koncentrace ve výluhu vykazovaly následující parametry: sírany, As, celkový Cr. Nárůst koncentrace těchto škodlivin ve výluhu byl pozorován při vystavení laboratornímu i řízenému prostředí.

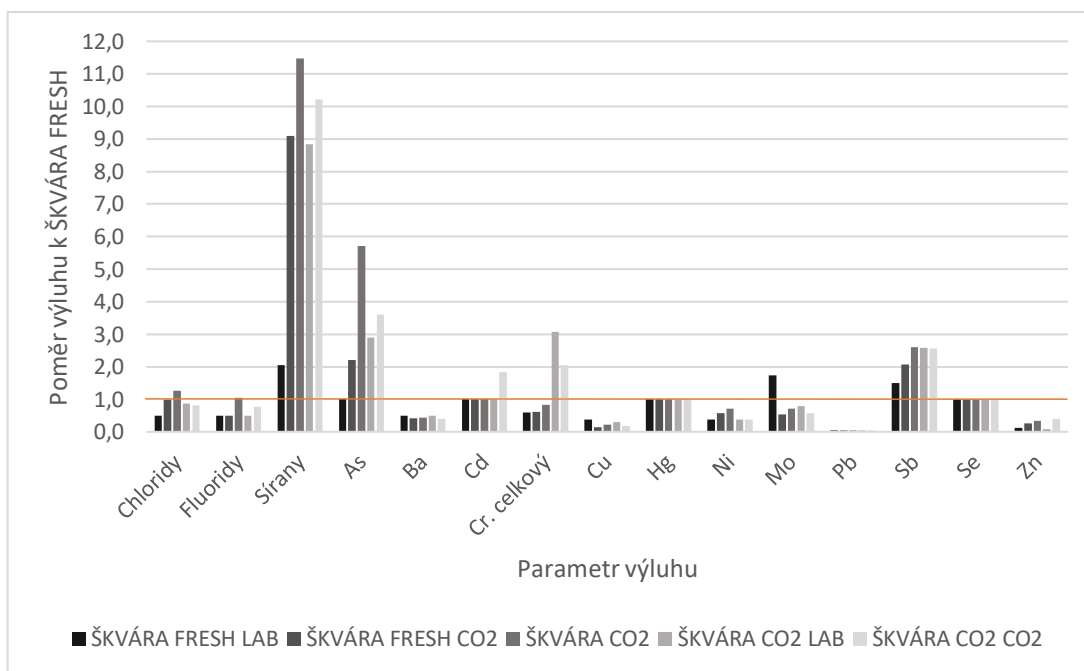
Některé parametry vykazovaly nárůst koncentrace ve výluhu při vystavení suroviny řízenému prostředí, pak následné snížení při dalším vystavení vzorku řízenému prostředí. Jedná se zejména o následující parametry: chloridy, fluoridy, sírany, Ni, Mo.



Tab. 26 Poměr koncentrace škodlivin ve výluhu jednotlivých vzorků vztaheno ke vzorku ŠKVÁRA FRESH

Výluhy dle 273/2021 Sb. tab. 6.1	Limit dle vyhlášky 273/2021 Sb.	ŠKVÁRA FRESH	ŠKVÁRA FRESH LAB	ŠKVÁRA FRESH CO2	ŠKVÁRA CO2	ŠKVÁRA CO2 LAB	ŠKVÁRA CO2 CO2
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Chloridy	700	519	0,5	1,0	1,3	0,9	0,8
Fluoridy	6	< 0.400	0,5	0,5	1,1	0,5	0,8
Sířany	1000	86,3	2,1	9,1	11,5	8,8	10,2
As	0,03	< 0.0010	1,0	2,2	5,7	2,9	3,6
Ba	3	0,312	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4
Cd	0,005	< 0.00050	1,0	1,0	1,0	1,0	1,8
Cr, celkový	0,2	0,0184	0,6	0,6	0,8	3,1	2,0
Cu	1	0,652	0,4	0,1	0,2	0,3	0,2
Hg	0,0008	< 0.00100	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Ni	0,03	0,0052	0,4	0,6	0,7	0,4	0,4
Mo	0,5	0,142	1,7	0,5	0,7	0,8	0,6
Pb	0,05	0,0244	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sb	0,07	0,0145	1,5	2,1	2,6	2,6	2,6
Se	0,1	< 0.0050	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Zn	0,6	0,123	0,1	0,3	0,3	0,1	0,4

Na obrázku č. 18 uvedené níže je graficky znázorněna změna koncentrace škodlivin ve výluhu v souladu s tabulkou č. 26.



Obr. 18 Poměr koncentrace škodlivin ve výluhu jednotlivých vzorků k vzorku ŠKVÁRA FRESH

Nárůst koncentrace některých škodlivin ve výluhu mohlo být způsobeno tím, že při procesu odležení se sloučeniny jednotlivých prvků vlivem chemických reakcí dostávají z nevyluhovatelných sloučenin do sloučenin vyluhovatelných. Naopak pokles

koncentrace některých škodlivin ve výluhu je působen tím, že prvek je převeden ze sloučeniny vyluhovatelné do sloučeniny stabilní.

Oxid vápenatý obsažený v čerstvé škváře nejprve reaguje s vodou za vzniku hydroxidu vápenatého. Následuje pomalá reakce mezi hydroxidem vápenatým a oxidem uhličitým za vzniku uhličitanu vápenatého a vody, tedy proběhne karbonatace. Diferenční termická analýza potvrzuje větší míru karbonatace u škvár vystaveným řízenému prostředí (ŠKVÁRA CO<sub>2</sub>). Reakce hydroxidu vápenatého s oxidem uhličitým za vzniku uhličitanu vápenatého a vody mohl otevřít resp. narušit strukturu vzniklé po hydrataci oxidu vápenatého a tím způsobit větší míru vyluhovatelnosti některých škodlivin.

Změna koncentrace ve výluhu některých parametrů v případě zkoumaných surovin a zkoušených vzorků vystavených řízenému prostředí byla změna větší, co může poukázat na to, že příslušné reakce proběhly rychleji než v případě surovin a vzorků vystavené laboratornímu prostředí. Pro ověření této hypotézy je nutný delší zkoumání chování škváry a vzorků vyhotovené z ní v příslušných prostředí.

## 13 Závěr

Klíčové pro splnění cílů práce bylo seznámení se s platnou legislativou v oblasti odpadové hospodářství, proto v teoretické části práce jsou uvedeny nejdůležitější pojmy a následně definované jednotlivé způsoby nakládání s odpadem v souladu s hierarchií odpadového hospodářství. Pro lepší pochopení problematiky byl zmapován současný stav nakládání s odpadem v České republice zaměřen na využití odpadů zejména ve stavebním průmyslu.

Pro efektivní využití průmyslových odpadů ve stavebních materiálech je důležité nejenom znát platnou legislativu o nakládání s odpadem, ale hlavně orientovat se v platných normativních požadavcích vztahujících se na jednotlivé suroviny používané ve stavebnictví. Z tohoto důvodu bylo hlavním cílem této práce zpracování metodického postupu využití odpadů, který byl splněn na základě dílčích cílů práce.

Prvním dílčím cílem bylo sestavení základního souboru možných variant využití a dalším bylo sestavení příslušných kritérií využití odpadů ve stavebnictví. Výsledkem splnění těchto cílů je rozsáhlý soupis možných variant využití odpadních materiálů jako druhotných surovin a soupis příslušných norem s nejdůležitějšími kritérii. Pro jednodušší orientaci v příslušných normách byla sestavena tabulka elementárních kritérií, podle které se určí soubor možného využití.

Dalším cílem této práce bylo sestavení samotného metodického postupu. Metodický postup pro rozhodování o využití odpadu sestává z následujících kroků. Nejprve se provedou analýzy, na základě čeho se získají základní materiálové charakteristiky odpadu. Jedná se o zrnitost, množství jemných podílů, vlhkost, nasákavost, chemický rozbor, ztrátu říháním, přítomnost organických látek. Výsledky analýz se porovnají se souborem základních kritérií, následně se vybere možný způsob resp. způsoby využití. Provedou se zkoušky pro doplnění potřebných parametrů dle konkrétních legislativních a normativních požadavků. Na základě získaných hodnot se potvrdí nebo vyvrátí možnost využití daného odpadu na předpokládaný účel resp. předpokládané účely.

Dominantním cílem práce bylo ověření a demonstrace vytvořeného metodického postupu, z toho titulu bylo v druhé etapě praktické části znázorněn vypracovaný metodický postup využití odpadů na škváře ze spalovny komunálního odpadu. Tento odpadní materiál byl vybrán z toho důvodu, že se do budoucna předpokládá jeho zvýšená produkce na základě zvyšujícího trendu produkce komunálního odpadu a zároveň přísnějších limitů skládkování odpadu, které byly blíže specifikovány v teoretické části, tím experimentální část zachytává veškeré důležité aspekty této práce.

Škvára ze spalovny komunálního odpadu byla podrobena základním analýzám a na základě výsledků v souladu s legislativou a normativními požadavky byla vybrána pro bližší zkoumání způsobu využití pro podkladní vrstvy pod pozemní komunikace.

Škvára jako surovina a dále vzorky z ní vyrobené byly zkoumány ve dvou prostředích, a to v laboratorním a řízeném (s 8% koncentrací oxidu uhličitého a 80% relativní vlhkostí) pro získání komplexnějších výsledků o jejím chování. Stanovené byly doplňující parametry vyžadované legislativou a normou jako jsou vlhkost, škodliviny ve vodním výluhu a optimální vlhkost při dosažení maximální objemové hmotnosti na základě zkoušky Proctor standard. Následně byly vyhotoveny dva soubory vzorků, jeden z čerstvé škváry přímo ze spalovny a druhý ze škváry z řízeného prostředí. Z každého souboru byly

vytvořeny dvě sady, jedna sada zrála v laboratorním prostředí a druhá v řízeném. Následně se stanovily následující parametry: objem, objemová hmotnost a pevnost v tlaku. Pro doplňující informace byla provedena diferenční termická analýza.

Od vystavení škváry řízenému prostředí se očekávalo zrychlení procesu odležení, který nařizuje patnáctá legislativa. Po podrobení vzorku diferenční termické analýze se potvrdila větší míra karbonatace u suroviny vystavené řízenému prostředí a tím se potvrdil rychlejší průběh příslušných reakcí v řízeném prostředí.

Proces karbonatace může být odpovědí i na změnu koncentrace ve výluhu některých parametrů, jelikož v případě surovin resp. vzorků, které byly vystaveny řízenému prostředí, byla změna větší než v případě surovin a vzorků vystavených laboratornímu prostředí. Tyto reakce běžně probíhají ve škváře při procesu odležení, což znamená, že změna koncentrace ve výluhu je dalším důkazem na rychlejší průběh reakce.

Stanovené byly i objemové změny, které jsou jedním z klíčových faktorů pro využití škváry ze spalovny komunálního odpadu pro podkladní vrstvy pod pozemní komunikace dle legislativy. Menší objemové změny vykazovaly vzorky z odležené škváry, jelikož reakce, které působí nárůst objemu, proběhly již před vytvořením kompaktního tělesa.

Veškeré stanovené cíle bakalářské práce byly splněny. V dalším výzkumu by bylo vítáno delší zkoumání škváry ze spalovny komunálního odpadu pro lepší pochopení jejího chování během odležení i v laboratorním i v řízeném prostředí. Vítáno by bylo také zmapování procesů, které v ní probíhají během tohoto procesu.

## 14 Literatura

- [1] ČESKO. Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech – znění od 1. 2. 2022. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2022 [cit. 22. 5. 2022]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-541>
- [2] ČESKO. Vyhláška č. 273/2021 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady – znění od 9. 4. 2022. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2022 [cit. 22. 5. 2022]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-273>
- [3] ČESKO. Vyhláška č. 8/2021 Sb., o Katalogu odpadů a posuzování odpadů (Katalog odpadů) – znění od 27. 1. 2021. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2022 [cit. 22. 5. 2022]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-8>
- [4] WERNEROVÁ, Markéta a Radka ŘÍMANOVÁ. Poklady z popela. A / *Věda a výzkum: Odpad* [online]. 2020, 9. září 2020, **5**(3), 20-21 [cit. 2022-05-22]. ISSN 2533-784X. Dostupné z: <https://www.avcr.cz/cs/pro-verejnost/casopisy/>
- [5] *Ověřování, posuzování a certifikace výrobků a procesů* [online]. Praha: Výzkumný ústav pozemních staveb, 2015 [cit. 2022-05-22]. Dostupné z: <https://www.vups.cz/sluzby/vyrobky-procesy-a-epd/certifikace-vyrobku-a-procesu/>
- [6] Nařízení vlády č. 163/2002 Sb. Nařízení vlády, kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky. Parlament České republiky, 2002.
- [7] BUTTI, Luciano. Birth and death of waste. *Waste Management* [online]. 2012, **32**(9), 1621-1622 [cit. 2022-05-22]. ISSN 0956053X. Dostupné z: doi:10.1016/j.wasman.2012.05.030
- [8] ZHANG, Chunbo, Mingming HU, Francesco DI MAIO, Benjamin SPRECHER, Xining YANG a Arnold TUKKER. An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition waste management in Europe. *Science of The Total Environment* [online]. 2022, **803** [cit. 2022-05-22]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2021.149892
- [9] VONDRUŠKA, Milan. Stabilizace a solidifikace: aneb Jak zneškodnit nebezpeční odpady. *Vesmír* [online]. 2005, 17.2.2005, **84**(2), 89-95 [cit. 2022-05-22]. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2005/cislo-2/stabilizace-solidifikace.html>
- [10] *Statistická ročenka životního prostředí České republiky 2020* [online]. Praha: CENIA, česká informační agentura životního prostředí © Ministerstvo životního prostředí, 2021 [cit. 2022-05-22]. ISBN 978-80-7674-024-2. Dostupné z: <https://www.cenia.cz/publikace/statisticka-rocenka-zivotniho-prostredi-cr/statisticka-rocenka-zivotniho-prostredi-cr-2020/>
- [11] ŠTEVULA, Michal. Dvě strany jedné mince. *Beton: Technologie* [online]. 2021, 17.3.2021, **21**(1), 1 [cit. 2022-05-22]. Dostupné z: <https://www.ebeton.cz/clanky/dve-strany-jedne-mince/>

- [12] Produkce, využití a odstranění odpadů. *Český statistický úřad* [online]. Praha: Český statistický úřad, 2021, listopad 2021 [cit. 2022-05-22]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/produkce-vyuziti-a-odstraneni-odpadu-2020>
- [13] Pavlův a kol.: *Recyklujeme stavby!* - Webový katalog výrobků a materiálů s obsahem druhotných surovin. Dostupné z: [www.recyklujemestavby.cz](http://www.recyklujemestavby.cz), ČVUT v Praze UCEEB, Agentura ČAS 2022
- [14] DROCHYTKA, Rostislav a Pavla MATULOVÁ. *Lehké stavební látky, Předmět BJ10, Modul M01*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2006.
- [15] ČSN EN 933-1 *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor*, 2009.
- [16] ČSN EN 933-10 *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 10: Posouzení jemných částic – Zrnitost fileru (prosévání proudem vzduchu)*, 2010.
- [17] VRÁVA, Václav a Zdeněk LOSOS. *Metody výskumu chemického zložení minerálů: Klasická chemická analýza. Mineralogie* [online]. Brno: Masarykova univerzita, 2013, 2013 [cit. 2022-05-23]. Dostupné z: [http://mineralogie.sci.muni.cz/kap\\_5\\_1\\_metody\\_chem/kap\\_5\\_1\\_metody\\_chem.htm#5.1.1](http://mineralogie.sci.muni.cz/kap_5_1_metody_chem/kap_5_1_metody_chem.htm#5.1.1)
- [18] ČSN EN 1097-6 *Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti*, 2022.
- [19] ČSN EN ISO 17892-1 *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 1: Stanovení vlhkosti*, 2015.
- [20] ČSN EN 13286-2 *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 2: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti – Proctorova zkouška*, 2011.
- [21] ČSN EN 12350-6 *Zkoušení čerstvého betonu – Část 6: Objemová hmotnost*, 2020.
- [22] ČSN EN 12390-7 *Zkoušení zatvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu*, 2020.
- [23] ČSN EN 13286-41 *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 41: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelených hydraulickými pojivy*, 2022.
- [24] ČSN EN 12620+A1 *Kamenivo do betonu*, 2008.
- [25] ČSN EN 13139 *Kamenivo do malty*, 2004.
- [26] ČSN EN 14227-1 *Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 1: Směsi z kameniva stmelené cementem*, 2013.
- [27] ČSN 73 6124-1 *Stavba vozovek – Vrstvy ze směsí stmelených hydraulickými pojivy – Část 1: Provádění a kontrola shody*, 2016.
- [28] ČSN EN 13242+A1 *Kamenivo pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace*, 2008.

- [29] ČSN EN 13285 ed. 2 *Nestmelené směsi – Specifikace*, 2019.
- [30] ČSN 75 2310 *Sypané hráze*, 2006.
- [31] ČSN 75 2410 *Malé vodní nádrže*, 2011.
- [32] ČSN EN 13055-1 *Pórovité kamenivo – Část 1: Pórovité kamenivo do betonu, malty a injektážní malty*, 2004. Zrušen bez náhrady, datum zrušení: 2018-02-28.
- [33] ČSN EN 450-1 *Popílek do betonu – Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody*, 2013.
- [34] ČSN EN 15167-1 *Mletá granulovaná vysokopecní struska pro použití do betonu, malty a injektážní malty – Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody*, 2006.
- [35] ČSN EN 197-1 ed. 2 *Cement – Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití*, 2012.
- [36] ČSN EN 459-1 ed. 3 *Stavební vápno – Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody*, 2015.
- [37] ČSN EN 13279-1 *Sádrová pojiva a sádrové malty pro vnitřní omítky – Část 1: Definice a požadavky*, 2009.
- [38] ČSN 72 2072-5 *Popílek pro stavební účely – Část 5: Popílek pro výrobu pórobetonu*, 2013.
- [39] ČSN 72 1564 *Cihlářské zeminy. Společná ustanovení*, 1986.
- [40] ČSN 72 1330 *Jílové suroviny. Základní technické požadavky*, 1992.
- [41] PHUA, Zhenghui, Apostolos GIANNIS, Zhi-Li DONG, Grzegorz LISAK a Wun Jern NG. Characteristics of incineration ash for sustainable treatment and reutilization. *Environmental Science and Pollution Research* [online]. 2019, **26**(17), 16974-16997 [cit. 2022-05-22]. ISSN 0944-1344. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-019-05217-8
- [42] Bc. Jakub Hrubý *Pokročilý materiál pro zřízení vrstvy zemního tělesa na bázi druhotných surovin*. Brno, 2022. 92 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Vít Černý, Ph.D.

## 15 Seznam tabulek

Tab. 1	Produkce a nakládání s odpady všech skupin katalogu odpadů [10] .....	28
Tab. 2	Nakládání s odpadem (Produkce, využití a odstranění odpadů) dle ČSÚ [12]....	29
Tab. 3	Produkce odpadů využitelných v stavebním průmyslu [3] [10] [12] .....	40
Tab. 4	Kategorie pro max. hodnoty obsahu jemných částic dle ČSN EN 12620+A1 [24] .....	50
Tab. 5	Kategorie složek hrubého recyklovaného kameniva dle ČSN EN 12620+A1 [24] .....	51
Tab. 6	Meze pro obsah jemných částic dle ČSN EN 13139 [25] .....	52
Tab. 7	Zrnitost směsi z kameniva stmelené cementem – typ 5 dle ČSN EN 14227-1 [26] .....	53
Tab. 8	Vhodnost zemin pro různé zóny hutnění hrází dle ČSN 75 2410 [31] .....	55
Tab. 9	Zatřídění bílého vápna chemického složení dle ČSN EN 459-1 [36] .....	59
Tab. 10	Reaktivita dle ČSN EN 459-1 [36].....	59
Tab. 11	Zrnitost dle ČSN EN 459-1 [36] .....	59
Tab. 12	Základní soubor kritérií sestavený podle platných norem .....	63
Tab. 13	Zrnitost škváry jako propad sítím [42].....	68
Tab. 14	Chemický rozbor škváry [42].....	68
Tab. 15	Nejvýše přípustné koncentrace škodlivin ve škváře dle vyhlášky č. 273/2021 Sb. příloha č. 6 [2].....	70
Tab. 16	Výsledky stanovení koncentrace škodlivin ve výluhu čerstvé škváry .....	71
Tab. 17	Výsledky stanovení koncentrace škodlivin ve výluhu škváry z řízeného prostředí .....	72
Tab. 18	Stanovení srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti.....	73
Tab. 19	Objem, objemová hmotnost a jejich změna sady vzorků čerstvá škvára zralé v příslušném prostředí .....	74
Tab. 20	Pevnost v tlaku obou sad zkušebních vzorků z čerstvé škváry .....	75
Tab. 21	Koncentrace škodlivin ve výluhu sady vzorků z čerstvé škváry.....	75
Tab. 22	Objem, objemová hmotnost a jejich změna sady vzorků ze škváry z řízeného prostředí zralé v příslušném prostředí .....	76
Tab. 23	Pevnost v tlaku obou sad zkušebních vzorků ze škváry z řízeného prostředí....	77
Tab. 24	Koncentrace škodlivin ve výluhu sady vzorků ze škváry z řízené prostředí .....	78



Tab. 25 Dekarbonatace v DTA .....	80
Tab. 26 Poměr koncentrace škodlivin ve výluhu jednotlivých vzorků vztaženo ke vzorku ŠKVÁRA FRESH .....	81

## 16 Seznam obrázků

Obr. 1 Rozhodování o stavu odpadu [7].....	16
Obr. 2 Hierarchie odpadového hospodářství [8].....	19
Obr. 3 Další adaptace hierarchie odpadové hospodářství [8] .....	20
Obr. 4 Interpretace bezodpadové hospodářství [8] .....	22
Obr. 5 Způsoby nakládání s odpadem [9].....	25
Obr. 6 Produkce a využití všech skupin odpadů v roce 2020.....	26
Obr. 7 Produkce a využití všech skupin odpadů v roce 2020.....	27
Obr. 8 Produkce a využití všech skupin odpadů v roce 2020.....	27
Obr. 9 Nakládání s odpadem (Produkce, využití a odstranění odpadů) za rok 2020 [12] .....	30
Obr. 10 Trojúhelníkový diagram [39] .....	61
Obr. 11 Schéma spalovně komunálního odpadu [41] .....	67
Obr. 12 Schéma úpravy škváry a zkušebních vzorků .....	71
Obr. 13 Objemové změny vzorků z čerstvé škváry zralé v laboratorním (vlevo) a v řízeném (vpravo) prostředí.....	74
Obr. 14 Objemové změny vzorků ze škváry z řízeného prostředí zralé v laboratorním (vlevo) a v řízeném (vpravo) prostředí.....	77
Obr. 15 Objemové změny vzorků .....	78
Obr. 16 Změna objemové hmotnosti vzorků .....	79
Obr. 17 Změna pevnosti vzorků.....	79
Obr. 18 Poměr koncentrace škodlivin ve výluhu jednotlivých vzorků k vzorku ŠKVÁRA FRESH.....	81